



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS DE NATAL – CAN
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BRUNA PEREIRA DE SOUSA SILVA

**ESTUDO DOS PERFIS DAS DISTRIBUIÇÕES DA INTENSIDADE DE BRILHO EM
CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS COM PLANETAS**

NATAL/RN

2022

BRUNA PEREIRA DE SOUSA SILVA

**ESTUDO DOS PERFIS DAS DISTRIBUIÇÕES DA INTENSIDADE DE BRILHO EM
CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS COM PLANETAS**

Trabalho apresentado ao Departamento de Ciência e Tecnologia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como quesito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Bráulio Batista Soares

NATAL/RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

S586e Silva, Bruna Pereira de Sousa
Estudo dos Perfis das Distribuições da Intensidade de
Brilho em Curvas de Luz de Estrelas com Planetas. /
Bruna Pereira de Sousa Silva. - Natal/RN, 2022.
46p.

Orientador(a): Prof. Dr. Bráulio Batista Soares.
Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia).
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

1. Curva de luz. 2. Trânsito Planetário. 3. . Exoplaneta.
4. TESS. I. Soares, Bráulio Batista. II. Universidade do
Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

BRUNA PEREIRA DE SOUSA SILVA

**ESTUDO DOS PERFIS DAS DISTRIBUIÇÕES DA INTENSIDADE DE
BRILHO EM CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS COM PLANETAS**

Trabalho apresentado ao Departamento de Ciência e Tecnologia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como quesito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovada em: ___/___/___.

Banca examinadora

Prof. Dr. Bráulio Batista Soares (Orientador)
Universidade do Rio Grande do Norte – UERN

Prof.^a Dr.^a Andréa Jane da Silva
Universidade do Rio Grande do Norte – UERN

Prof. Dr. Leonardo Linhares Oliveira
Universidade do Rio Grande do Norte – UERN

Dedico este trabalho a DEUS e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por ter me concedido mais uma conquista, além e de ter sido minha força em todos os momentos, sem ELE nada conseguiria realizar.

À minha mãe, mulher mais importante da minha vida, por sempre ter me incentivado a seguir a vida acadêmica e por acreditar em mim.

Agradeço ao meu esposo que sabiamente foi compreensivo e conselheiro por toda essa jornada acadêmica.

Também não poderia deixar de agradecer ao professor, Dr. Bráulio Batista Soares, que me acompanhou e orientou e incentivou a buscar cada vez mais conhecimento, além de agregar em minha experiência como estudante.

Ao meu amigo, doutorando do Observatório Nacional – RJ e pesquisador da temática sobre Astrofísica estelar e planetária, Danilo Ferreira da Rocha, o qual desde o início deste trabalho disponibilizou seu tempo para me instruir com seu vasto conhecimento.

Aos meus colegas de turma que agregaram em minha jornada na UERN e aos professores que compartilharam seu conhecimento comigo.

A todos aqueles que contribuíram para o meu crescimento e desenvolvimento nessa Universidade.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

RESUMO

O estudo das curvas de luz tem o objetivo de detectar planetas que estão fora do sistema solar, uma vez que a análise dos gráficos, formados pelos dados captados através dos telescópios espaciais, confirma as características pertencentes aos exoplanetas. Nesta pesquisa o telescópio escolhido para que seus dados sejam estudados foi o Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), este instrumento tem como principal função realizar capturas de diversos fenômenos, pois sua leitura cobre quase todo o céu. No presente trabalho, a fim de analisar os perfis de distribuição das curvas de luz de estrelas com planeta em sua órbita e compará-las com os gráficos de estrelas sem evidência de exoplaneta, foram realizadas buscas, na literatura, no site da NASA e no portal MAST, dos dados de fotometria do telescópio espacial das estrelas alvo. A identificação dos astros escolhidos foi inserida no software em linguagem python, onde foram apresentados os gráficos de curvas de luz, histograma e Distribuição Empírica Cumulativa para serem analisados. O Método utilizado foi o Trânsito Planetário, que consiste em uma redução do brilho da estrela enquanto um planeta passa entre o telescópio e a hospedeira. Esta pesquisa permitiu compreender a diferença dos gráficos das estrelas quando não há objeto em sua proximidade e quando há a presença de planeta em sua órbita. Se o exoplaneta estiver perto da estrela, a luminosidade sofre alterações que estão fora do seu padrão do brilho normal. Todavia, faz-se necessário realizar novas simulações com o intuito de analisar o comportamento dos dados captados de diferentes missões ao longo dos anos.

