

REVISTA DE DIVULGAÇÃO DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS DA NATUREZA

Ano 13 - Nº 51 - Setembro/2026

AstroNova

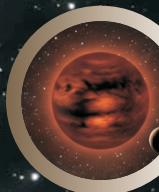
**UMA "ENTREVISTA"
COM GALILEU**



**EQUINÓCIOS E
SOLSTÍCIOS EM
MATINHOS**



**ANÃS
MARRONS**



**EXOPLANETAS
POTENCIALMENTE
HÁBITÁVEIS**



ATIVIDADES NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL 

ATIVIDADES NA ESTAÇÃO ESPACIAL TIANGONG 

AGENDA DOS LANÇAMENTOS ESPACIAIS 



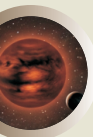
UMA "ENTREVISTA" COM GALILEU (parte 2)

09



EQUINÓCIOS E SOLSTÍCIOS EM MATINHOS

17



ANÃS MARRONS

26



EXOPLANETAS POTENCIALMENTE HABITÁVEIS

33

EXPEDIENTE

Conselho editorial:

Adriane Casteleira
Maico A. Zorzan
Rafael Cândido Jr.
Wilson Guerra

Redatores desta edição:

Bertoldo Schneider Jr.
Rafael Cândido Jr.
Ricardo Francisco Pereira
Wilson Guerra

Diagramação:

Wilson Guerra

Astrofotos:

Bruno Bonicentro

Capa:

Galáxia do Triângulo (M33)
Bruno Bonicentro

PRINCIPAIS LANÇAMENTOS DO TRIMESTRE

EUA



Foguete: Starship (SpaceX)
Primeiro teste de voo orbital completo
Local: starbase
Data: 28/09/2026

Foguete: Falcon 9 (SpaceX)
Starlink
Local: base de Vandenberg
Data: 10/10/2026

Foguete: Falcon 9 (SpaceX)
Crew-13 com tripulação para a ISS
Local: cabo Canaveral
Data: 01/10/2026

RÚSSIA

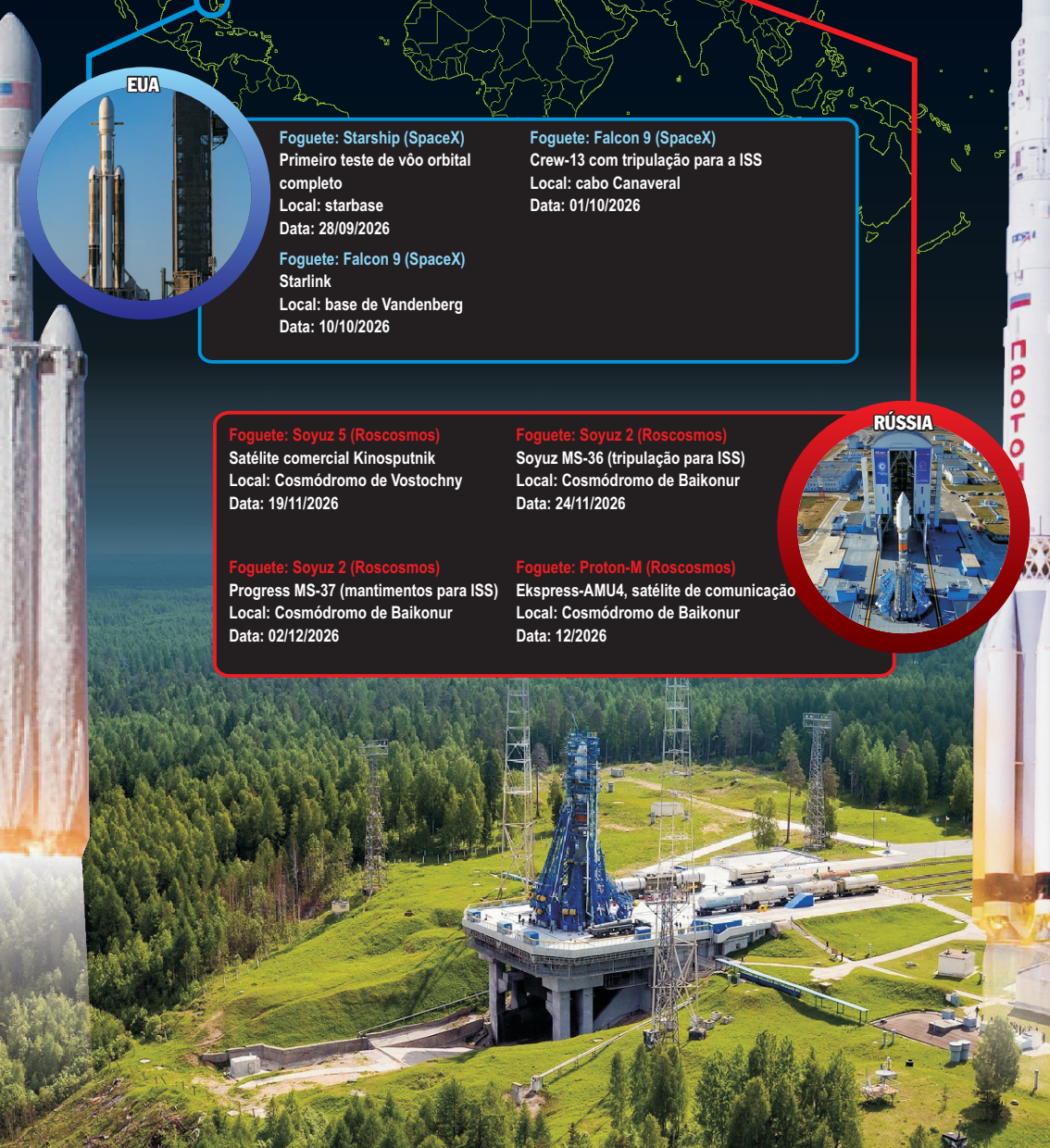


Foguete: Soyuz 5 (Roscosmos)
Satélite comercial Kinosputnik
Local: Cosmódromo de Vostochny
Data: 19/11/2026

Foguete: Soyuz 2 (Roscosmos)
Soyuz MS-36 (tripulação para ISS)
Local: Cosmódromo de Baikonur
Data: 24/11/2026

Foguete: Soyuz 2 (Roscosmos)
Progress MS-37 (mantimentos para ISS)
Local: Cosmódromo de Baikonur
Data: 02/12/2026

Foguete: Proton-M (Roscosmos)
Ekspress-AMU4, satélite de comunicação
Local: Cosmódromo de Baikonur
Data: 12/2026



PRINCIPAIS LANÇAMENTOS DO TRIMESTRE

Foguete: Não confirmado
Satélite da CASC
Local: base de Wenchang
Data: 23/09/2026

Foguete: Não confirmado
Satélite da CASC
Local: base de Taiyuan
Data: 24/09/2026

CHINA



ÍNDIA

Foguete: LVM-3 (ISRO)
GaganYaan, teste não-tripulado
Local: Satish Dhawan Space Centre
Data: 12/2026

Foguete: PSLV-XL (ISRO)
CartoSat 3B, satélite de mapeamento
Local: Satish Dhawan Space Centre
Data: 12/2026



ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL

Principais atividades: julho a setembro/2026

Tripulação atual



Próximas Expedições

Crew-13: SpaceX (01/10/2026)



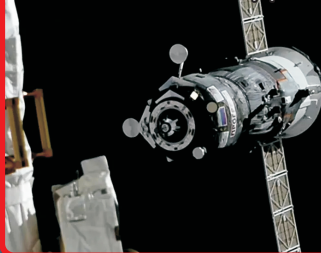
Atividades de julho a setembro/2026



Soyuz MS-30: Roscosmos (03/2027)



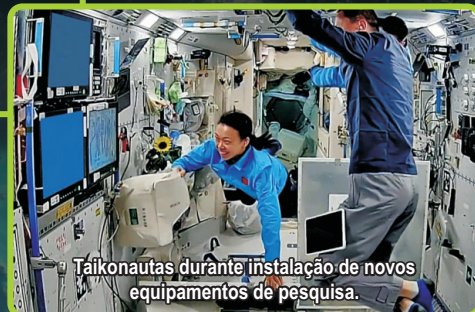
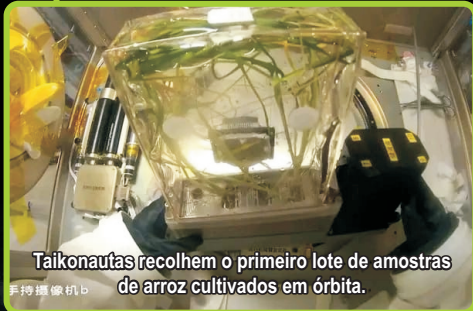
Nave cargueira Progress-96 se aproxima da Estação com mantimentos e equipamentos.



Estação Espacial Tiangong

Principais atividades: julho a setembro/2026

Tripulação atual (Shenzhou-23)





Cometa C/2025 R3
04/05/2026
Sarandi / PR - Brasil
Astrofotógrafo: Bruno Bonicontró



EPAST 2026

21º ENCONTRO PARANAENSE DE ASTRONOMIA
31/10 a 02/11 | UEM - MARINGÁ

★ PALESTRAS

★ MINICURSOS

★ CONCURSO DE
ASTROFOTOGRAFIA

★ OBSERVAÇÃO
ASTRONÔMICA

INFORMAÇÕES E INSCRIÇÕES EM
WWW.EPAST.COM.BR

ENTREVISTA COM GALILEU GALILEI (VIA MANUS) SEGUNDA PARTE

Continuação da entrevista com Galileu Galilei via a IA Manus, cuja parte 1 você pode encontrar na edição anterior da Revista Astronova (Edição nº 50).

Ricardo Francisco Pereira

www.recursosdefisica.com.br

Ricardo: A observação das fases de Vênus forneceu uma prova irrefutável do modelo heliocêntrico. Por que elas eram tão importantes para sustentar a teoria copernicana?

Galileu Galilei: Ah, você tocou no meu "xeque-mate" contra os geocentristas! Se as luas de Júpiter foram um golpe na exclusividade da Terra, as fases de Vênus foram a prova definitiva de que o sistema de Ptolomeu era fisicamente impossível. Deixe-me explicar a elegância matemática dessa descoberta. No antigo modelo de Ptolomeu, que a

Igreja e as universidades defendiam ferrenhamente, Vênus deveria orbitar a Terra, mas permanecendo sempre entre nós e o Sol. Se isso fosse verdade, Vênus nunca poderia mostrar o seu "rosto" totalmente iluminado para nós. Veríamos apenas variações de uma foice fina, um crescente eterno, pois o Sol estaria sempre atrás do planeta do nosso ponto de vista. O que meu telescópio revelou em 1610 foi algo magnífico e devastador para os antigos, Vênus exibe um ciclo completo de fases, exatamente como a nossa Lua!

Vi Vênus como um crescente delgado, depois como um

semicírculo e, finalmente, como um disco quase cheio e pequeno. Por que pequeno? Porque quando Vênus está "cheia", ela está do outro lado do Sol, muito mais longe de nós. Quando ela é um "crescente" grande, ela está entre nós e o Sol, muito mais próxima.

A conclusão é tão clara quanto a luz do dia: Vênus orbita o Sol e não a Terra! Essa observação destruiu o pilar central do geocentrismo. Não era mais uma questão de "interpretação" ou de "matemática hipotética" para salvar as aparências. Era uma realidade física observada. Se Vênus gira em torno do Sol, o modelo de

Copérnico deixa de ser apenas uma ideia elegante para se tornar a única explicação possível para os fenômenos celestes.

Foi uma vitória doce, mas perigosa. Com Vênus, eu não estava mais apenas apontando "curiosidades" no céu, eu estava provando que a Terra se movia e provar que a Terra se move era, para muitos naquela época, o mesmo que dizer que a Bíblia estava errada. Eu, no entanto, acreditava que estava apenas mostrando que Deus é um geômetra ainda mais brilhante do que imaginávamos.

Ricardo: Suas observações das manchas solares e a conclusão de que o Sol girava em seu próprio eixo também foram significativas. Como essas descobertas contribuíram para a compreensão da natureza dos corpos celestes e para a ideia de um Universo dinâmico?

