



O USO DO PLANET HUNTERS TESS PARA A DETECÇÃO DE POSSÍVEIS EXOPLANETAS

THE USE OF PLANET HUNTERS TESS FOR THE DETECTION OF POTENTIAL EXOPLANETS

FRANCISCO BORGES TAVARES¹, ALLAN RANIERI PEREIRA MOREIRA²

^{1,2} Secretaria da Educação do Ceará (SEDUC), Coordenadoria Regional de Desenvolvimento da Educação (CREDE 9), Horizonte, Ceará, 62880-384, Brasil

Resumo

O presente trabalho consiste em uma breve análise da implementação do software Planet Hunters TESS como uma ferramenta para o ensino de astronomia. Através dos dados fornecidos pelo projeto Kepler, é feita a análise de duas estrelas que são consideradas fortes candidatas a terem planetas orbitando ao seu redor. Demonstramos de forma simples o cálculo para determinar as massas, que é feito através da relação massa-luminosidade e da relação logarítmica entre a massa e a luminosidade das estrelas. Essa análise é simples e pode ser facilmente realizada por alunos do ensino médio.

Palavras-chave: Planet Hunters TESS. Luminosidade. Kepler. Ensino de astronomia.

Abstract

The present work consists of a brief analysis of the implementation of Planet Hunters TESS software as a tool for teaching astronomy. Through the data provided by the Kepler project, an analysis is made of two stars that are considered strong candidates to have planets orbiting around them. We demonstrate in a simple way the calculation to determine the masses, which is done through the mass-luminosity relationship and the logarithmic relationship between the mass and luminosity of the stars. This analysis is simple and can be easily performed by high school students.

Keywords: Planet Hunters TESS. Luminosity. Kepler. Teaching astronomy.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de Astronomia, de maneira bastante sintética, é definido como a ciência que estuda os corpos celestes, abrangendo sua composição, estrutura e movimentos, tendo por objetivo compreender o surgimento do Universo e sua evolução, sistemas planetários, diferenciar corpos celestes e até mesmo explicar como surgiu a vida e em que condições esta emergiu (COSTA JUNIOR et al., 2018). Sua origem remonta à mais remota antiguidade, sendo desenvolvida principalmente pelos babilônicos e egípcios. Seu escopo envolve estudar quaisquer fenômenos que ocorram fora da atmosfera terrestre e diferenciar diferentes corpos celestes de acordo com suas características e composição, como planetas, asteroides, cometas, galáxias, aglomerados estelares, satélites, entre outros (LIMA et al., 2022).

A astronomia desempenha um papel fundamental na evolução do conhecimento e na criação de novas tecnologias. Suas aplicações são inúmeras, desde a divisão do dia e da noite, criação de calendários, definição das estações do ano, efeito das marés, lançamentos de satélites, monitoramento de comunicações, prevenção de desastres, entre outros (FERREIRA et al., 2021). Sua concepção permitiu ao ser humano mapear o céu e descobrir a existência de inúmeros planetas, além de estudar radiação cósmica e especular sobre a possibilidade de vida fora do nosso sistema solar. De maneira mais geral, a astronomia possibilitou que o ser humano desse um salto bastante significativo em conhecimento, desenvolvimento de novas tecnologias e exploração do espaço sideral, contribuindo assim com os avanços científicos em várias áreas (LIMA et al., 2022).

Sendo a astronomia tão importante, necessitamos implementá-la na educação básica para incentivar os discentes a se interessarem por ciências (SLOVINSCKI et al., 2021). De fato, a astronomia é muito atraente e constitui uma linha de pesquisa indispensável para a divulgação científica (LEITE et al., 2020). Com o passar dos anos, observamos um aumento na evasão dos discentes do ensino básico. Muitos desses discentes, ao concluírem o ensino médio, demonstram menos interesse por cursos de graduação voltados para as ciências. Uma maneira de contornar esse problema é atraí-los através da astronomia.