Palavras-chave: Curva de luz. Trânsito Planetário. Exoplaneta. TESS.

ABSTRACT

The study of light curves has the objective of detecting planets that are outside the solar system, since the analysis of the graphs, formed by data captured by space telescopes, confirms the characteristics that belong to the exoplanets. In this research, the telescope chosen for its data being studied was the Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). The main function of this instrument is to capture various phenomena because its reading covers almost the entire sky. In the present work, to analyze the distribution profiles of the light curves of stars with a planet in its orbit and compare them with the graphs of stars with no evidence of stars without evidence of an exoplanet, searches were conducted in the literature, on the portals NASA and MAST, of the space telescope photometry data of the target stars. The names of the chosen stars were inserted into software developed with python language, where the graphs of light curves, histogram and Empirical Cumulative Distribution were presented and Empirical Cumulative Distribution being analyzed. The method used was the Planetary Transit, consists of a reduction in the brightness of the star as a planet passes planet passes between the telescope and the host. This research allowed us to understand the difference in the stars graphics when there is no object in its vicinity and when there is the presence of a planet in its orbit. If the exoplanet is close to the star, the luminosity changes, which is outside it is normal brightness pattern normal. However, it is necessary to perform new simulations to analyze the behavior of the data captured from different missions over the years.

Keywords: Light curve. Planetary Transit. exoplanet. TESS.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO EM CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS	14
2.1	BREVE CONTEXTO HISTÓRICO DOS EXOPLANETAS	14
2.2	MÉTODOS DE DETECÇÃO	15
2.2.1	Velocidade radial	16
2.2.2	Microlentes Gravitacionais	17
2.2.3	Imagem	18
2.2.4	Trânsito Planetário	18
2.3	CURVA DE LUZ	19
2.4	TELESCÓPIOS ESPACIAIS	20
2.4.1	Missão TESS	21
2.5	ALGORÍTMO EM LINGUAGEM PYTHON	23
2.5.1	Lightkurve	24
3	METODOLOGIA DO ESTUDO DOS PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO EM CURVAS DE LUZ ESTRELAR	25
3.1	CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS COM EXOPLANETAS	25
3.1.1	Exoplaneta HD 152843c	27
3.1.2	HD 202772 A b	32
3.2	CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS SEM EXOPLANETAS	36
3.2.1	Tic 405220605	37
3.2.2	Tic 3548647	40
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos perfis de distribuição em curvas de luz tem como principal objetivo analisar como se comporta a intensidade do brilho de uma estrela hospedeira quando o astro ou algum objeto passa em sua frente. É importante entender que o estudo dessa temática tem a finalidade de investigar as características das candidatas a possuírem ou não a presença de planeta extra solar.

Nesse contexto, a busca por planetas extra-solares tem como principal objetivo a detecção da presença de vida fora da Terra (BERNARDES, 2013). É necessário trazer o entendimento de que o interesse pelo cosmo já era intenso desde os povos antigos e por volta de 1609 um instrumento criado na Holanda para fins bélicos, o qual possibilitava observar os inimigos a longas distâncias, chegou ao conhecimento de um físico chamado Galileu Galilei. Esse estudioso, e também astrônomo, realizou adaptações e aprimorou o designer daquele equipamento, permitindo, portanto, contemplar o firmamento celeste com precisão. (DINIZ, 2013)

No decorrer do tempo, o telescópio foi sendo lapidado nas dimensões e nos materiais empregados em sua constituição. O desenvolvimento desse instrumento propiciou a revolução da incorporação da Astrofísica na Astronomia. A astrofísica é a área correspondente ao discernimento das leis físicas e químicas que regem o universo, ramo o qual permitiu os avanços astronômicos de forma satisfatória e, desde então, possibilitou resultados, cada vez mais, corroborados de informações a respeito do assunto (LAS CASAS, 2020).

Após o progresso da tecnologia e o anseio pelas explorações do sistema solar e extra solar, foi descoberto, em 1995, o primeiro exoplaneta, os autores dessa conquista foram os suíços Michel Mayor e Didier Queloz, professores da universidade de Genebra – o planeta recebeu o título de 51 Pegasi. Conseqüentemente, deu-se origem a alguns métodos de detecção de planetas extra-solar. Dentre os principais, podem ser citados: velocidade radial, microlentes gravitacionais, imagem direta e o método de Trânsito Planetário, o qual é o utilizado na presente pesquisa (MAYOR et al., 1995).