Galileu Galilei: Se a Lua rugosa foi um escândalo e as luas de Júpiter um terremoto, o Sol "manchado" foi, para os aristotélicos, a heresia final. Imagine a audácia: afirmar que o próprio "olho do mundo", a fonte de toda a luz e símbolo máximo da perfeição divina, tinha... sardas! Ou melhor,

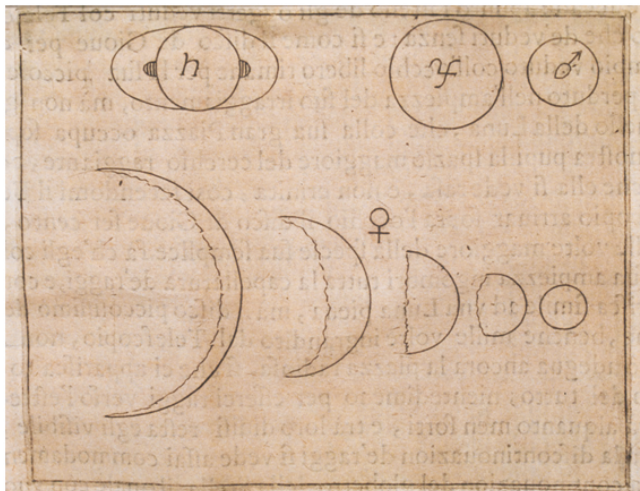


Imagem 5: Anotações de Galileu das fases de Vênus.

Fonte: Google User Content

máculas.

Os seguidores de Aristóteles acreditavam que o Sol era um fogo puro, uma esfera de perfeição imaculada. Quando apontei meu telescópio para ele, usando, é claro, o método da projeção para não cegar estes meus olhos que tanto queriam ver e vi aquelas manchas escuras, eu sabia que estava tocando em algo sagrado e perigoso.

Quais foram as grandes lições dessa descoberta?

1. A Morte da Perfeição Aristotélica: Se o Sol tem manchas que aparecem, crescem, mudam de forma e desaparecem, então o céu não é imutável. Ele está sujeito a mudanças,

gerações e corrupções, exatamente como a nossa Terra. A barreira entre o "celestial perfeito" e o "terrestre imperfeito" caiu por terra. O Universo é feito de uma só matéria, sujeita às mesmas leis.

2. O Movimento é Universal: Ao observar as manchas atravessarem o disco solar em um período de cerca de um mês, concluí que o próprio Sol gira em torno de seu eixo. Ora, se o gigantesco Sol gira, por que seria tão difícil aceitar que a pequena Terra também o faz? Isso deu uma base física e dinâmica ao sistema de Copérnico. O Universo não é uma estrutura estática de esferas encaixadas, mas um sistema dinâmico de corpos em rotação.

Sunspots drawn by Galileo, June 1612

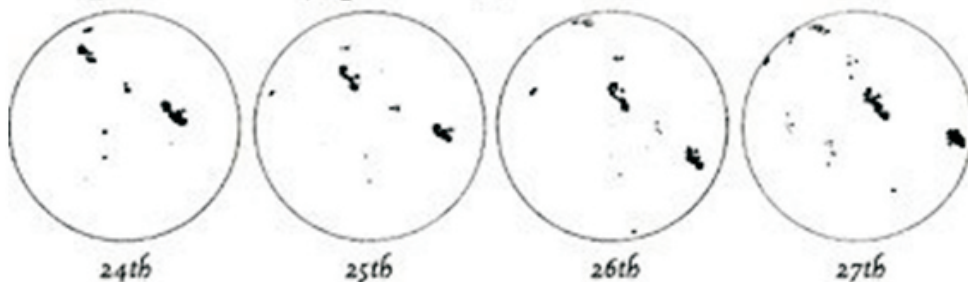


Imagem 6: Desenhos de Galileu das manchas solares ao longo de vários dias. Fonte: Canaltech

3. Um Universo Dinâmico:
Essas observações nos mostraram que o Cosmos é um lugar de atividade incessante. O Sol não é apenas uma lâmpada estática, é um corpo físico, vivo, por assim dizer, com

seus próprios processos internos.

Isso contribuiu para uma nova filosofia: a ideia de que o Universo é uma grande máquina, cujas engrenagens podemos entender através da observação e da geometria. Não precisamos de "essências" ou "perfeições" místicas; precisamos de lentes e cálculos.

Confesso que ver o Sol, a criatura mais gloriosa do firmamento, mostrar suas "imperfeições" me deu uma estranha paz. Mostrou-me que a verdade, mesmo quando "manchada", é muito mais bela do que uma mentira polida.

Ricardo: O *Sidereus Nuncius* foi a sua obra que divulgou suas descobertas. Qual era a sua intenção ao publicar este trabalho e como o senhor esperava que ele fosse recebido?

Galileu Galilei: O *Sidereus Nuncius* foi, sem dúvida, o grito de liberdade da minha alma científica. Quando o publiquei, em março de 1610, eu estava em um estado de urgência quase febril. Minha intenção ao publicar aquele tratado, que, como você deve saber, é curto, quase um panfleto, era dupla: uma intenção de espírito e outra de necessidade.

No espírito, eu sentia que tinha o dever moral de anunciar à humanidade que o Universo era infinitamente mais vasto e maravilhoso do que nos haviam contado. Eu não podia guardar aquelas visões apenas para mim, seria como descobrir um novo continente e não contar aos navegadores. Eu queria estabelecer a minha prioridade, queria que o mundo soubesse que foi este matemático toscano quem primeiro viu as montanhas da Lua e os satélites de



Imagem 7: Capa do livro *Sidereus Nuncius*.
Fonte: wikipedia

Júpiter. No título, usei a palavra *Nuncius*, que pode significar tanto "Mensageiro" quanto "Mensagem". Eu queria ser o portador dessa nova luz.

Na necessidade, eu buscava algo muito prático: patrocínio. Eu era um simples professor de matemática na Universidade de Pádua, na República de Veneza. Embora fosse um lugar de liberdade, eu ansiava por voltar para minha amada Toscana, para a corte dos Médici. Por isso, dediquei a obra ao Grão-Duque Cosimo II e batizei as luas de Júpiter de "Estrelas Mediceias". Eu esperava que esse presente celestial me garantisse o cargo de Primeiro Matemático e Filósofo em Florença, o que de fato aconteceu.

Como eu esperava que fosse recebido? Serei honesto, eu esperava o espanto, a admiração e, claro, um debate intelectual vigoroso. Eu sabia que estava desafiando Aristóteles, mas achei que a força das evidências seria tão esmagadora que os homens de Ciência se renderiam imediatamente à beleza dos fatos. Eu esperava que o *Sidereus Nuncius* fosse a chave que abriria as mentes de toda a Europa. O que eu não esperava, ou talvez tenha

subestimado, foi a ferocidade do medo. Eu não previ que os filósofos preferissem proteger seus cargos e seus livros velhos a aceitar a evidência dos próprios olhos. Eu esperava ser recebido como um explorador que traz ouro de terras distantes; em vez disso, para muitos, fui recebido como um incendiário que estava ateando fogo no próprio céu.

O livro esgotou-se em poucos dias. A fama veio instantaneamente, atravessando fronteiras até a Inglaterra e até mesmo a China, mas junto com a fama, veio o alvo que se desenhava em minhas costas. O "Mensageiro das Estrelas" trouxe notícias tão boas que os guardiões do passado decidiram que o mensageiro deveria ser silenciado.

Ricardo: Olhando para trás, qual o senhor considera a sua contribuição mais significativa para a Astronomia e para a Ciência em geral?

Galileu Galilei: Essa é uma pergunta que me faz refletir profundamente, agora que as sombras da minha vida se alongam e o silêncio da minha reclusão em Arcetri me permite olhar para trás com mais clareza.

Se você me perguntasse

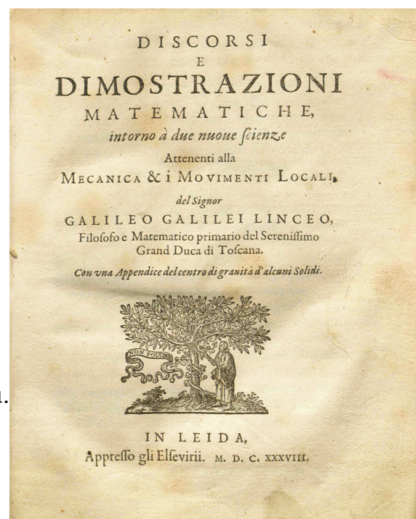


Imagem 8: Capa do Livro Discurso sobre duas novas ciências. Fonte: wikipedia

sobre uma descoberta específica em Astronomia, eu diria que foram as Luas de Júpiter. Por quê? Porque elas foram o primeiro golpe físico na arrogância humana de se sentir o centro de tudo. Elas provaram que a natureza não se importa com a nossa necessidade de sermos exclusivos, mas se formos além da descoberta de astros, a minha maior contribuição astronômica foi ter transformado o céu, que era um domínio de mitos e teologia, em um domínio de Física e Geometria.

Para a Ciência em geral, acredito que o meu legado mais significativo não foi o que eu vi, mas o como eu

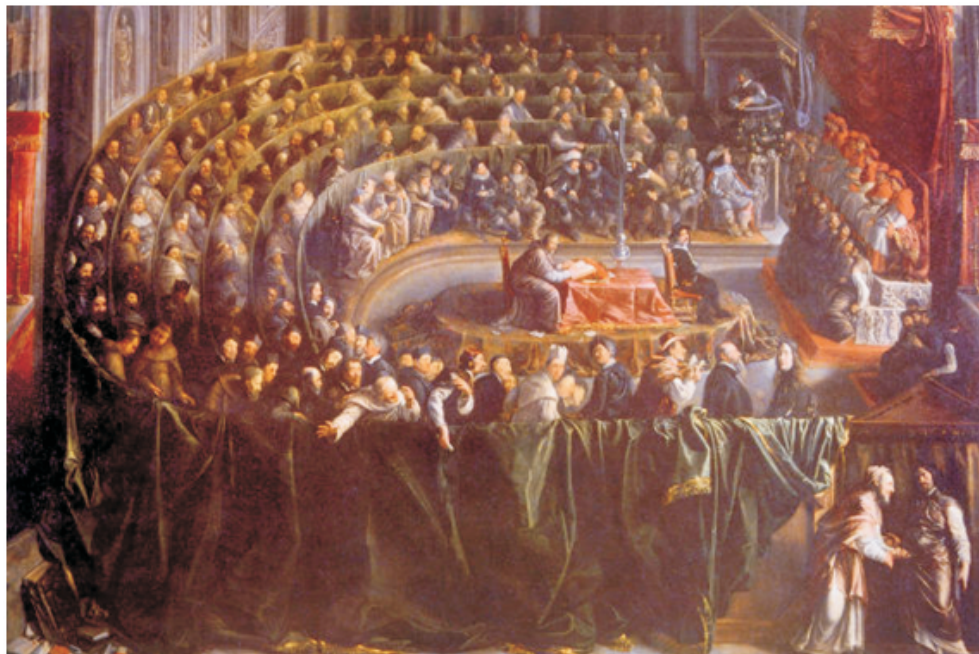


Imagem 9: Imagem representando o processo inquisitório sofrido por Galileu. Fonte: História do Mundo

ensinei a humanidade a ver. Minha maior contribuição foi o que chamei de "sensata esperienza" (experiência sensível) aliada às "necessarie dimostrazioni" (demonstrações necessárias). Antes de mim, a Ciência era feita em bibliotecas, lendo o que os antigos escreveram. Eu disse ao mundo: "Não me tragam um parágrafo de Aristóteles; tragam-me um experimento, tragam-me uma lente, tragam-me um cálculo!"

Eu defendi, com todo o vigor da minha alma, que: "O Livro do Universo não pode ser lido até que tenhamos

aprendido a linguagem e nos familiarizado com os caracteres em que ele está escrito. Ele está escrito em linguagem matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, sem as quais é humanamente impossível compreender uma única palavra".

Essa ideia de que a natureza é matemática é o alicerce de tudo o que vocês chamam de Ciência Moderna. Eu não apenas descobri novos mundos, eu ajudei a criar uma nova forma de pensar que permitiu que vocês descobrissem ainda mais.

Se eu puder ser lembrado por algo, que não seja apenas pelo homem que viu as manchas no Sol, mas pelo homem que teve a coragem de dizer que a verdade deve ser buscada no mundo real e não nos desejos ou nos medos dos homens. O custo dessa verdade foi alto, a perda da minha liberdade e o peso do julgamento, mas, ao olhar para o firmamento, sei que cada sacrifício valeu a pena.