O ensino de astronomia é algo muito estudado (COSTA & MAROJA, 2018). Existem vários trabalhos que demonstram técnicas e ferramentas para o ensino de astronomia

(MACEDO & ROBERTO JUNIOR, 2018; FARIAS & BARBOSA, 2018; JUSTINIANO et al., 2017; VECHI et al., 2013; CAETANO, 2021; SILVA et al., 2021; ALMEIDA et al., 2020; SILVA et al., 2020; SOUZA & CYPRIANO, 2020; BARROSO et al., 2020; SILVA-OLIVEIRA et al., 2020). Uma ferramenta muito poderosa para o estudo de estrelas é o Planet Hunters TESS (NORA et al., 2022; NORA et al., 2021a; NORA et al., 2021b; NORA et al., 2020). Mas como podemos usar esse software para o ensino de astronomia? Este trabalho tem como objetivo responder a essa pergunta.

O trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2, fazemos uma breve introdução dos conceitos básicos utilizados no software Planet Hunters TESS. Na seção 3, tratamos dos métodos de determinação de massas de estrelas, onde procuramos uma álgebra que relacione a densidade do astro (estrela) com a densidade do Sol, a relação massa-luminosidade (lei de Stefan-Boltzmann). A seguir, na seção 4, fizemos as aplicações da lei de Stefan-Boltzmann e da relação massa-luminosidade para duas estrelas. Na seção 5, relatamos a importância de utilizarmos este software como uma ferramenta para o ensino de astronomia. Por fim, na seção 6, apresentamos as considerações finais.

II. BREVE ABORDAGEM SOBRE OS PLANET HUNTERS TESS

Planet Hunters, ou Caçadores de Planetas, é um projeto idealizado por Debra Fischer e Kevin Schawinski, da Universidade de Yale, nos Estados Unidos (NORA et al., 2020). O projeto opera com base nos dados fornecidos pelo telescópio Kepler e tem como objetivo gerar, por meio de software, curvas de luz da estrela em relação ao seu período orbital (NORA et al., 2020). O projeto conta com o apoio de amadores em astronomia, pois essas curvas de luz são simples de serem analisadas. Essas curvas são extremamente úteis porque quando um planeta passa na frente de uma estrela, seu brilho diminui significativamente, o que pode ser observado claramente na curva de luz fornecida pelo software.

As curvas de luz construídas com base nos dados do telescópio Kepler mostram que o brilho da estrela varia ao longo do tempo devido aos eclipses constantes entre uma estrela e outra em um sistema binário, resultando na queda do brilho da estrela que está sendo eclipsada (NORA et al., 2022; NORA et al., 2021a; NORA et al., 2021b; NORA et al., 2020). Quando a estrela de menor brilho está à frente da estrela de maior brilho, ocorre um eclipse primário, causando uma queda acentuada no brilho da estrela (NORA et al., 2022). Já quando a estrela de menor brilho está sendo eclipsada pela estrela de maior brilho, a curva de luz não apresenta variações abruptas. Esse fenômeno pode ser observado na Figura 1.

Quando uma estrela é maior que a outra, as depressões no brilho são claramente perceptíveis. O período orbital da estrela pode ser facilmente determinado quando a curva de luz do brilho apresenta certa regularidade. Por exemplo, na Figura 1, o período orbital é de aproximadamente cinco dias. O brilho de uma estrela está intimamente relacionado à sua luminosidade. Expressando a relação entre o brilho e a luminosidade em linguagem matemática, temos que:

$$B = \frac{L}{4\pi d^2} \quad (1)$$

Pela relação acima concluímos que

$$B \sim \frac{L}{d^2} \implies L \sim B \cdot d^2 \quad (2)$$

Ora, se L (watts) é diretamente proporcional ao produto de B (GU) por d^2 (m^2), implica também que a massa é diretamente proporcional a este produto de B por d^2 , pois a massa é diretamente proporcional à luminosidade, ou seja,

$$N \sim B \cdot d^2 \quad (3)$$

O Planet Hunters nos fornece apenas a curva do brilho em relação ao período em dias (NORA et al., 2020). No entanto, dado que existe uma relação entre o brilho e a luminosidade, podemos inferir, por meio de uma álgebra simples, a massa das estrelas com base na variação do brilho.