A problemática a ser estudada nesta pesquisa é a explicação do que são exoplanetas e a relevância do tema no que diz respeito às conclusões de outros

planetas habitáveis fora do sistema solar assim como suas características. Isto posto, o principal objetivo deste trabalho consiste em desempenhar tanto a análise estatística quanto a leitura dos perfis de distribuições em curvas de luz de estrelas que possuem planeta em sua órbita e comparar com as informações apresentadas nos gráficos de estrelas que não foram detectados exoplanetas. Logo, para alcançar resultados satisfatórios, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Buscas, na literatura, por estrelas que possuem exoplaneta, assim como coleta de dados de estrelas que não há registro de planeta;
- Apurar dados de fotometria do telescópio espacial das estrelas alvo;
- Estudar a curva de luz, o histograma e a Distribuição empírica dessas estrelas através do programa em linguagem Python;
- Analisar a origem das variações presentes nos gráficos de cada objeto alvo.

Além disso, na presente pesquisa, optou-se pelo método do Trânsito Planetário, o qual consiste em detectar e diferenciar os padrões presentes na variação da curva de luz de um astro, tais dados possibilitam as investigações de inúmeros fenômenos. O telescópio espacial escolhido para apuração foi o TESS, uma vez que esse satélite é reconhecido por ser especialista em buscas por meio do Trânsito (SANTOS AMORIM, 2017).

Para melhor êxito possível, foi feita uma busca das estrelas com exoplaneta confirmado no catálogo fornecido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e coletamos os dados das estrelas sem evidência de planetas pelo site MAST. Desse modo, a identificação desses objetos foi introduzida no software codificado em linguagem Python a fim de obter os gráficos pertinentes.

Em posse das informações, utilizou-se do algoritmo com auxílio do ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code. A rotina empregada, a qual pertence ao pacote Lightkurve, possui bibliotecas específicas que viabilizam a construção dos gráficos de curvas de luz associadas aos dados de cada estrela. O pacote permite a organização, de maneira eficiente, dos dados das estrelas estudadas.

Portanto, o presente trabalho está dividido em quatro partes: a primeira é a introdução, esta é constituída pela justificativa, problemática, objetivo (geral e

específicos) e a metodologia sobre o estudo dos exoplanetas; a segunda compõe o referencial teórico, onde são apresentados os conceitos necessários para fundamentar o objeto de estudo; a terceira foi dedicada às análises dos resultados obtidos através dos dados por meio do programa computacional em linguagem python; por último, na quarta parte, são expostas as considerações finais e perspectivas de trabalhos futuros.

2 PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO EM CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS

Neste capítulo serão apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Dessa forma, atingiremos a compreensão do que são exoplanetas e a respeito de alguns dos principais métodos de detecção desses astros. Também abordaremos o que são curvas de luz, a explicação tanto do software quanto do código utilizado para expor os gráficos, e a importância dos Telescópios Espaciais na detecção dos planetas extra solares.

2.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO DOS EXOPLANETAS

Desde os primórdios, o homem manifestava curiosidade pelos céus e a respeito da existência de outros astros além do planeta em que habitavam. Entre outras civilizações, a antiga sociedade babilônica fez constatações relevantes a respeito da astronomia, um exemplo importante foi a percepção da passagem do cometa Halley por volta de 239 a.C (CIÊNCIA et al., 2006).

Na antiguidade, os povos foram descobrindo fenômenos dos céus por curiosidade e necessidade de sobrevivência. Eles abriram o entendimento para a compreensão de que, de acordo com a passagem dos dias, a estrela mais brilhante (o sol) ia se inclinando no céu, e assim os tempos mudavam; conseqüentemente, quando aquele astro retornava à sua posição inicial, era resultado de que um ano se passou (HORVATH, 2008).

As civilizações também passaram a determinar eclipses com uma precisão enorme, assim como os egípcios e babilônios. Mais adiante, os gregos também deram continuidade às especulações dos antepassados e, assim, desenvolveram uma espécie de enciclopédia da astronomia com, aproximadamente, 850 astros celestes. Essa relação foi criada pelo matemático, geógrafo da Grécia Antiga, Hiparco, formado na escola de Alexandria. O catálogo foi alargado pelo cientista grego Ptolomeu para mais 172 estrelas (CARVALHO; MOTA).