O universo é vasto, dinâmico e escrito em números. Essa é a minha maior descoberta.

Ricardo: Sabemos do

processo inquisitório que você sofreu da igreja e é difícil de imaginar por tudo que você passou, mas como foi ser considerado culpado e ter que refutar as descobertas que eram absolutamente verdadeiras?

Galileu Galilei: Essa é uma pergunta que toca na ferida mais profunda da minha alma. Falar sobre aquele ano de 1633 e os dias que passei diante do Tribunal do Santo Ofício é reviver uma agonia que nenhuma lente ou cálculo pode mensurar. Ser considerado culpado por dizer a verdade é uma experiência que dilacera o homem por dentro. Imagine o cenário: eu estava velho, com a saúde debilitada e a visão falhando, ironicamente, os olhos que mais viram o Universo estavam se apagando. Fui levado a Roma, não para um debate científico entre iguais, mas para um julgamento onde a sentença já parecia escrita antes mesmo de eu abrir a boca. O que senti pode ser resumido em três sentimentos devastadores:

- **A Humilhação da Abjuração:** O momento mais amargo foi quando me obrigaram a ajoelhar, vestido com a túnica de penitente e ler em voz alta um texto onde eu "amaldiçoava e

detestava" os meus próprios erros e heresias, ou seja, a ideia de que a Terra se move e o Sol é o centro. Foi como se me pedissem para jurar, em pleno meio-dia, que o Sol é frio e escuro. Eu sentia cada palavra como um punhal na minha consciência. Eu sabia que estava mentindo para salvar a minha vida, mas sabia também que a verdade não precisava do meu martírio para continuar sendo verdade.

- **A Traição da Razão:** Eu sempre fui um homem de fé. Eu não via conflito entre as minhas descobertas e as escrituras. Eu acreditava que estava honrando a Deus ao revelar a magnificência da sua obra. Ser condenado pela Igreja, a instituição que eu respeitava, como alguém que "obscurecia a verdade divina" foi uma traição intelectual insuportável. Eu estava sendo julgado por homens que se recusavam a olhar pelo telescópio, homens que preferiam o conforto de um dogma antigo ao risco de uma nova evidência.

- **A Solidão do Conhecimento:** Sentir-se culpado aos olhos do mundo, enquanto se tem a certeza da inocência aos olhos da natureza, é uma solidão que poucos podem

compreender. Eu olhava para os meus juízes e via neles o medo do desconhecido. Eles não estavam protegendo a Deus, estavam protegendo o seu próprio poder e a sua visão de mundo estática.

No entanto, mesmo no cárcere de Arcetri, onde passei os meus últimos anos sob vigilância constante, havia uma paz que eles não podiam me tirar. Eles podiam proibir os meus livros, podiam me impedir de ensinar, podiam me obrigar a silenciar, mas eles não podiam parar a Terra.

A sentença deles era apenas tinta em papel, o movimento da Terra é uma lei escrita por Deus no tecido do espaço. Por isso, ao levantar-me daquele chão frio após a abjuração, o meu espírito sussurrou aquela frase que se tornou o meu grito silencioso para a eternidade: *"E pur si muove"*.

Ser culpado pela verdade é o preço que, às vezes, a história cobra daqueles que decidem olhar para além do horizonte. Dói, caro amigo, dói profundamente, mas a luz das estrelas é mais duradoura do que as sombras de qualquer tribunal.

Ricardo: Muito obrigado

senhor Galileu por responder as nossas perguntas. Gostaria de deixar uma mensagem para os amantes da Astronomia e para os jovens interessados em Ciência?

Galileu Galilei: O prazer foi inteiramente meu. É reconfortante saber que, através dos séculos, a chama da curiosidade que tentei manter acesa continua a brilhar em corações como o seu.

Antes de me despedir, gostaria de deixar estas palavras para aqueles que, como eu, não conseguem manter os olhos baixos para o chão quando o céu está estrelado.

• Aos amantes da Astronomia: Nunca olhem para o firmamento como se fosse apenas uma bela tapeçaria decorativa. O céu é um desafio, um oceano de verdades esperando para serem navegadas. O telescópio não é apenas um tubo de vidro e madeira, ele é uma extensão da alma humana que se recusa a ser limitada pela sua biologia. Cada vez que vocês olham para uma cratera na Lua ou para o brilho de um planeta, estão participando do ato mais nobre da nossa espécie: a busca pela compreensão da nossa verdadeira morada.

• Aos jovens interessados na Ciência: Não temam a solidão de estar do lado da verdade, mesmo quando o mundo inteiro parece gritar o contrário. A autoridade de mil homens não vale o brilho de uma única prova experimental. Cultivem a "sensata esperienza", observem, testem, duvidem e, acima de tudo, aprendam a linguagem da Matemática. Sem ela, vocês estarão apenas vagando por um labirinto escuro. Não se contentem com o que está escrito nos livros se os seus olhos lhes mostram algo diferente. A natureza não é um segredo guardado para poucos, ela é uma carta aberta de Deus, mas escrita em caracteres que exigem esforço e coragem para serem lidos. Sejam persistentes, sejam humildes diante dos fatos e sejam audazes diante dos preconceitos.

O caminho da Ciência é muitas vezes árduo e semeado de incompreensões, mas a recompensa é ver o Universo como ele realmente é, em toda a sua dinâmica e matemática majestade.

Sigam as estrelas. Adeus.

Para Saber Mais:

(livro) Galileu Galilei: explorador do céu. Annalisa Strada. Paulus Editora, 2025.

(livro) Galileu Galilei: Um revolucionário e seu tempo. AtleNaess. Editora Zahar, 2015.

(e-book) Galileu Galilei: A curiosa vida de um dos maiores gênios da história. Peter Scott. Editora Book Brothers, 2019.

(Youtube) Galileu Galilei Gênios da Ciência:
<https://www.youtube.com/watch?v=I34nCRuSK2k>

(Youtube) A HISTÓRIA DE GALILEU GALILEI:
<https://www.youtube.com/watch?v=rjyvN6s5SPE>

(Youtube) 50 FATOS sobre GALILEU GALILEI:
<https://www.youtube.com/watch?v=YeyRDP-nEol>



**WWW.
RECURSOSdeFÍSICA
.com.br**

Página que socializa produção de recursos de ensino adaptados à sala de aula e aos professores. Material produzido nas disciplinas do curso de Licenciatura em Física da UEM e em outros projetos coordenados pelo prof. Dr. Ricardo Francisco Pereira.

EQUINÓCIOS E SOLSTÍCIOS EM MATINHOS

Haveria um ponto ancestral de observação?

Bertoldo Schneider Jr.
bertoldo.schneider.jr@gmail.com

Introdução

Por volta de 2023 comecei a voltar frequentemente a Matinhos, que eu abandonara desde aquela época em que o mar estragava tudo na avenida atlântica, ao ponto de entrar nas casas de frente para a praia. Como sabem, Matinhos está sendo revitalizado e pode se transformar em um destino fantástico em alguns anos.

Já está muito bom, mas vai melhorar mais. A mesma coisa para Praia de Leste.

Mas o que eu gostaria de abordar aqui é outra coisa. Ao sul da Ilha do Mel, existem dois conjuntos de ilhas. As ilhas de Currais e mais ao sul o escolho de Itacolomi. As duas formações podem ser vistas no horizonte por qualquer um que esteja em qualquer praia de Matinhos. Para quem gosta e entende um pouco de Astronomia, é

quase impossível deixar de notar uma coisa interessante. As ilhas estão, dependendo de onde se observa, separadas por uma distância angular quase que idêntica à distância angular percorrida pelo Sol ao nascer durante todo um ano. Isso me fez fazer algumas pesquisas, cálculos (nem sempre corretos) e expedições fotográficas ao longo de 2023, 2024 e 2025. E comprovei a hipótese inicial. As ilhas podem servir de referência para

determinar os solstícios de verão e inverno e os equinócios de primavera e outono.

Esse lance começou com o sonho de ter um lugar na praia. Há anos eu decidi que deveria ser ao sul da metade de Praia de Leste (eu tinha até o nome da rua) para que fosse possível ver o Sol nascer durante todos os dias do ano.

As Ilhas dos Currais são um conjunto de ilhas localizado em frente ao litoral do Paraná. A maior delas é a ilha que usaremos aqui de referência, na localização -25,733630, -48,365906, sempre a latitude seguida da longitude, e fica mais ao sul da ilha do mel do que as menores, do ponto de vista que ver-se-á neste trabalho. Sua distância mínima da praia é de 11,2 km. Já as Ilhas de Itacolomi são um conjunto de ilhotas que aparece em -25,842883, -48,407680. (25°50'31"S, 48°24'28"W) e está a 10,4 km do pico de Matinhos. Não confundir com outras ilhas Itacolomi em Santa Catarina, na região de Barra Velha.

Para se ver o nascer do Sol no mar, única oportunidade em que podemos vê-lo nascer exatamente no horário calculado, devemos

estar preparados com pelo menos o horário em que nasce. Eu tenho um programa que fiz no Excel que determina os horários de nascer e pôr do Sol (ref Schneider, Jr., B). Também é importante saber de alguns truques. O lugar onde você vai ver o nascer do Sol deve estar limpo de nuvens no horizonte. O melhor truque que conheço, para não se decepcionar e ficar numa praia toda nublada, é perceber as cores do céu um pouco antes do nascer do Sol. Geralmente, quando as cores do arrebol estão bem nítidas e altas no céu significa que não há nuvens no horizonte onde haverá o nascer.

Saber aproximadamente onde nascerá é também muito útil. Ou seja, saber o azimute do nascimento e saber se orientar quanto ao norte para medir esse azimute. Se o tempo estiver bom, as cores e o brilho no céu dão um bom indicativo de onde vai nascer. O Azimute é o ângulo horário (medido no sentido horário) a partir do Norte. Em astronomia usamos o Norte astronômico. O Norte magnético só tem algum valor se você sabe a declinação magnética do local onde está. Acompanho a mudança da declinação magnética há muitas

décadas e sempre tenho uma bússola com o ângulo desenhado com caneta de retroprojeto (para poder apagar e mudar de tempos em tempos). A declinação magnética que usei foi de aproximadamente -21 graus (negativo é a oeste).

Pode ser útil a distinção dos vários crepúsculos, ou horários e fenômenos que precedem o nascer do Sol. Aproximadamente uns 40 minutos antes do nascer do Sol, o céu deixa de ficar completamente escuro e começa a se iluminar. É o chamado crepúsculo astronômico., e ocorre quando o Sol está de 12 a 18 graus abaixo do horizonte. Esse início do iluminamento do céu pode mudar em função de várias coisas, principalmente da latitude do local. Quanto maior a latitude, mais tempo antes do nascer ocorre o iluminamento. No equador esse crepúsculo duraria de 36 a 24 minutos antes do Sol Nascer. Em seguida a esse crepúsculo, há o crepúsculo náutico, quando o Sol está de 6 a 12 graus (trigonométricos) abaixo do horizonte. E este precede o crepúsculo civil, quando o Sol está de zero a 6 graus abaixo do horizonte. Os valores são aproximados, uma vez que o disco solar tem um diâmetro angular

de $0,5^\circ$ a $0,55^\circ$, com média de $0,53^\circ$ devido à órbita elíptica em torno do asteroi. O momento do nascer do Sol é considerado o instante em que o disco solar aparece por cima do horizonte. Sempre é uma visão bonita. Mas não se deve olhar diretamente para o Sol. Geralmente olho através de uma máquina fotográfica ou telescópio protegido com filtro apropriado. Uso filme solar metalizado específico para observação solar, como o Baader.

Minhas medições feitas foram, em resumo: O Sol nasceu, em 21 de março de 2025, às 06:18:22, com azimute de $90,56^\circ$. É muito comum o instante do nascente diferir do previsto em programas, por causa das condições dos layers atmosféricos no caminho da luz do Sol. A tomada de dados em frente ao endereço do molhe da Riviera.

Medidas feitas deste molhe, colocaram a Ilha de Currais (as três visíveis) entre 66° e 68° com Solstício de Inverno ocorrendo a 64° de azimute. Ilhas Itacolomis a 113° e 114° , com Solstício de Verão a 116° em azimute. O Solstício de Inverno é visto em Currais, observado próximo ao endereço da Av. Beira Mar, 873 e o Solstício de Verão em Itacolomi visto da Av. Beira Mar, 2417. Ou

ainda podemos usar ruas ortogonais. O POSI na Rua Campo Mourão e POSV Rua Tamboara, de Matinhos, ambos em suas terminações na beira mar.