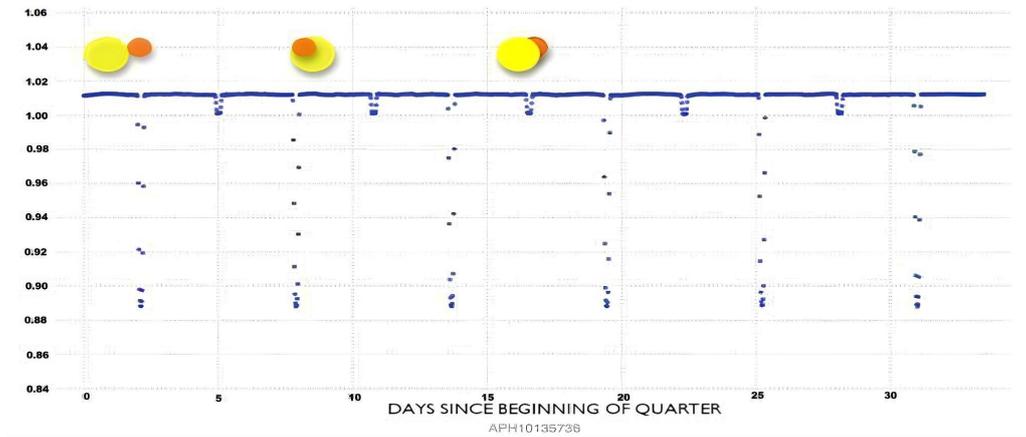


Figura 1: Diferentes situações de eclipses no conjunto binário Fonte: Autoria própria utilizando o Planet Hunters TESS.

III. A RELAÇÃO MASSA-LUMINOSIDADE

Podemos definir a luminosidade de um astro como a quantidade de energia que ele irradia por unidade de tempo. A determinação da luminosidade de um astro é extremamente importante para seu estudo físico, pois através dela é possível determinar sua massa (NORA et al., 2022; NORA et al., 2021a; NORA et al., 2021b; NORA et al., 2020). As massas de estrelas binárias podem ser estimadas com uma precisão razoável usando um método de comparação em massas solares. Em outras palavras, podemos estabelecer uma relação entre a massa da estrela e sua luminosidade seguindo os seguintes critérios: (M_e = massa da estrela; M_\odot = massa do Sol (kg)):

$$M_e \geq 3M_\odot \rightarrow L \propto M_e^3 \quad (4)$$

$$3M_\odot \geq M_e \geq 0.5M_\odot \rightarrow L \propto M_e^4 \quad (5)$$

$$M_e \leq 0.5M_\odot \rightarrow L \propto M_e^{2.5} \quad (6)$$

As massas das estrelas variam dentro de um intervalo entre 0,08 e 100 massas solares, já por sua vez a luminosidade varia entre 10^{-4} e 10^6 vezes a luminosidade do Sol. Devemos levar em consideração que para se determinar a luminosidade de uma estrela tem que se observar o seu fluxo de radiação. Quando se coloca num gráfico as massas e as luminosidades de sistemas binários, temos a chamada relação massa-luminosidade (NORA et al., 2022).

Portanto, não é de se estranhar que a luminosidade de uma estrela dependa de sua massa, que satisfaz a seguinte relação:

$$\log\left(\frac{L_e}{L_\odot}\right) \approx \log\left(\frac{M_e}{M_\odot}\right) \quad (7)$$

Vale lembrar que a relação acima é apenas de aproximação, ou seja, não se é possível prever com total exatidão a massa da estrela, mas o cálculo é feito dentro de uma margem de erro razoavelmente aceita.

A temperatura de uma estrela está intimamente relacionada ao brilho e ao seu raio. Na verdade podemos estabelecer uma relação entre a luminosidade da estrela, seu tamanho e sua temperatura através da lei de Stefan-Boltzmann, da qual se deduz que a luminosidade da estrela é diretamente proporcional ao quadrado de seu raio e a quarta potência da temperatura. Expressando numa linguagem matemática temos:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4, \quad (8)$$

onde σ é chamada de constante de Stefan-Boltzmann, e vale $\sigma = 5,67051 \times 10^{-5} \text{ ergs cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$. Através da relação de luminosidade podemos concluir que tanto a temperatura quanto o raio são decisivos na luminosidade da estrela, sendo que a temperatura é muito mais definidora, pois está elevada à quarta potência.