No decorrer dos avanços e descobertas, os cientistas também desenvolveram um instrumento óptico, o qual, por volta de 1608, um fabricante de lentes holandês, Hans Lippershey, pediu a patente e a luneta passou a ser manuseada para fins bélicos

- a ferramenta permitia mirar os inimigos em longas distancias. O físico, matemático e astrônomo e filósofo, Galileu Galilei, aproveitou o modelo holandês, aperfeiçoou e desenvolveu o primeiro dispositivo utilizado para observar os céus com maior riqueza de detalhes, o telescópio.

Assim Galileu percebeu a existência do planeta Júpiter e 4 de seus 63 satélites ou luas. Ele percebeu, também, a existência de manchas solares e que as imperfeições da lua eram relevos ou crateras (DINIZ, 2013). Cerca de 60 anos após, o físico inglês, Isaac Newton, aprimorou o telescópio e os astros passaram a serem observados com qualidade elevada.

A tecnologia avançou e em meados de 1980 o astrofísico, natural dos Estados Unidos, Edwin Powell Hubble, modernizou ao conceber o primeiro telescópio espacial, o qual recebeu o título de Hubble (STEFFANI; MARTINAZZI, 2005). Todavia, as descobertas de exoplanetas hoje não seria eficaz se não fosse a concepção do astrônomo John Draper, por volta de 1840 - ele teve a ideia de acoplar uma câmera fotográfica ao telescópio espacial e, passou-se a registrar as informações (ZABOT, 2018).

A definição de exoplaneta consiste em qualquer planeta que orbita outra estrela que não o sol (CARVALHO; MOTA). O primeiro planeta extra solar foi captado em 1995 pelos astrônomos suíços, Michel Mayor e Didier Queloz – esse planeta estava orbitando uma estrela do tipo solar, 51 Peg b e a sua descoberta sucedeu através do método de variação da velocidade radial (LENCHUK et al., 2021).

O estudo dos exoplanetas não pararam e até o presente momento, no ano de 2022, segundo a NASA, a maior parte dos planetas que estão fora do sistema solar foram identificados em uma pequena área da Via Láctea e através de métodos indiretos. Esses planetas também compartilham das mesmas propriedades presentes nos planetas do sistema solar.

2.2 MÉTODOS DE DETECÇÃO

Para detecção de exoplanetas foram desenvolvidos, ao longo dos anos, métodos variados, onde o principal objetivos é examinar o brilho das estrelas por um determinado tempo para efeito de análise de dados. É importante entender que

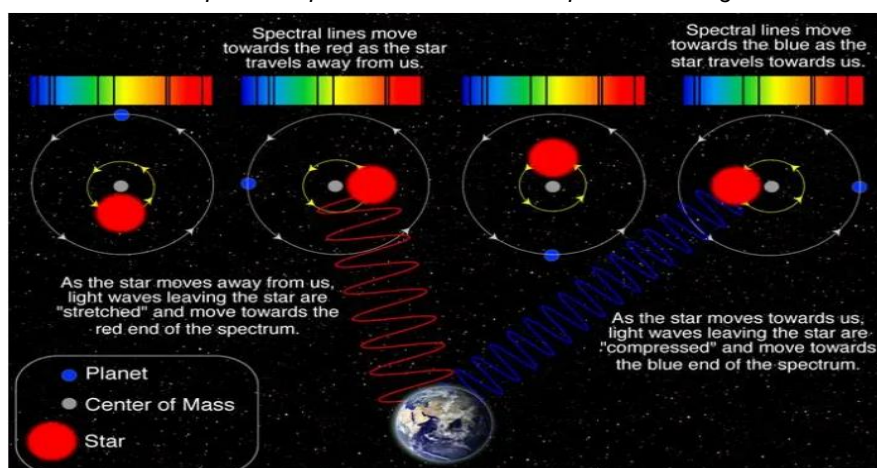
identificar um planeta fora do sistema solar pode ocorrer de forma direta, focando concretamente no corpo, ou de forma indireta, através do brilho da estrela que esse astro orbita (ALMEIDA, 2017).