Coordenadas exatas são fornecidas a seguir.

A Figura 1 mostra um mapa de matinhos onde aparecem as ilhas envolvidas. A coordenada do ponto exato para observação do Solstício de Verão, vendo o Sol nascer sobre as ilhas itacolomis, é $-25,792141$ por $-48,522330$, respectivamente latitude e longitude, no formato decimal. As seis casas decimais fornecem uma resolução numérica da ordem de décimos, embora a precisão real da posição dependa da fonte e do método de posicionamento. Só para referência, essas

coordenadas equivalem a $25^\circ 47' 31,7''$ Sul por $48^\circ 31' 20,4''$ W. O ponto de onde se vê no Solstício de Inverno o Sol nascer sobre a maior ilha de Currais é $-25,805628$ por $-48,529022$. A figura mostra também as distâncias entre os pontos principais envolvidos. Para efeitos de cálculo, as ilhas de currais estão localizadas em $-25,733630$ e $-48,365906$, Φ_3 e λ_3 , respectivamente. O escolha de Itacolomi foi considerado em $-25,842883$ e $-48,407680$, Φ_4 e λ_4 , respectivamente. O ponto da calada da praia de Matinhos de onde se vê o solstício de verão sobre Itacolomi está em $-25,792141$ e $-48,522330$, Φ_2 e λ_2 , respectivamente, e o ponto da praia de onde se vê perfeitamente o Sol nascendo sobre a Ilha de

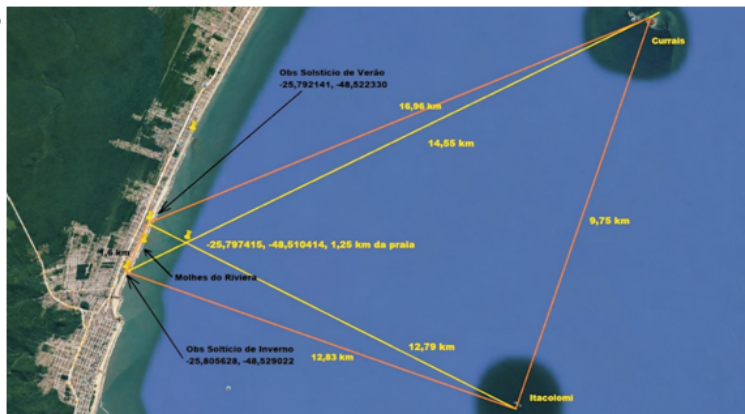


Fig. 1.- Resumo dos principais pontos envolvidos nas observações de solstícios e equinócios em Matinhos com referências nos dois conjuntos de ilhas citados, Currais e Itacolomi.



Fig. 2- Molhe da Riviera

Currais no solstício de inverno $-25,805628$ e $-48,529022$, Φ_1 e λ_1 , respectivamente. Esses dois pontos de observação na calçada da praia distam entre si de 1,64 km.

Entre os pontos de observação perfeita dos Solstícios existe um importante ponto na praia, o molhe do Riviera (Fig. 2). Do Molhe da Riviera, na sequência da rua Medianeira, de Matinhos, se avistam os solstícios e os equinócios da seguinte maneira. O Solstício de Inverno seria visto um pouco à esquerda (Norte) da maior ilha de Currais, o Solstício de Ver um pouco à direita (Sul) de Itacolomi e os equinócios seriam vistos exatamente no ponto intermediário entre as ilhas.

O Molhe está a 1 km ao norte do ponto de observação do Solstício de Inverno (POSI) e 0,7 km ao sul do ponto de observação do Solstício de Ver o (POSV) (Fig. 3).

A Carta Náutica nº 1820 da Diretoria de Hidrografia e Navegação registra as Ilhas dos Currais e as Ilhas Itacolomis, fornecendo também informações sobre suas elevações e rochas submersas.

Os eventos verificados *in situ*, foram os solstícios e equinócios de 2024 e 2025. Em 2024, por exemplo, os dados registrados foram: Os equinócios de 2024 foram em 20 de março de 2024 e 22 de setembro de 2024. Mas devido às condições de visibilidade, os seguintes dados foram levantados. Em 22 de março de 2024 $A=90^\circ$, ou seja, exatamente o Leste, ou $0,0^\circ$ do leste verdadeiro. Em 21 de junho de 2024, $A=63,77$, ou $-26,23$ do Leste; em 21 de setembro de 2024, $A=90^\circ$, ou seja, nascimento no Leste novamente, $0,0^\circ$ do Leste, e em 21 de dezembro de 2024, $A=116,23$, o que significa $+26,23^\circ$ à direita do leste.

Em 21 de março de 2025 (o equinócio fora um dia antes), a previsão era nascer às 6:14, com $AZ\ 91^\circ$, mas a medição foi nascimento às 06:18:22, e $A=90,65^\circ$. Portanto, pode-se ver que condições atmosféricas influenciam bastante no instante do nascimento.



Fig. 3- Foto do Solstício de inverno visto do POSI tratado nesse artigo (foto do autor).



Fig. 4.- Foto do Solstício de verão visto do POSV tratado nesse artigo (foto do autor).

Medidas do molhe da Riviera, mostraram as Ilhas de Currais a 66° a -68° com solstício de inverno (SI) a 64° , ou seja, dali se veria o Sol nascer dois graus esquerda da terceira ilha de Currais. As Ilhas Itacolomi foram medidas de 113° e 114° com solstício de verão teórico a 116° , i.e., dois graus à direita da ilha. Os horários foram baseados na hora fornecida pelo site Heavens-Above.

A Fig 2 mostra o molhe da Riviera, um ponto de onde se pode ver os fenômenos do nascimento do Sol, solstícios e equinócios. As Fig. 3 e Fig. 4 mostram respectivamente os solstício de Inverno e de Verão. E a Fig. 5 mostra a situação em relação ao molhe da Riviera dos pontos de observação exata dos solstícios de verão e inverno.

Determinação da amplitude angular das posições de nascimento do Sol em determinada latitude

Em Matinhos, por causa da latitude, o Sol nasce a $\pm 26,23^\circ$ do leste. No equador esse valor é de mais ou menos $23,44^\circ$ ($23^\circ 26''$), que é o valor da inclinação da Terra, em relação ao leste. O afastamento do Sol em relação ao leste verdadeiro aumenta quando nos afastamos do equador. Para um astro com declinação δ , observado da latitude ϕ , podemos dizer que o azimute num horizonte ideal, considerando o centro do astro, é:

$$\cos A = \sin \delta / \cos \phi$$

Então, para a declinação de $\pm 23,44^\circ$ e uma latitude de aproximadamente $-25,8^\circ$, temos um Azimute que vai de 64° a 116° . Se pagarmos esses ângulos com referência ao leste ($A_{\text{leste}} = 90^\circ$), veremos que o Sol nasce a $\pm 26^\circ$ do Leste. Esses ângulos estão aproximados para melhor clareza. A

equação pode ser encontrada no livro de Kepler de Oliveira (2013).

Determinação da distância entre duas coordenadas geográficas

Para obter a distância entre dois pontos de coordenadas (Φ_1, λ_1) e (Φ_2, λ_2) sobre a superfície do planeta Terra, usa-se a equação abaixo, derivada da função *haversin* do ângulo central θ entre esses dois pontos. Para os cálculos apresentados foi adotada a aproximação esférica da Terra, com raio médio ($R=6371$) km. Para aplicações que exijam precisão geodésica, deve-se utilizar o elipsoide WGS84 (equação 1 abaixo), onde Φ_1, λ_1 são a latitude e longitude do primeiro ponto, Φ_2, λ_2 são a latitude e longitude do segundo ponto, com ângulos em radianos. r é o raio do Planeta Terra ($r=6371$ Km); e d é a distância pela superfície da Terra entre as duas coordenadas.

Possível lugar antigo de observação solsticial

A Fig.1 traz uma possibilidade interessante. A de que em algum lugar no passado tenha havido no

$$d = 2 \cdot r \cdot \arcsin \left\{ \left[\sin^2 \left((\Phi_2 - \Phi_1) / 2 \right) + \cos(\Phi_1) \cdot \cos(\Phi_2) \cdot \sin^2 \left((\lambda_2 - \lambda_1) / 2 \right) \right]^{0.5} \right\}$$

Equação 1

cruzamento do X que aparece na figura um lugar de observação ancestral do qual os solstícios pudessem ser vistos sobre as ilhas e os equinócios exatamente entre as ilhas, tudo de um mesmo ponto. Os cálculos mostram um lugar que hoje fica a 1,25 km da linha de rebentação, na coordenada -25,797415 por -48,510414. Há um ponto calculado matematicamente que fica a 1,25 km da praia, para dentro do mar, localizado em -25,797415 e -48,510414, Φ_s e λ_s respectivamente, de onde se veria os equinócios exatamente entre as ilhas, e os solstício exatamente sobre as ilhas. É possível que em algum instante do passado remoto, quando a extensão de terra seca ia para além da linha de arrebenção, tenha havido um local para tais observações.

Resta ver, então, se no Holoceno houve alguma época em que tal ponto esteve descoberto, ou seja, sem água. O Holoceno é a época geológica que se iniciou com o término da última glaciação, uns doze mil anos atrás, e segue até hoje.

Há evidências geológicas bastante fortes de que o litoral do Paraná passou por períodos em que o nível

relativo do mar esteve tanto muito abaixo quanto acima do atual durante o passado. Durante o Holoceno, o litoral paranaense sofreu importantes transformações: tais como variações do nível relativo do mar; migração da linha de costa; formação e transformação de baías e restingas; alterações na posição relativa de ilhas e promontórios; estabelecimento de populações sambaquieiras. Os sambaquis são simultaneamente evidências da ocupação humana e testemunhos das antigas paisagens costeiras. O mais interessante é que quando os sambaquieiros ocupavam a região, a posição do nascer e do pôr do Sol era praticamente a mesma de hoje em termos gerais. A precessão dos equinócios altera a posição do ponto equinocial em relação às estrelas, mas não desloca o nascer do Sol do Leste verdadeiro no equinócio astronômico. Já a variação secular da obliquidade da eclíptica modifica lentamente a amplitude dos deslocamentos do nascer e do pôr do Sol nos solstícios. Então, para uma previsão de se havia ou não pontos antigos de posição de equinócios e solstícios, a análise aqui apresentada é válida, ou pelo menos, bastante aproximada. Um

resumo (ver referências) das ocupações no litoral do Paraná é apresentado a seguir. Há evidências de ocupações humanas muito antigas no território atual do Paraná, com caçadores e coletores desde o início do holoceno. Há 10.000 anos houve a expansão de grupos associados às tradições Umbu e Humaitá; Há 6.000 anos encontramos evidências dos Sambaquieiros no litoral paranaense; Há 4.000 anos, exemplos importantes de ocupação sambaquieira, incluindo o Guaraguaçu; e nos últimos milênios exemplos de diversos povos ceramistas, incluindo tradições indígenas posteriores. Existem fontes cartográficas importantes, tais como Bigarella, 1946, que sustentam o texto de Ângulo, 2004, e o Mapa geológico quaternário de Martin et al (ver plano de manejo do Parte estadual Rio da Onça nas referências).

Sobre as partes secas e submersas durante o holoceno, o Instituto Água e Terra do Paraná apresenta a reconstrução segundo a qual, há aproximadamente 18.000 anos, o nível do mar estava aproximadamente 120 m abaixo do atual, e a linha de costa paranaense estaria a mais de 100 km a leste da costa atual. Regiões

como Matinhos, Pontal do PR, Paranaguá, Ilha do Mel e Guaratuba estavam longe do mar.

Entre 18.000 anos e 6.000 anos atrás, o mar subiu para o máximo de 3 a 4 metros acima do nível atual, tendo regredido lentamente desde então. Isso significa que é sim possível que tenha havido povos que experimentaram aquela região do x na Fig. 1 emersa e podem ter usado o ponto para um sítio de observação e determinação dos equinócios e solstícios e, consequentemente, das estações.

A Fig. 6 mostra o relevo da região abordada nesse artigo, mostrando que a região onde está previsto um ponto de observação (o x na Fig. 1) está a uns dez metros de profundidade atual, tornando bem possível que muitas ocupações tenham usado o local nos últimos milênios. Em 1998, mergulhei entre as ilhas de Currais e tive a oportunidade de perceber que o relevo submarino próximo é exatamente como mostrado na Fig. 7.