A relação de luminosidade pode ser demonstrada através de argumentos bem simples. Tomando $F = L/A$, onde $A = 4\pi R^2$ e sabendo também que $F = \sigma T^4$. Reorganizando os termos e substituindo F por σT^4 , ficaremos com

$$\sigma T^4 = \frac{L}{4\pi R^2} \rightarrow L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (9)$$

As estrelas mais comuns têm temperaturas variando entre 3000 e 30000 K, que expressa em temperatura solar varia entre $0,5 T_\odot$ e $5 T_\odot$, já a luminosidade varia no intervalo de $10^{-4} L_\odot$ e $10^6 L_\odot$.

IV. O USO DO PLANET HUNTERS PARA ANÁLISES DE ESTRELAS

Utilizando a relação massa-luminosidade e a relação logarítmica, ambas descritas na seção anterior, iremos determinar a massa de duas estrelas através do gráfico e dos dados fornecidos por Kepler.

IV.1. A estrela SPH10077908

A primeira estrela é a SPH10077908 (Figura 2), que é considerada uma forte candidata a possuir planetas orbitando-a. Seus dados são: magnitude $m = 14,46$; raio $R = 0,85 \cdot R_{\odot}$; temperatura $T = 5931$ K. Aplicando a relação da luminosidade e substituindo os valores fornecidos pelo telescópio, descobrimos a luminosidade do astro:

$$L = 3 \times 10^{26} \text{ watts} \quad (10)$$

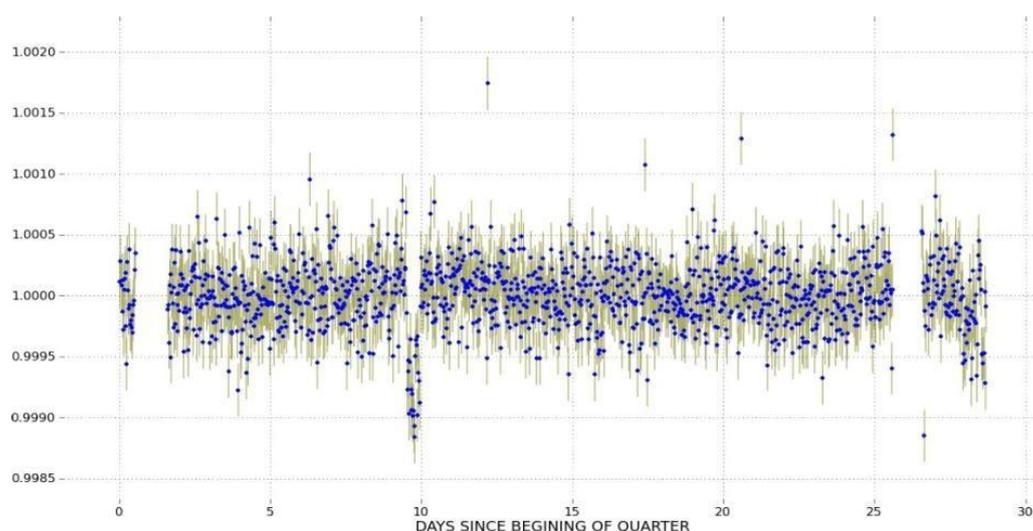


Figura 2: Estrela SPH10002911. Fonte: Autoria própria utilizando o Planet Hunters TESS.

Tendo a luminosidade podemos descobrir a massa da estrela através da relação

$$\frac{\log L_e}{L_{\odot}} = \log \left(\frac{3 \times 10^{26}}{3.9 \times 10^{26}} \right) \approx \log 0.76 \approx -0.1 \quad (11)$$

Como a relação logarítmica da luminosidade resultou em -0,1, de imediato podemos concluir que a massa da estrela é aproximadamente:

$$\frac{\log \frac{M_e}{M_{\odot}}}{\log \frac{M_e}{1,9 \times 10^{30}}} \approx 0,1 \Rightarrow M_e = 1,9 \times 10^{30} \cdot \sqrt{10^{10}} = 2,47 \times 10^{30} \text{ kg} \quad (12)$$