Atualmente existem diversas formas de detectar planetas extra solares, os mais utilizados são: variação da velocidade radial, microlentes gravitacionais, imagem e o trânsito planetário, o qual foi o utilizado neste trabalho. De acordo com a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), neste ano de 2022 existem aproximadamente 3.816 exoplanetas descobertos, onde 18% foi através da velocidade radial, 2,4% por microlentes gravitacionais, 1,1% por imagem e 77, 4% pelo trânsito.

2.2.1 Velocidade radial

O método da velocidade radial foi responsável pela identificação do primeiro planeta extra solar, o 51 Pegasi b. Essa técnica permite identificar exoplanetas captando dados das ondas eletromagnéticas quando a estrela se afasta ou se aproxima do planeta. Nessa técnica, o ponto de observação é a terra e quando existe um ou mais corpos nas proximidades da estrela, o movimento dela é alterado, fazendo com que o comprimento das ondas do brilho sofra um alongamento ou uma compressão, como exposto na imagem ilustrativa da Figura 1.

Figura 1: o percurso da estrela observada através do Método da velocidade radial, onde se identifica que o comprimento de onda é comprimido e alongado.



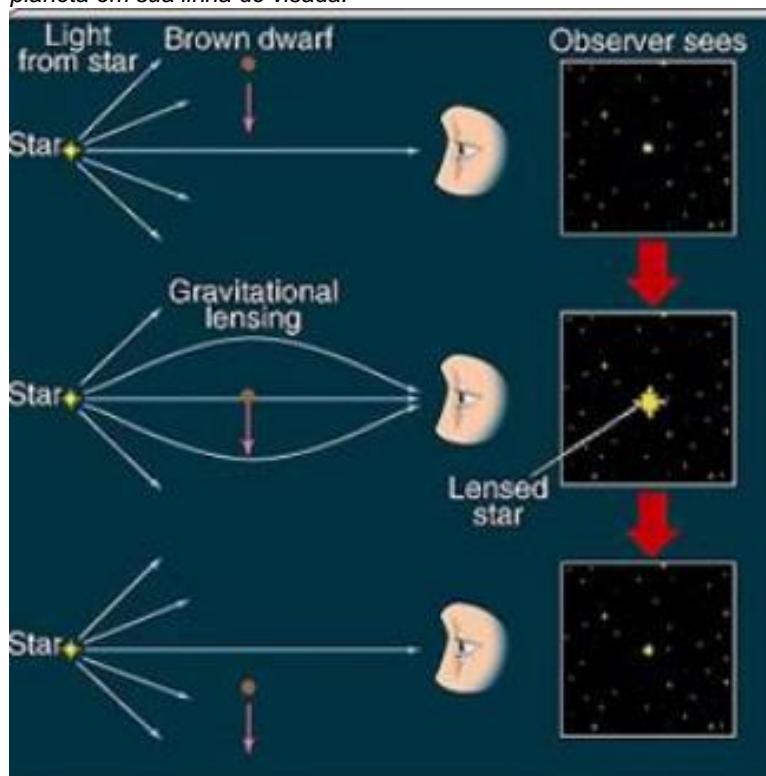
Fonte: Portal astropt.org (2016)

2.2.2 Microlentes Gravitacionais

O método da microlente gravitacional é uma forma de identificar exoplaneta através de outro astro. Ou seja, quando o observador está focando em uma estrela e existe um planeta passando entre a estrela e o observador, ocorre um efeito como de uma lente e faz como que o brilho da estrela aumente consideravelmente.

A imagem ilustrativa da Figura 2 apresenta o planeta em cima da linha de visada do observador, onde não acontece nenhum aumento da luminosidade estelar; também mostra o exoplaneta entre o espectador e a estrela, assim é possível enxergar o efeito de microlente ocorrendo; já na última imagem exibe o exoplaneta abaixo da linha de visão do observador, causando nenhum efeito.

Figura 2: imagem ilustrativa de como ocorre o efeito de Microlentes quando ocorre a visualização da estrela através do exoplaneta e sem o planeta em sua linha de visada.



Fonte: MEDEIROS et al., 2019

2.2.3 Imagem

Esta técnica de detecção é, de acordo com a NASA, promissora uma vez que capta fotos diretamente do exoplaneta. Porém o brilho das estrelas hospedeiras ofuscam a luz do planeta por serem pouco luminosos, por essa razão os astrônomos usam bloqueadores de luz para inibir o brilho das estrelas e, assim, os exoplanetas ficam com uma melhor visibilidade. Esse método não é responsável por grandes quantidades de descobertas devido depender da distância da estrela até o astro observado.