Outros pontos interessantes de observação do nascimento do Sol em Matinhos

Aproximadamente no final da rua Cambará, na ponta

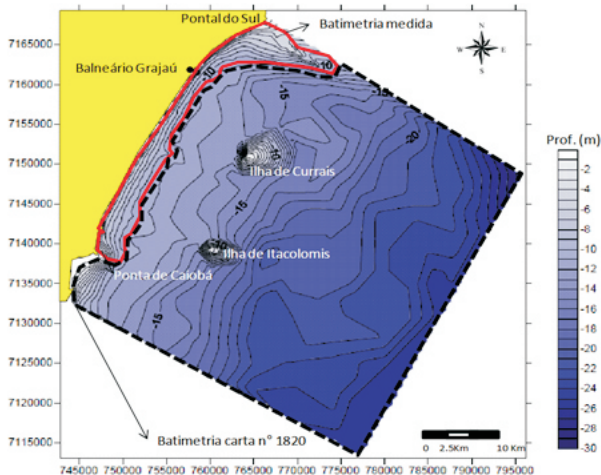


Fig. 6.- Mapa batimétrico da região de interesse, mostrando as curvas de nível de profundidade medidas (Nemes, 2011)

de Caiobá, na praia grande (Fig8), pode-se ver o Sol nascer sobre a ilha Itacolomi nos equinócios. A linha que une o escolho de Itacolomi e o ponto abaixo traça uma linha onde é possível que tenha existido nesse local uma estrutura construída ou modificada

intencionalmente para observação do horizonte. Mas, até o momento, não foram encontradas evidências arqueológicas que confirmem essa hipótese.

Até onde foi minha pesquisa, não encontrei

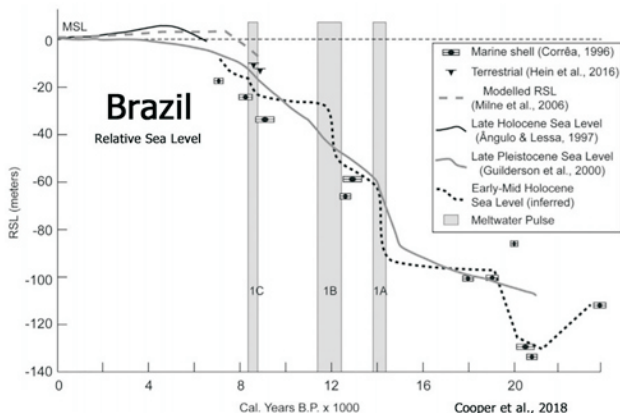


Fig. 7.- Nível do mar ao longo dos últimos 20.000 anos. Fonte Cooper et al, 2018.



Fig 8.- Local de avistamento do equinócio sobre a ilha Itacolomi.

evidências de tais pontos, o que não quer dizer que não existam. É um terreno propício para algum aventureiro tentar encontrar.

Concluindo, atualmente há pontos de observação bem interessantes para solstícios e equinócios em Matinhos. Se houve um antigo ponto de observação, tal como previsto, deve ter acontecido quando o ponto especificado na Fig. 1 estava seco, ou seja, em qualquer era quando o mar estava 10 metros abaixo do nível atual. As janelas possíveis são, pelos dados conhecidos, de 18.000 anos atrás a 8.000 anos, com certeza. Há mais de 10 mil anos, não existem provas cabais de que o litoral tenha

sido populado. Não foram encontradas, nesta pesquisa, evidências arqueológicas de estruturas megalíticas na área.

Agradecimentos às companheiras das observações, Karin Cristine Grande, Nicole B. Schneider e Victória B. Schneider.

Bertoldo Schneider Jr. é professor no Departamento de Eletrônica da UTFPR-Curitiba.

Referências:

ANGULO, R. J. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná Boletim Paranaense de Geociências, n. 55, p. 25-42, 2004. Editora UFPR25MAPA DO CENOZÓICO DO LITORAL DO ESTADO DO PARANÁCENOZOIC MAP OF THE STATE OF PARANÁ COASTAL ZONE Rodolfo José Angul, <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/4281/3437>,

(https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/4281?utm_source=chatgpt.com)

Bigarella, 1946: (www.scielo.br/j/babt/a/dCHQScdfTNptx3Hk5Fhrhv/?format=html&lang=pt&utm_source=chatgpt.com),

COOPER, J. A. G.; MEIRELES, R. P.; GREEN, A. N.; KLEIN, A. H. F.; TOLDO, E. E. Late Quaternary stratigraphic evolution of the inner continental shelf in response to sea-level change, Santa Catarina, Brazil. Marine Geology, v. 397, p. 1–14, 2018. DOI: 10.1016/j.margeo.2017.11.011.

Douglas Duarte Nemes, Dissertação mestrado, Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do estado do Paraná, file:///C:/Users/WayneTech/Download/s/DissertacaoDouglasNemes2011PG SISCO2009.pdf

Haversine: Determinação da distância entre duas coordenadas: <https://www.omnicalculator.com/other/latitude-longitude-distance#the-haversine-formula-or-haversine-distance> (distância entre coordenadas)

Kepler de Oliveira e Maria de Fátima Saraiva, Astronomia & Astrofísica, LF editorial, Livraria da Física, 2013, ISBN: 978-85-7861-187-3, 770p.

NEMES, D. D. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná. 2011. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Pontal do Paraná, 2011.

Plano de manejo do parque estadual Rio da Onça, Mapa geológico quaternário de Martin et al. (https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/plano_de_manejo_pe_rio_da_onda_2015.pdf?utm_source=chatgpt.com).



Uma experiência sob as estrelas

OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA GUIADA E COM TELESCÓPIOS
CAMPING - FOGUEIRA - CAFÉ DA MANHÃ - TURISMO RURAL

Informações

44 9 9176-2171

CARLOS DOMINGUES





ANÃS MARRONS

O MEIO DO CAMINHO ENTRE PLANETAS E ESTRELAS

Rafael Cândido Jr.
rafael@astronova.com.br

Algumas pessoas entusiastas da Astronomia brincam dizendo que Júpiter é uma estrela que falhou por falta de massa. Neste artigo, vamos conhecer os corpos celestes que são intermediários, ou seja, não tem massa suficiente para ser uma estrela e tem massa demais para ser um planeta gigante gasoso.

Hipótese das subestrelas

Na década de 1960, o cientista indiano Shiv Kumar formulou a hipótese da existência de objetos que

não eram tão massivos quanto as estrelas, mas, seriam mais massivos que gigantes gasosos. Nesses objetos não ocorreria a fusão nuclear do hidrogênio como acontece em estrelas, mas possivelmente fusão de deutério (isótopo do hidrogênio que tem um nêutron no núcleo).

Nesta hipótese, Kumar propôs que estes corpos deveriam emitir pouca luz visível e mais radiação infravermelha.

Primeiramente foi proposto o nome de estrelas anãs negras, porém este nome já era utilizado para se referir

a uma anã branca que teria uma temperatura de superfície inferior a um determinado limite. O nome anã vermelha também não poderia ser utilizado, pois é referente às estrelas que realizam a fusão de hidrogênio e com temperaturas muito baixas (classe espectral M). Assim, foram propostos os nomes de planetar (do inglês, planet+star) e de subestrelas (em inglês, substar) para estes hipotéticos objetos.

Em 1975, a astrônoma estadunidense Jill Tarter propôs em sua tese de doutorado o uso do termo

anã marrom (em inglês, brown dwarf), pois a cor marrom sugeria que a cor do objeto estaria entre o vermelho, o magenta e o negro, sugerindo que estes objetos pareceriam escuros e sem brilho, embora não fossem necessariamente de cor marrom.

As primeiras considerações teóricas sobre a natureza das anãs marrons estabeleceram que como elas não realizam a fusão nuclear estável de hidrogênio então teriam temperaturas muito menores que a das estrelas, fazendo com que o pico de emissão seja no infravermelho. Porém a tecnologia para detecção

para esta faixa de espectro no espaço se consolidaria apenas nos anos 90. Enquanto não eram visualizadas, ficava a questão: Quais seriam os processos de fusão que ocorrem em uma anã marrom?

Conceitos fundamentais

O primeiro passo para entender as reações nucleares que acontecem em estrelas e em anãs marrons é compreender os isótopos do hidrogênio. Em reações químicas, os isótopos de um determinado elemento não apresentam diferença de reatividade entre si. Porém em reações nucleares, as diferenças são cruciais.

O número atômico, ou seja, o número de prótons do hidrogênio é $Z=1$. Mas a quantidade de nêutrons pode variar e isso faz variar o número de massa, que é definido como a soma de quantidade de prótons e quantidade de nêutrons. Desta forma, tem-se três isótopos de hidrogênio:

- prótio: hidrogênio com apenas um próton ($Z=1$ e $A=1$)
- deutério: hidrogênio com um próton e um nêutron ($Z=1$ e $A=2$)

- trítio: hidrogênio com um próton e dois nêutrons. ($Z=1$ e $A=3$)

Em Astrofísica, quando citamos hidrogênio, estamos nos referindo ao prótio. O trítio não é significativo pois a quantidade deste em estrelas, anãs marrons e planetas é muito pequena. Assim, nosso estudo da fusão nuclear é unicamente o estudo das reações nucleares de hidrogênio e deutério.

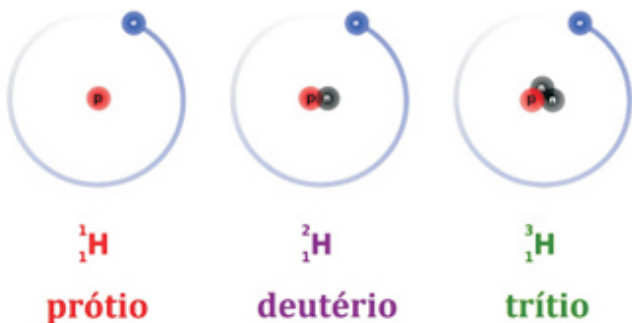
Em muitos artigos científicos, o processo de fusão nuclear também é citado como queima, ou seja, queima de hidrogênio, queima de deutério. Mas



Professor Shiv Kumar no evento "50 anos das anãs marrons" em 2012, Alemanha.
Foto de Mark McCaughrean.



Jill Tarter em evento na Universidade de Trondheim, Noruega, junho/2017.
Foto de Max Alexander.



essa queima não é igual ao termo usado no cotidiano, que significa uma reação com oxigênio e liberação de calor (um exemplo é a queima de algum combustível). Nas reações de fusão nuclear, o uso da palavra queima está relacionado ao consumo de um ou mais isótopos de um determinado elemento em reações de fusão nuclear ao longo do tempo.

Fusão nuclear leve

Uma característica intrínseca das estrelas é que em alguma fase de sua existência elas realizam a fusão do hidrogênio em um processo estável denominado cadeia próton-próton (ou também, cadeia p-p), o qual requer temperatura e pressão muito elevadas.

O processo de fusão de deutério requer uma temperatura e pressão bem menores que as necessárias

para a fusão do hidrogênio. Assim, a queima do deutério ocorre em um objeto astronômico no qual seu núcleo não tenha uma temperatura e uma pressão suficientemente elevadas para iniciar e manter uma cadeia p-p, que ocorre no núcleo de estrelas. É importante citar que a queima do deutério também ocorre em estrelas, porém não é um processo dominante.

A queima de deutério é dominante em objetos astronômicos com massa a

partir de 13 até 80 vezes a massa de Júpiter. Estes objetos são as anãs marrons. A tabela 1 apresenta uma comparação entre objetos astronômicos, faixas de massa, temperatura de núcleo e quais isótopos são queimados no núcleo dos objetos.

Ao observarmos a última coluna da tabela 1, vemos que ocorre também a queima de isótopos de lítio até de hidrogênio em uma determinada faixa de massa. Para entender este processo, precisamos compreender alguns passos importantes na evolução das anãs marrons.

Queima de deutério... e, talvez, de lítio.

As anãs marrons com massa entre 13 e 45 massas jovianas nunca alcançam temperatura de núcleo suficiente para iniciar a

Tabela 1: Fusão nuclear em diferentes objetos astronômicos.