IV.2. A estrela SPH10069370

O Planet Hunters fornece os seguintes dados para a estrela SPH10069370 (Figura 3): magnitude = 13,227; raio = $2,16 \times \text{Sol}$; temperatura = 5794 K. Calculando a luminosidade da estrela:

$$L = 1,8 \times 10^{27} \text{ watts} \quad (13)$$

Utilizando a relação logarítmica para descobrir a massa da estrela:

$$\frac{\log \frac{L_e}{L_\odot}}{\log \frac{1,8 \times 10^{27}}{3,9 \times 10^{26}}} \approx \log 4,6 \approx 0,66 \quad (14)$$

Conferindo no gráfico da relação logarítmica da luminosidade versus massa estelar, o expoente 0.66 equivale a aproximadamente 0.3 na razão do logaritmo da massa estelar em relação à massa solar ($\text{Log } M_e/M_\odot$).

$$\frac{\log \frac{M_e}{1,9 \times 10^{30}}}{\log 10^{0,3}} = 1 \Rightarrow \frac{M_e}{1,9 \times 10^{30}} = 10^{0,3} \Rightarrow M_e = 1,9 \times 10^{30} \sqrt{10^{10^3}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg} \quad (15)$$

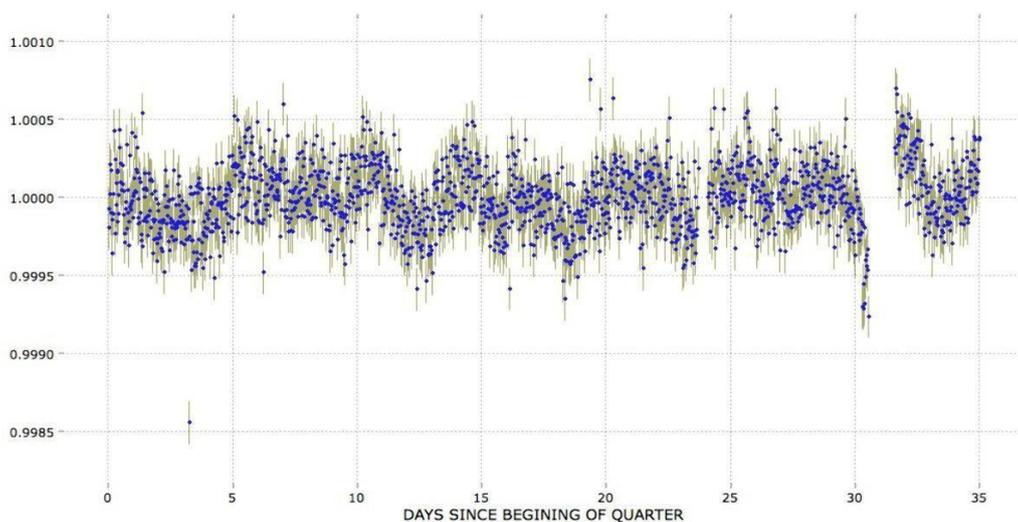


Figura 3: Estrela SPH10069370. Fonte: Autoria própria utilizando o Planet Hunters TESS.

V. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Percebe-se que o ensino de Astronomia no Ensino Médio é muito escasso, uma vez que nem mesmo os livros didáticos abordam assuntos de Astronomia e Astrofísica e, quando abordados, é de forma muito superficial (COSTA JUNIOR et al., 2018). Tal fato faz com que os alunos terminem o Ensino Médio com pouco conhecimento sobre o assunto (FERREIRA et al., 2021). Portanto, faz-se necessário o uso imediato de novas estratégias e tecnologias inovadoras para a disseminação do ensino de astronomia (SLOVINSCKI et al., 2021; LEITE et al., 2020; COSTA & MAROJA, 2018; MACEDO & ROBERTO JUNIOR, 2018).

Nos últimos anos, a Educação passou por muitas mudanças e adaptações ocasionadas pela pandemia, que nos mostrou a importância do uso de tecnologias no ensino híbrido. Portanto, ficou evidente, neste período caótico da Covid-19, que a educação e a tecnologia estão intrinsecamente ligadas e são inseparáveis. Assim, faz-se necessário o processo de inovação na disseminação da educação com a inserção de tecnologias e novos métodos de ensino.