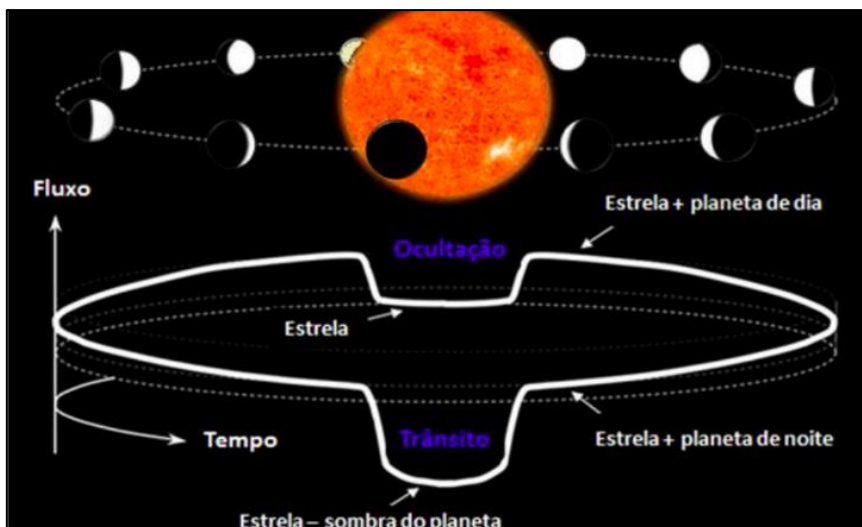
2.2.4 Trânsito Planetário

O Trânsito planetário, escolhido para análise desta pesquisa, é responsável pela maior porcentagem de descobertas de exoplanetas atualmente, além de ser um dos principais métodos de detecção de planetas fora do sistema solar, pois ele consiste em uma observação indireta. Esse tipo de visualização analisa a diminuição do brilho estelar quando algum astro passa em frente, pode levar minutos ou horas, é visto com clareza na curva de luz, a qual será detalhada no tópico 2.3.

Tal técnica exige uma configuração específica relacionada ao alinhamento entre a estrela, o exoplaneta e o observador. Isso é necessário pois o que detectamos é, na verdade, a sombra do exoplaneta passando na frente da estrela. Esse fenômeno pode ser comparado a um eclipse e apresenta maior facilidade quando se trata de detectar planetas maiores e mais próximos às suas hospedeiras.

Na Figura ilustrativa 3 é possível ver como ocorre o trânsito, uma vez que enquanto o planeta orbita entre o telescópio espacial e a estrela, de cor laranja, o brilho estelar é inibido pelo exoplaneta e ocorre o trânsito. Esse fato permite com que o instrumento observador capte dados fotométricos que serão transformados em gráficos.

Figura 3: Método do Trânsito planetário



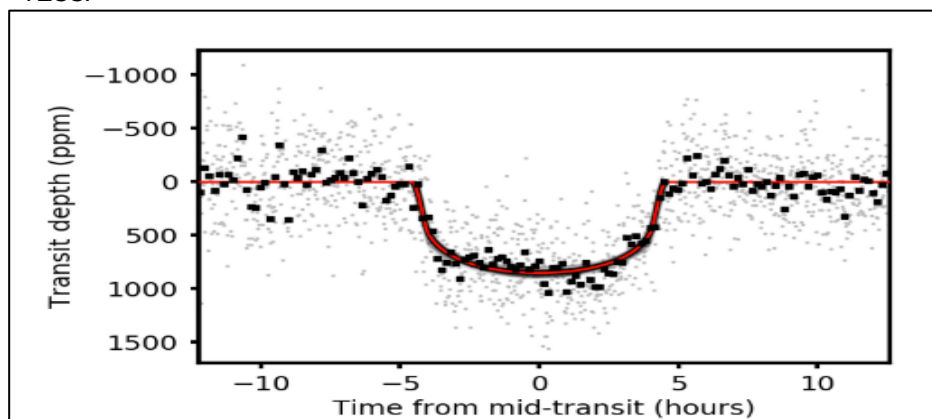
Fonte: Winn (2008)

2.3 CURVA DE LUZ

Curva de luz é a representação do gráfico do brilho em relação ao tempo. A intensidade luminosa das estrelas tem como principal objetivo trazer ao conhecimento as particularidades existentes em torno desse astro, como a presença ou não de planetas em sua órbita (CASTRILLÓN, 2010). Assim, quando um astro ou intempéries passa entre o telescópio e uma estrela observada, ocorre um decaimento do brilho visível.