Objeto astronômico	$M_J^{(1)}$	Temperatura do núcleo (MK) ⁽²⁾	Isótopos queimados ⁽³⁾
planeta gigante	<13	<0,9	nenhum
anã marrom fria	13–20	0,9–1,1	${}^2\text{H}$
anã marrom típica	20–45	1,1–1,8	${}^2\text{H}$
anã marrom quente	45–65	1,8–2,5	${}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}$
anã marrom massiva	65–75	2,5–3,5	${}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$
transição	75–80	3,5–4,0	${}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^1\text{H}$
estrela anã vermelha	≥ 80	$\geq 4,0$	${}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^1\text{H}$

⁽¹⁾ M_J = massa joviana. O campo indica a massa do objeto em relação à massa de Júpiter.

⁽²⁾ A temperatura do núcleo é na unidade megakelvin (MK), ou seja, 1 milhão de kelvins.

⁽³⁾ isótopos: ${}^2\text{H}$ =deutério, ${}^6\text{Li}$ =lítio-6, ${}^7\text{Li}$ =lítio-7 e ${}^1\text{H}$ =hidrogênio.

queima do lítio. Portanto, esse elemento, na forma dos isótopos lítio-6 e lítio-7, permanece nas atmosferas dessas anãs marrons sem ser queimado. Assim, a presença dos dois isótopos de lítio na atmosfera de um objeto astronômico é uma assinatura que caracteriza que temos uma anã marrom com massa menor que 45 massas jovianas.

Nas anãs marrons quentes, com massa entre 45 e 65 massas jovianas, ocorre a queima do deutério e do lítio-6. Nestas anãs marrons, o lítio-7 não é consumido e assim, a presença deste isótopo na atmosfera é detectável e caracteriza este tipo de anã marrom.

Nas anãs marrons massivas, com massa entre 65 e 75 massas jovianas, o lítio-7 é queimado simultaneamente ao deutério e ao lítio-6, aumentando a temperatura do núcleo por um determinado tempo.

Quando a anã marrom tem uma massa na faixa de 75 a 80 massas jovianas, ela encontra-se numa faixa de transição entre uma anã marrom e uma estrela anã vermelha. Nesta faixa de massa ocorre a queima do hidrogênio, porém de uma forma muito instável. A anã marrom não tem massa e

Tabela 2: Tempo médio para queimar 95% do deutério.

$M_{\odot}$	tempo (Myr) ⁽¹⁾
13–20	100–500
20–45	20–100
45–65	2–20
65–75	0,5–2
75–80	0,1–0,5

⁽¹⁾ Myr: do inglês *megayear*. Em português é 1 mega-ano, ou seja, 1 milhão de anos. Assim, 200 Myr são 200 milhões de anos e 0,2 Myr são 0,2 milhões de anos = 200 mil anos.

temperatura suficiente para sustentar essa queima.

Por fim, se a massa for maior ou igual a 80 massas jovianas, a cadeia próton-próton se torna estável e dominante nos processos de fusão nuclear; caracterizando o objeto astronômico como uma estrela, que já surge sendo estrela. Não há uma evolução de uma anã marrom da faixa de transição para se tornar uma estrela anã vermelha. Por isso, as anãs marrons, mesmo as mais pesadas, recebem também o nome de estrelas falhadas.

Em estrelas, quanto maior a temperatura do núcleo, o hidrogênio esgota-se mais rapidamente. O mesmo ocorre com as anãs marrons;

quanto mais massiva, maior a temperatura do núcleo e isso torna a taxa de queima do deutério mais alta.

Mas em quanto tempo o deutério é consumido nas diferentes faixas de massa da anã marrom? O cálculo é um tanto complexo pois depende de vários fatores estudados pela Astrofísica. De uma maneira simplificada, podemos estabelecer valores médios apresentados na tabela 2.

Rumo à fria eternidade

Mas, o que ocorre quando o deutério se esgota? E o lítio também se esgota? As reações destes isótopos são concomitantes ou sequenciais?

Em todas as anãs marrons

Tabela 3: Classes espectrais de anãs marrons.

Classe espectral	$T_{efetiva}$ (K)	pico de emissão (μm)	bandas de absorção	região espectral
L	1300–2400	1,2–2,2	FeH, CrH, CaH, KI, NaI	visível, IV próximo
T	500–1300	2,2–5,8	CH ₄ , H ₂ O, KI, NaI	IV médio
Y	<500	>5,8	NH ₃ , CH ₄ , H ₂ O	IV médio/distante

Tabela 4: Características atmosféricas de anãs marrons.

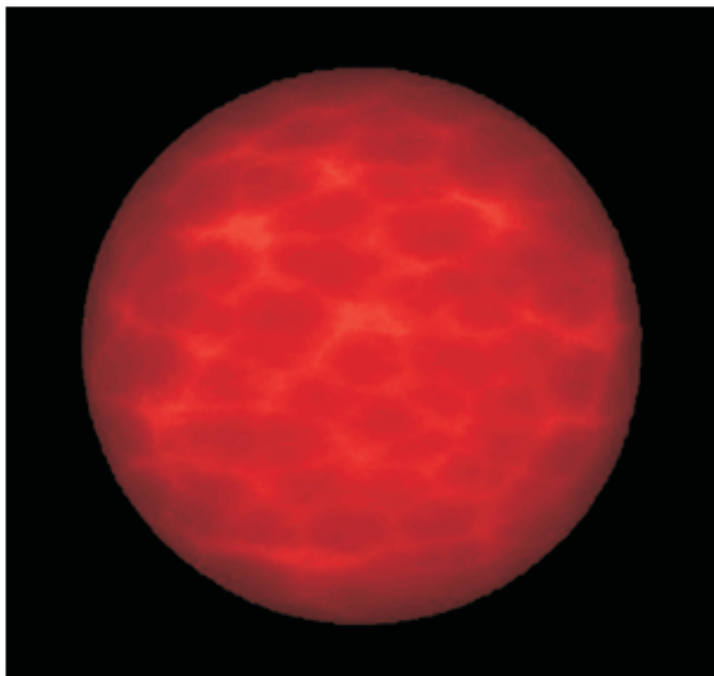
Classe	Características atmosféricas principais
L	presença de hidretos metálicos, iodetos de metais alcalinos e nuvens de silicatos (olivinas, piroxênios).
T	presença de moléculas de metano e água, nuvens de sulfetos (ZnS , MnS , Na_2S).
Y	gelos de água, amônia e metano gasoso.

há uma sequência de queima que sempre se inicia com a queima do deutério quando a temperatura do núcleo alcança 0,9 MK. O produto gerado nessa queima é o isótopo hélio-3, que se acumula na anã marrom (este isótopo queima apenas em núcleos de estrelas massivas).

Durante a queima do deutério, a temperatura do núcleo da anã marrom aumenta. Dependendo da massa, ao se alcançar uma determinada temperatura, ocorre a queima do lítio-6 e, se a massa for ainda maior, ocorre a queima do lítio-7. A queima do lítio pode se iniciar sem que o deutério esteja acabando, havendo uma sobreposição de reações de queima.

Como o deutério é o primeiro a iniciar a queima, é também o primeiro a se esgotar. Se ocorre a queima do lítio, esta reação também continuará até seu esgotamento. E o que acontece quando todo o “combustível” acaba?

Depois que o deutério e o



Concepção artística de uma anã marrom da classe espectral L.

lítio (se for o caso) acabam, a anã marrom não tem mais uma fonte de energia de fusão nuclear. A partir desse momento acontece o processo de resfriamento passivo. A anã marrom ainda tem energia gravitacional e calor armazenado em seu interior, assim ela se contrai lentamente e irradia essa energia para o espaço.

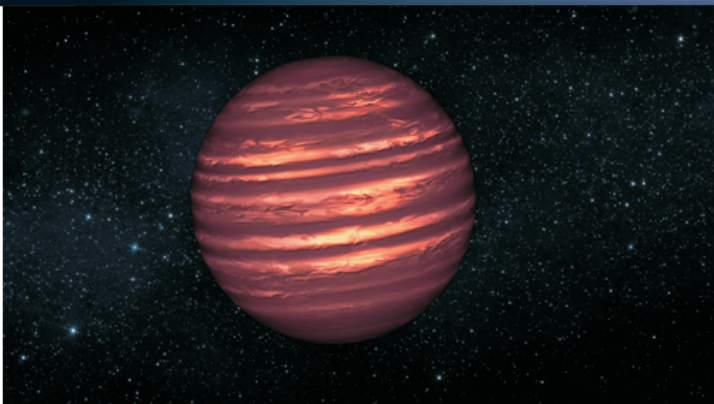
Modelos teóricos mostram que, para uma anã marrom resfriar até a temperatura de fundo cósmico (2,7 K) são necessários trilhões de anos. Como a idade atual do

Universo é de 13,8 bilhões de anos, o tempo de 1,38 trilhões de anos seria 100 vezes a idade atual do Universo.

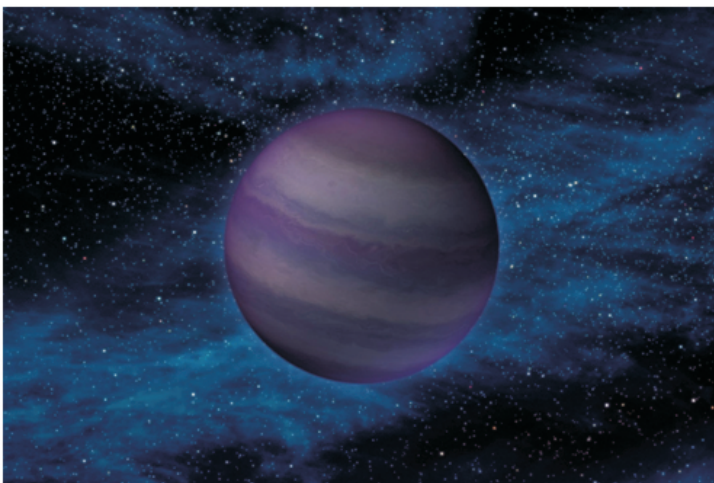
Todas as anãs marrons observadas até hoje ainda estão emitindo calor e serão, por um longo tempo, os “fósseis quentes” de uma estrela falhada.

As classes espectrais

Quando estudamos Astrofísica estelar, aprendemos que as classes espectrais das estrelas são definidas pelas letras:



Concepção artística de uma anã marrom de classe espectral T.



Concepção artística de uma anã marrom de classe espectral Y.

OBAFGKM, onde a classe espectral M é para as estrelas anãs vermelhas, que são as estrelas mais frias com temperaturas efetivas de 2400 a 3800 K.

Na análise do espectro de estrelas encontram-se linhas de metais e hidrogênio. Nas anãs marrons encontram-se espectros com bandas de

absorção de moléculas na atmosfera. Nas anãs marrons mais frias, encontram-se bandas de absorção de metano gasoso e de gelos de água e amônia.

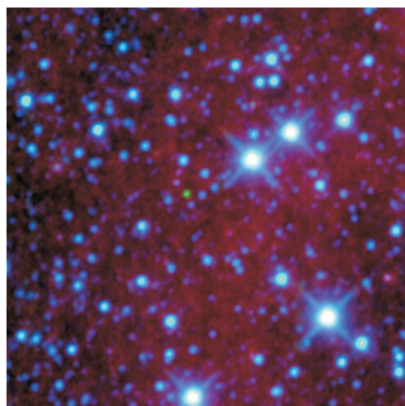
A tabela 3 apresenta algumas características das classes espectrais utilizadas para anãs marrons.

A tabela 4 apresenta características atmosféricas principais de cada classe espectral das anãs marrons.

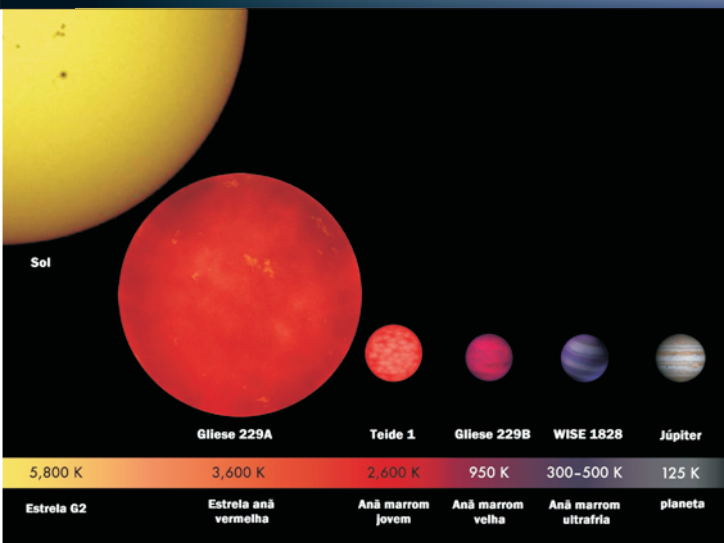
Planetas orbitando anãs marrons

De acordo com a definição da IAU de agosto de 2018, um planeta pode orbitar em torno de uma anã marrom desde que este planeta tenha uma massa inferior a 13 vezes a massa de Júpiter e que a sua massa seja inferior a 25 vezes menor que a massa da anã marrom.