Com o advento da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC), aprovada em 2018, torna-se possível a inserção de novos conteúdos e disciplinas eletivas no novo currículo do Ensino Médio. Desta forma, sugerimos uma disciplina eletiva de Astronomia com o uso do software Planet Hunters TESS como ferramenta auxiliar. Como o software foi criado para a astronomia amadora, qualquer indivíduo poderia facilmente utilizá-lo. Não é necessário ser um perito em física ou astronomia; basta ter paixão pelo tema para manusear o software. Um aluno do Ensino Médio, juntamente com seu professor, pode facilmente identificar e calcular as massas de possíveis exoplanetas.

Portanto, como foi bem demonstrado neste artigo, de forma simples e rápida pode ser feita a análise de possíveis exoplanetas utilizando o Planet Hunters TESS. Devido à sua simplicidade, qualquer pesquisador amador pode realizar essa análise, abrindo a possibilidade de aplicação no ensino de astronomia na rede de educação básica. A proposta é que, em uma disciplina eletiva, o professor foque na aplicação do software para detectar possíveis exoplanetas habitáveis. Isso representa uma aplicação simples e tangível para alunos do ensino médio. Suas descobertas podem ser publicadas em revistas científicas e apresentadas em feiras científicas, tornando a pesquisa científica um elemento mais acessível aos alunos do ensino médio. De certa forma, o uso do Planet Hunters TESS contribui para aproximar as pessoas da astronomia, disseminando o conhecimento científico e aproximando a ciência do público em geral.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maurício S.; CASTRO, João N.M.; CRUZ, Wilami T.; ALMEIDA, Rodrigo Q. Construção de uma Maquete do Sistema Solar com Controle de Temperatura para Alunos com Deficiência Visual. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 42, e20190098 (2020). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/9FHRfwb8Xh7LL4xqb8jSvYN/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

BARROSO, Renato Rodrigues; OLIVEIRA, Alexandre Lopes de; JESUS, Vitor Luiz de. Simulação da detecção de exoplanetas pelo método do trânsito utilizando o pêndulo cônico e o smartphone. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 42, e20200161 (2020). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/BJgdVjPX9wBsRmHqJRRfHLf/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

CAETANO, Thiago Costa. O experimento curva de luz do Laboratório Remoto de Física: uma proposta de atividade investigativa contextualizada epistemologicamente. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 43, e20210169 (2021). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/pVVff5L6DDjkrHrWbGHN9By/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

COSTA JUNIOR, Edio da; FERNANDES, Bruno da Silva; LIMA, Guilherme da Silva; SIQUEIRA, Andreza de Jesus; PAIVA, Jéssica Natália Miranda; SANTOS, Marina Gomes e; TAVARES, João Pedro; SOUZA, Taynara Vitória de; GOMES, Thaciara Marcela Ferreira. Divulgação e ensino de Astronomia e Física por meio de abordagens informais. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 40, e5401 (2018). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/>

4TB9vNbxxWBbt6ndcygtjBh/abstract/?lang=pt>. Acessado em: 12 de set. 2022.

COSTA, Ivan Ferreira da; MAROJA, Armando de Mendonça. Astronomia diurna: medida da abertura angular do Sol e da latitude local. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 40, e1501 (2018). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/6SSW7cwdDmbTsbhMXCDLC9z/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

FARIAS, Maria Licia de Lima; BARBOSA, Marco Aurélio. Integrando o ensino de astronomia e termodinâmica: explorando a zona habitável no diagrama de fases da água. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 40, e4402 (2018). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/HRxwws99xWkDBCWDQwhWTQH/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

FERREIRA, Marcello; COUTO, Roberto Vinícios Lessa do; FILHO, Olavo Leopoldino da Silva; PAULUCCI, Laura; MONTEIRO, Fábio Ferreira. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 43, e20210157 (2021). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/WnggT4dL8ycknxCZnSBvnDc/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