O gráfico da Figura 19 mostra a representação de um gráfico da curva de luz de uma estrela quando ocorre o trânsito planetário. O eixo X representa o tempo e o eixo Y é o fluxo do brilho, o qual perde a intensidade quando o exoplaneta passa em frente à sua estrela hospedeira. É possível visualizar que a estrela diminui sua luminosidade em um determinado tempo, entre o -5 e o 5 no eixo X, e após isso segue com seu brilho normal.

Figura 4: TOI-19 - período orbital de 14,3 dias. Curva de luz obtida pelo Telescópio TESS.



Fonte: Portal Astropontos.org

Pra nível de maior compreensão, quando os dados do brilho das estrelas alvo são captados pelos telescópios, no caso desta pesquisa o TESS, essas informações são inseridas em softwares que transformam em diagramas. No presente trabalho o método utilizado é o do Trânsito, nessa técnica a curva de luz se comporta como um gráfico do fluxo de luminosidade em relação ao tempo, onde quando há presença de algum exoplaneta na órbita estelar, ocorre uma queda significativa por determinado tempo no eixo que representa sua luminosidade.

2.4 TELESCÓPIOS ESPACIAIS

Por volta de 1608 cientistas desenvolveram instrumentos ópticos, o qual um fabricante de lentes holandês, Hans Lippershey, pediu a patente e a luneta passou a ser manuseada para fins bélicos, essa ferramenta permitia mirar os inimigos em longas distancias. No decorrer dos estudos e descobertas o matemático, físico, astrônomo e filósofo Galileu Galilei, como um dos maiores cientistas da época, aproveitou o modelo holandês, aperfeiçoou e desenvolveu o primeiro dispositivo utilizado para observar o céu com maior riqueza de detalhes (DINIZ, 2013).

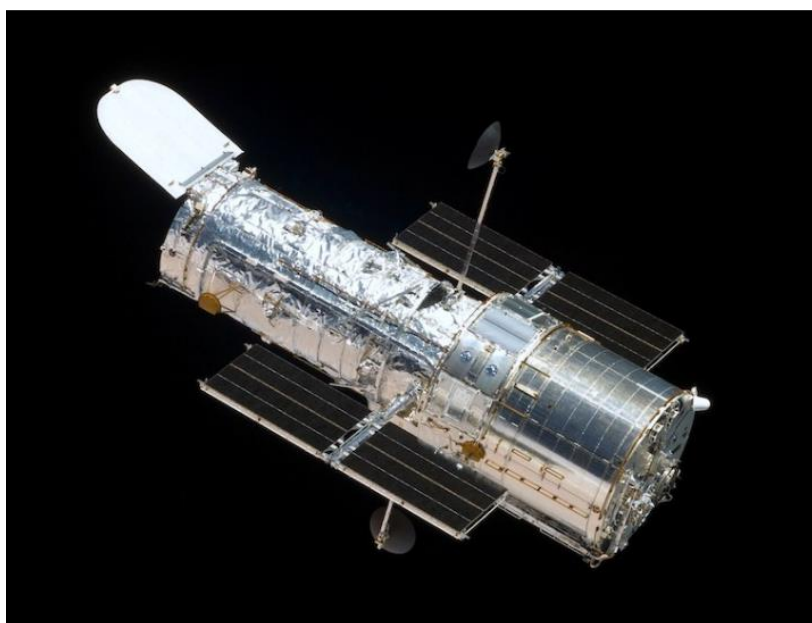
Nesse contexto, foi com essa luneta que Galileu Galilei começou a observar o céu de tal maneira que constatou a existência o planeta Júpiter assim como 4 de seus 63 satélites ou luas. Ele percebeu, também, que o planeta Vênus tem fases iguais as da lua e que o planeta Saturno tinha anéis, anotado por ele como orelhas, pois não

entendia o que era. E, por fim, identificou a existência de manchas solares e que as da lua eram causadas por relevos ou crateras (DINIZ, 2013).