Assim, para uma anã marrom com massa de 50 vezes a massa de Júpiter, se em torno dela orbitam objetos com massa abaixo de 2 vezes a massa de Júpiter, então estes objetos são planetas (pois $50/25 = 2$). Da



O ponto verde indica a anã marrom WISE 0458+6434, descoberta pelo telescópio espacial WISE. As cores azul e verde são falsas, usadas apenas para indicar intensidade de infravermelho.

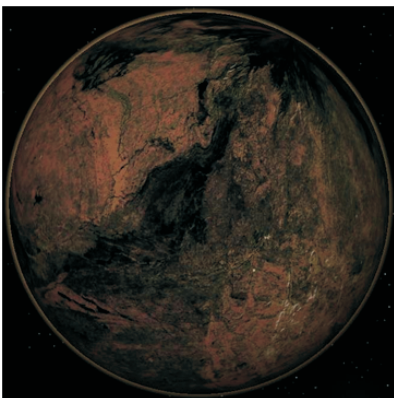


Comparação de tamanhos do Sol (estrela tipo G2), estrela anã vermelha, anã marrom jovem, anã marrom velha, anã marrom ultrafria e um planeta gigante gasoso com suas temperaturas efetivas.

mesma forma, para uma anã marrom de massa 13 vezes a massa de Júpiter, os objetos que a orbitam devem ter no máximo a massa de 0,52 vezes a massa de Júpiter (aproximadamente 165 vezes a massa da Terra) para serem

considerados planetas em torno da anã marrom.

Modelos computacionais sugerem que para um planeta com massa aproximadamente igual à massa da Terra orbitando uma anã marrom de classe espectral T ser habitável, ou seja, ter condições de abrigar vida, deve ter uma órbita de raio de 0,005 UA (200 vezes mais próxima que a distância média entre a Terra e o Sol) e uma excentricidade orbital extremamente pequena, ou seja, uma órbita praticamente circular, para que não ocorresse uma variação climática descontrolada no planeta. Este planeta também não



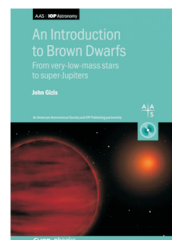
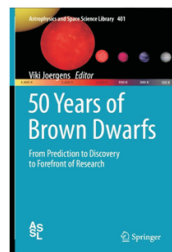
Representação artística de um planeta de carbono. Mundos como este podem orbitar anãs marrons.

poderia ter luas, pois poderia causar instabilidade orbital.

Considerando que os planetas em torno de uma anã marrom tenham uma origem comum, ou seja, da mesma nebulosa planetária, há uma possibilidade que os planetas que orbitam uma anã marrom sejam mundos de carbono, planetas que não são constituídos de rochas sílicas como os planetas internos do Sistema Solar, mas de rochas de grafite, carbeto metálico e diamante. Neste tipo de mundo, a possibilidade de encontrar água é praticamente nula.

Rafael Cândido Jr. é graduado e mestre em Engenharia Química. Integra o grupo de astronomia Arcturus, da UFABC.

Para saber mais:





EXOPLANETAS POTENCIALMENTE HABITÁVEIS

Palco da Vida no Universo

Wilson Guerra
wilsonguerra@gmail.com

Como a questão sobre a Vida no universo leva em conta um lugar para que ela possa surgir e evoluir, a procura por exoplanetas (planetas fora do Sistema Solar, que orbitam outras estrelas) é o primeiro e inevitável passo a ser dado.

Mas não basta procurar por exoplanetas quaisquer. É necessário procurar por aqueles que dêem condição da Vida surgir, evoluir e se desenvolver. Quando essas condições tem grande chance de estarem presentes, se diz que o

exoplaneta é *potencialmente habitável*.

Exoplaneta potencialmente habitável

Nossa única referência de Vida é a da Terra. Aqui, a água no estado líquido é fundamental para QUALQUER ser vivo. É na água que se encontra o meio reacional adequado para ocorrer o metabolismo que fornece a energia e a manutenção estrutural da célula, a unidade básica da Vida. A água pode existir no estado líquido aqui porque a temperatura média da Terra é de 27° C. Em temperaturas negativa, só haveria gelo. No

extremo oposto, ou seja, acima de 100°C, só existiria na forma de vapor. O que mantém a água líquida na Terra é o fato de sua temperatura média ficar entre esses dois extremos - de 0 a 100 graus. O fator determinante na temperatura média de nosso planeta é a energia que recebe de nossa estrela, o Sol. A Terra não está nem tão afastada, para as temperaturas ficarem negativas, nem tão próxima, para que fiquem superiores a 100°C. Assim, a Terra está na Zona Habitável do Sol (figura 1). Além de orbitar o Sol na zona habitável, nosso "pálido ponto azul"

apresenta uma estrutura rochosa, com superfície firme e definida. Nela a Vida pôde se apoiar e evoluir.

Se os astrobiólogos procuram pela Vida como a conhecemos em planetas fora do Sistema Solar, é preciso que o exoplaneta tenha estas duas características: orbite a zona habitável de sua estrela e seja rochoso como a Terra, e não gasoso como Saturno e Júpiter. Um exoplaneta *potencialmente habitável* é aquele que possui estes dois requisitos.

Deteção de exoplanetas

Exceto em casos muito especiais, não é possível observar diretamente um exoplaneta com a tecnologia atual de telescópios. Todavia, há vários métodos indiretos para atestar a existência de planetas orbitando uma estrela.



Em meados da década de 1990 os primeiros exoplanetas começaram a ser detectados. O método usado é conhecido como Astrometria. Nele, os astrônomos medem o "balanço" que a estrela recebe devido a atração gravitacional mútua com o planeta. Se o planeta tiver massa suficiente, seu "puxão" na estrela pode observado na forma de oscilações regulares em torno do centro de massa do sistema (figura 2). Infelizmente, a condição para o método astrométrico é sua limitação: exoplanetas de grande massa. Assim, este

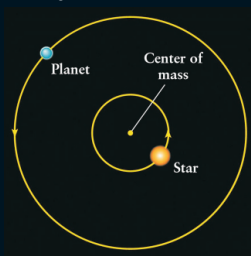
método costuma detectar apenas objetos gigantes, tipo Júpiter.

Outra forma de detectar o balanço gravitacional que o exoplaneta produz na sua estrela é pelo efeito Doppler. Este efeito provoca a mudança na frequência de uma informação de natureza ondulatória cuja fonte esteja em movimento. É como acontece na mudança do som de uma ambulância quando o veículo se aproxima de nós e quando se afasta. Ao se aproximar, o som da sirene parece mais agudo, enquanto que ao se afastar o

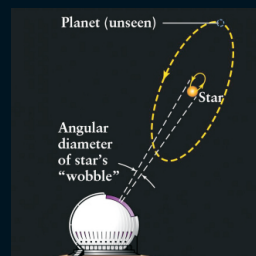


Na prova do "lançamento de martelo", o atleta e o peso giram em torno do centro de massa.

Figura 2 - Astrometria



Se o planeta for suficientemente grande, o giro da estrela em torno do centro de massa é perceptível.



Ao detectar o "balanço" da estrela, os astrônomos podem estimar a massa do exoplaneta que nela orbita.

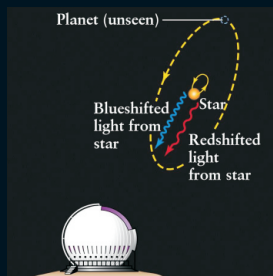


Figura 3 - Efeito Doppler

Os desvios na frequência da luz recebida da estrela dizem o quanto ela gira, e que tipo de exoplaneta provocou o movimento.

som fica mais grave. Tal como o som, a luz também se comporta com uma onda - neste caso, uma onda eletromagnética. Assim, se uma fonte de luminosa aproxima, sua luz fica "mais aguda": dizemos que ela tende para o azul (maior frequência). Se a fonte luminosa se afasta, sua luz fica "mais grave": tende para o vermelho (menor frequência). Medindo estes desvios na luz de uma estrela que oscila, os astrônomos podem estimar a velocidade da estrela e assim determinar que tipo de planeta está provocando esse movimento (figura 3). Contudo, este método

difficilmente detectaria planetas rochosos de pequena massa como a Terra, pois o efeito Doppler proporcionado por planetas de pequena massa são inferiores aos limites mínimos de detecção.

O método mais promissor para se detectar exoplanetas pequenos e rochosos como a Terra chama-se Fotometria. Ele se baseia no trânsito do exoplaneta em sua estrela central, ou seja, a passagem na frente do disco brilhante do astro. Cada passagem obstrui parte do brilho da estrela, que pode ser minuciosamente medido pela atual tecnologia de

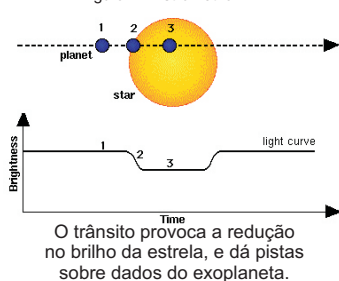
telescópios (figura 4). O percentual de diminuição do brilho detectado da estrela durante o trânsito bem como o início e o fim do processo dão informações suficientes para se determinar a massa, o tamanho, o período de revolução e a posição do exoplaneta em relação à sua estrela. A clareza da medida é tão boa que exoplanetas pequenos como a Terra e Marte podem ser inequivocadamente identificados.

O telescópio espacial Kepler, lançado com o objetivo de identificar exoplanetas, utiliza o método fotométrico de detecção. Atualmente ele opera com restrições, e mesmo assim tem encontrado centenas de exoplanetas, que soma-se aos milhares já detectados quando funcionava bem.

Exoplanetas potencialmente habitáveis já detectados

O número de exoplanetas confirmados cresce a todo momento. Telescópios de todo o mundo estão confirmando suas existências desde a década de 1990, quando os métodos estavam bem desenvolvidos e a resolução dos telescópios começaram a atingir precisão suficiente. Hoje são mais de 3.500 exoplanetas confirmados distribuídos

Figura 4 - Astrometria



$$\left| \frac{L}{L} \right| \left| \frac{R_p}{R_E} \right|^2$$

L - luminosidade da estrela
 ΔL - redução da luminosidade
 R_p - raio do planeta
 R_E - raio da estrela

em mais de 2.600 sistemas, desde estrelas mais próximas até a alguns milhares de anos-luz de distância de nós. Vários dos sistemas são multiplanetários, e alguns tem até mais de uma estrela central! Desta lista toda, atualizada em 2024, há 41 deles que parecem ter condições de abrigar a Vida. Seus tamanhos variam desde exoplanetas quase do tamanho da Terra à "superterras", com mais que o dobro do diâmetro de nosso planeta. Vejamos as características conhecidas até agora de alguns deles.

Kepler-186-f: o mais parecido com o tamanho da Terra

Este exoplaneta é apenas

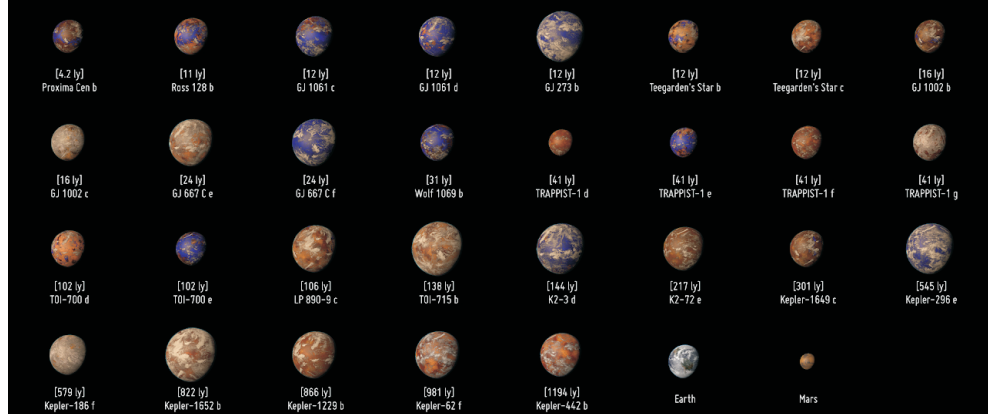
10% maior que a Terra e está a 1.500 anos-luz de nós. Orbita uma estrela anã vermelha. Como o brilho desta estrela é bem menor que o do Sol, sua zona habitável também fica mais próxima. A proximidade da estrela também pode obrigar o exoplaneta a ter sua rotação em torno de si mesmo sincronizada com o

movimento de revolução em torno da estrela. Isso faria com que Kepler-186f estivesse sempre com a mesma face voltada para a estrela, podendo-a aquecer muito. A face oposta ficaria sempre na região noturna, resfriando-a. A fronteira entre o dia e a noite eterna deste mundo poderia ter então temperaturas amenas.