JUSTINIANO, Artur; BRESSAN, Paulo Alexandre; SILVA, Eliza Maria; MORAES, Leandro Donizete; BOTELHO, Rafael. Astro3D: um simulador do movimento de corpos celestes. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 39, e4505 (2017). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/t98cQc9wkQZKWnX4H3LpmjL/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

LEITE, Ibson José Maciel; SOUZA, Cícero Jailton de Moraes; BARBOZA, Allan Christopher Rodrigues; SILVA, José Wesley Pereira da; MONTEIRO, Mário Anonio Alves. Análise de crateras lunares como ferramenta alternativa para o ensino de física e astronomia. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 42, e20190158 (2020). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/KdwzmrW4PnSnkNbWCCHhfYM/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

LIMA, Nathan Willig; ALVES-BRITO, Alan; NASCIMENTO, Matheus Monteiro. Da Lei de Titius-Bode ao embate entre a Matéria Escura e a Dinâmica de Newton Modificada: uma trajetória epistemológica pela Astronomia. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 44, e20210382 (2022). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/gchRVx5RPcGtxtM6Td9rJYF/>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

MACEDO, Gabriel da Silva; ROBERTO JUNIOR, Artur Justiniano. Aplicação do Problema Restrito de Três Corpos no estudo do movimento de astros do sistema solar. *Rev. Bras. Ens. Fis.* 40, e4311 (2018). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/ngrxHPwZ6bDbbhvPnnLQ8LL/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

NORA, L. Eisner, et al. Planet Hunters TESS IV: A massive, compact hierarchical triple star system TIC 470710327 *MNRAS* 511, 4710 (2022).

NORA, L. Eisner, et al. Planet Hunters TESS III: two transiting planets around the bright G

dwarf HD 152843. MNRAS 505, 1827 (2021).

NORA, L. Eisner, et al. Planet Hunters TESS II: findings from the first two years of TESS. MNRAS 501, 4669 (2021).

NORA, L. Eisner, et al. Planet Hunters TESS I: TOI 813, a subgiant hosting a transiting Saturn-sized planet on an 84-day orbit. MNRAS 494, 750 (2020).

SILVA, Fernando Siqueira da; CATELLI, Francisco; DUTRA, Carlos Maximiliano. Geometria solar na escola: uma prática com cartas solares. Rev. Bras. Ens. Fis. 43, e20200520 (2021). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/vXZRYbGq8kcnz9KbRVNfMkC/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

SILVA, José Carlos; JUNIOR, Artur Justiniano Roberto; ALVES, João Carlos Pereira. Detecção do trânsito planetário de um exoplaneta com um telescópio de pequena abertura. Rev. Bras. Ens. Fis. 42, e20200131 (2020). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/jDJsGbPvg4NbBV6JrC7r9wf/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

SILVA-OLIVEIRA, Walas; SALES, Dinalva A; LAZO, Matheus J. Astronomia como ferramenta lúdica para o ensino de física: teoria cinética dos gases através de aglomerados de estrelas. Rev. Bras. Ens. Fis. 42, e20190054 (2020). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/L4zsqgG9L6fzghkmJqSL5xf/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

SLOVINSCKI, Luciano; ALVES-BRITO, Alan; MASSONI, Neusa Teresinha. A Astronomia em currículos da formação inicial de professores de Física: uma análise diagnóstica. Rev. Bras. Ens. Fis. 43, e20210173 (2021). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZY56FLrLjSwW544RhJd9Mmy/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

SOUZA, Rodrigo de; CYPRIANO, Elysandra Figueredo. Origens da vida no contexto cósmico: o primeiro MOOC em astronomia desenvolvido no Brasil. Rev. Bras. Ens. Fis. 42, e20190268 (2020). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/3ndKRb3S5JPCp5BDxkKgbTK/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.

VECHI, Anderson de; BRITO, Alessandro Ferreira de; VALENTIM, Delma Barboza; GOZZI, Maria Estela; SAMPAIO, Anderson Reginaldo; VISCOVINI, Ronaldo Celso. Modelo dinâmico do Sistema Solar em actionscript com controle de escalas para ensino de astronomia. Rev. Bras. Ens. Fis. 35, 1 - 25 (2013). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/nLZQbjWVtQ6kzcrGyYpr8B/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: 12 de set. 2022.