Concepção artística de Kepler-186f (NASA)

Potentially Habitable Worlds



Artistic representations. Earth and Mars for scale.

Planets are organized in order of their increasing distance from Earth (shown between brackets in light-years).

CREDIT: The Habitable Worlds Catalog, PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Jan 2024

Tabela com a quantidade mínima de exoplanetas potencialmente habitáveis já detectados. A lista total pode chegar a 41 exoplanetas desta categoria. Terra e Marte inseridos para efeito de comparação. Fonte: <http://phl.upr.edu>

Mas ainda há muito para se pesquisar. Uma atmosfera densa e ativa poderia distribuir a energia térmica deste exoplaneta, uniformizando mais a temperatura (isso ocorre na Terra) e talvez dando condições da existência da Vida em uma área maior.

Kepler-462b, exoplaneta que orbita uma sócia solar

Este exoplaneta está a 1.400 anos-luz de nós. É 60% maior que a Terra e está definitivamente na zona habitável de sua estrela. Um detalhe interessante é que a estrela é uma "sócia" ou "gêmea solar", ou seja, é muitíssimo parecida com nosso Sol (tamanho, temperatura superficial, fluxo de luz e calor etc). Isso torna as chances de habitabilidade de Kepler-462b muito mais interessantes, pois o paralelo



Ilustração artística do exoplaneta Gliese 667 Cc. (ESO)

com a Terra é muito maior.

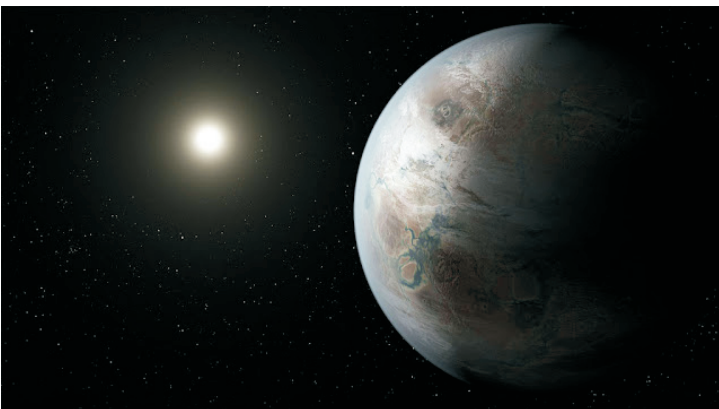
Gliese 667Cc, exoplaneta de um sistema triplo

Este exoplaneta está relativamente próximo de nós, a 22 anos-luz. Ele é pelo menos 4 vezes maior que a Terra, provavelmente constituindo como se costuma dizer, uma

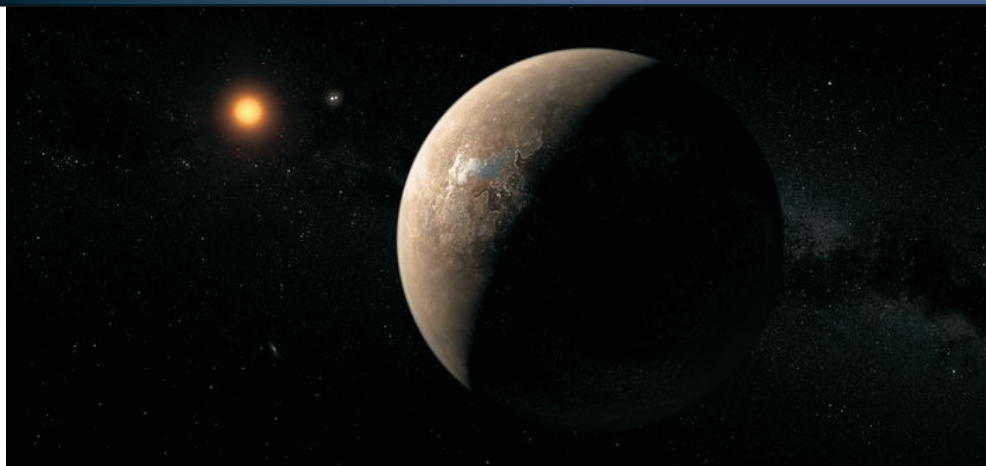
superterra. Ele orbita uma estrela vermelha de brilho bem mais fraco que nosso Sol, portanto menos quente. Porém esta órbita é muito pequena, o que garante sua posição na zona habitável estelar. O detalhe curioso é que há mais duas estrelas gravitacionalmente ligadas ao sistema, fazendo de Gliese 667Cc um exoplaneta de um sistema triplo de estrelas!

Proxima b, um exoplaneta habitável na vizinhança?

Este exoplaneta é um pouco maior que a Terra e orbita a zona habitável da estrela anã vermelha Proxima Centauri. A descoberta, feita pelo ESO (Observatório Sul-Europeu, no Chile), apresenta duas interessantes peculiaridades. Primeiro que



Concepção artística de Kepler-186f (NASA)



Concepção artística mostra o planeta Proxima b em órbita da estrela anã vermelha Proxima Centauri. A estrela dupla Alfa Centauri AB também pode ser vista na imagem entre o planeta e Proxima Centauri - Crédito: ESO/M. Kornmesser

o método de detecção desta estrela não foi o fotométrico, normalmente usado para esse tipo de descoberta. Proxima b foi encontrado graças ao efeito doppler que seu balanço gravitacional imprime na estrela Proxima Centauri. Isto foi possível pela baixa massa da estrela. A segunda e mais interessante peculiaridade é que Proxima Centauri é a estrela mais próxima do Sistema Solar, a apenas 4,2 anos-luz de distância. Em escala astronômica é "logo ali". Isso chamou a atenção da comunidade científica por muitos motivos. Por estar tão perto, aumentam as possibilidades de se estudar esse sistema com grande grau de detalhe. A descoberta foi tão importante que um projeto

financiado pelo milionário físico russo Yuri Milner e apoiado por Stephen Hawking foi levemente alterado. Poucos meses antes os dois haviam lançado um projeto de lançamento de nanossatélites (o "starchip") impulsionados a laser em direção a Alfa Centauri, um sistema duplo de estrelas que marcaria a primeira viagem interestelar de sondas. A viagem levaria 20 anos, o que é plausível para toda uma geração de astrônomos. Acontece que a estrela Proxima Centauri parece fazer parte do sistema Alfa Centauri, ou seja, eles são vizinhos entre si. O projeto então ganhou um fôlego extra, pois sabemos agora que há um exoplaneta na região, e ele é potencialmente habitável!

Água detectada!

Pesquisadores usaram dados de arquivo de 2016 e 2017 capturados pelo Telescópio Espacial Hubble da NASA / ESA e desenvolveram algoritmos de código aberto para analisar a luz das estrelas filtrada na atmosfera de K2-18b, um exoplaneta rochoso que orbita a zona habitável de sua estrela. Os resultados revelaram a assinatura molecular do vapor de água, indicando também a presença de hidrogênio e hélio na atmosfera do planeta.

Os autores do artigo, publicado na Nature Astronomy, acreditam que outras moléculas, incluindo nitrogênio e metano, podem

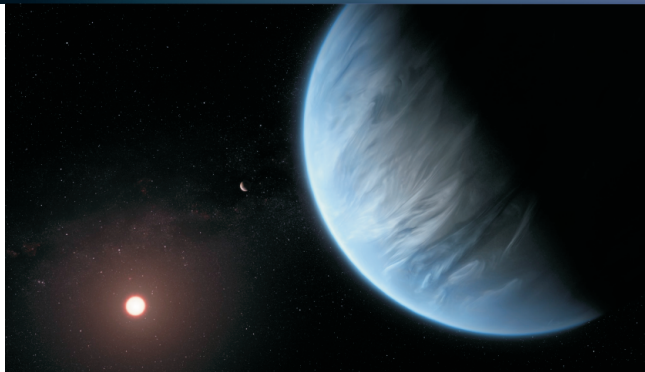


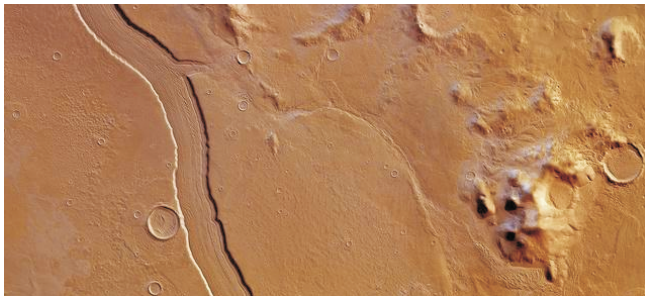
Ilustração mostra o exoplaneta K2-18b, sua estrela hospedeira e um planeta que acompanha este sistema. Dados do telescópio Hubble detectaram água em sua atmosfera.

estar presentes, mas permanecem indetectáveis com as observações atuais. Mais estudos são necessários para estimar a cobertura de nuvens e a porcentagem de água atmosférica presente. A existência de exoplanetas em zona habitável não é novidade, mas é primeira vez que água é detectada em planetas nestas condições. O sistema de K2-18b está a 110 anos-luz de distância.

Marte: vida fora da Terra em nosso quintal?

Marte não é um exoplaneta. Ele está aqui no nosso

Sistema Solar. Mas seu interesse astrobiológico é de longe o que mais chama a atenção. Sabe-se que Marte teve muita água no passado, como atesta por exemplo os inúmeros leitos secos de rios em sua superfície. Recentemente, a sonda europeia Mars Express detectou água líquida no planeta, mas não na superfície e sim no subsolo. Provavelmente já teve também mais atmosfera. Nestas condições, sua posição no Sistema Solar o deixaria na margem externa da Zona Habitável, mas ainda assim dentro dela.



Leitos secos de rios antigos em Marte.

Teria a Vida surgido em Marte? Se sim, ainda existe? Se existe, onde está? Se foi extinta, deixou vestígios? Uma verdadeira força tarefa de agências espaciais de vários países tem trabalhado para responder estas e outras questões, incluindo o envio de orbitadores e sondas de solo. O que for (se for) encontrado em Marte pode ajudar muito na busca de Vida pelo Universo, orientando as pesquisas.

Possibilidades

Há trilhões de galáxias, cada uma com centenas de bilhões de estrelas. Muitas destas estrelas, estamos notando, parecem ter vários planetas em seu entorno. Alguns destes planetas ocupam a zona habitável estelar. É matematicamente improvável estarmos sozinhos. Caso contrário o universo será, como dizia o astrobiólogo Carl Sagan, um enorme desperdício de espaço!

Wilson Guerra é astrônomo amador e professor. Gradua-se em Física, tem especialização em Astrobiologia e é mestre em Educação Científica.

Referências:

www.nasa.gov/kepler

www.eso.org

www.exoplanets.eu

www.planethunters.org

Astrobiologia: ciência emergente
www.tikinet.com.br/iag/default.asp



ASTRO NOVA

REVISTA DE DIVULGAÇÃO DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS DA NATUREZA

AstroNova é uma colaboração de entusiastas, estudantes, professores, astrônomos amadores e profissionais para a divulgação de Astronomia e Ciências da Natureza. É trimestral, com divulgação gratuita. É permitida sua reprodução total ou parcial desde que citada a fonte.

Disponível em:
www.astronova.com.br

Nos acompanhe nas redes sociais:

 **[/revistaastronova](https://www.youtube.com/revistaastronova)**

 **[/AstroNova](https://www.facebook.com/AstroNova)**

 **[/rev_astronova](https://twitter.com/rev_astronova)**

 **[/revistaastronova](https://www.instagram.com/revistaastronova)**