Cerca de 60 anos após essas descobertas, um físico inglês chamado Isaac Newton aprimorou a luneta elaborada por Galileu e permitiu contemplar objetos com qualidade elevada no céu. A tecnologia avançou e em meados de 1980 o astrofísico, natural dos Estados Unidos, Edwin Powell Hubble, modernizou a astronomia e idealizou o primeiro telescópio espacial, o qual recebeu o título de Hubble em sua homenagem (STEFFANI; MATINAZZI, 2005).

A Figura 5 apresenta o Telescópio Espacial Hubble, essa missão foi lançada ao espaço pela NASA em 24 de abril de 1990 e já realizou mais de 1,3 milhões de observações. Além disso, o objetivo inicial era para que o Hubble permanecesse sondando o cosmos por 15 anos, porém permaneceu por 30 anos e seus dados foram utilizados para mais de 19000 estudos científicos e publicações.

Figura 5: Telescópio espacial Hubble em órbita (2009)



Fonte: NASA (2022)

2.4.1 Missão TESS

Nos últimos anos, os principais aliados dos astrônomos na detecção de exoplanetas, são os telescópios espaciais. Tais ferramentas possuem algumas vantagens em relação aos telescópios terrestres, entre elas está o fato de que podem

observar regiões do espaço durante 24h ininterruptas, além de não ser afetado pelos efeitos da atmosfera terrestre (KENIGER,2019).

O telescópio espacial utilizado para esta pesquisa foi o Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), missão da NASA liderada pelo Centro para Astrofísica de Harvard e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), com o objetivo de passar dois anos detectando exoplanetas em trânsito e fazer o levantamento de todo o céu.

O TESS foi desenvolvido para substituir o Kepler - Telescópio projetado em 2009 e efetuou apurações por quase dez anos (KENIGER,2019). Como é possível ver na Figura 5, essa missão acompanha as informações transmitidas por estrelas que se encontram mais próximas ao sol e que, por meio do método do trânsito, o fluxo do seu brilho permite saber a massa do planeta que está em sua órbita assim como dados pertinentes às características desse corpo celeste.

Figura 6: Imagem ilustrativa do TESS.



Fonte: Melo, 2021

É importante entender, também, que esse telescópio tem uma maior afinidade em detectar ondas eletromagnéticas que tendem ao vermelho, uma vez que sua área de observação está mais próxima do sol. Além disso, de acordo com a NASA, o Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) é especialista na busca por planetas utilizando o Trânsito Planetário e foi construído para visualizar por volta de 85% do céu em busca de exoplanetas.

2.5 ALGORÍTMO EM LINGUAGEM PYTHON

Visto que os dados de fotometria a serem utilizados neste trabalho já foram obtidos pelo TESS e estão disponíveis na literatura, é necessária uma maneira de coletar tais informações. Entre as opções, temos o portal MAST (Mikulski Archive for Space Telescopes) que coleta diversos tipos de informações sobre todos os objetos conhecidos na literatura em um único ambiente - imagens, espectros, catálogos, séries temporais, registros de publicações e entre outros; além do portal da NASA que fornece um catálogo de estrelas com confirmação de exoplanetas em sua órbita.

Para que fossemos capazes de tratar os dados coletados (normalizar, gerar gráficos), foi fornecido um código em python, que atendesse completamente aos nossos objetivos. Diante disso, utilizou-se do Lightkurve - pacote computacional gratuito e desenvolvido em linguagem Python para apoiar a análise de séries temporais em planetas, estrelas e galáxias, obtidos por telescópios que captam imagens em luz visível ou infravermelha (por exemplo, o Kepler e o TESS), ou de telescópios mais simples.

A versão atual do Lightkurve faz com que as curvas de luz possam ser apresentadas em tabelas genéricas de tempo, fluxo e erro do fluxo. Desse modo, facilita a utilização de tais resultados, seja através das ferramentas presentes dentro do próprio pacote, ou inserindo outras extensões, como a biblioteca Matplotlib que permite a construção de gráficos com os resultados obtidos.

Com o Lightkurve somos capazes de selecionar os pixels do alvo e do background (contribuição do fluxo vindo da região), afim de obter apenas a contribuição do fluxo do alvo. Além disso, normalizamos o fluxo com as próprias ferramentas do pacote para, assim, analisar suas características e comparar com as curvas de luz de outros objetos. Os créditos da construção desse algoritmo são do pesquisador, doutorando na área de Astrofísica Estelar e Planetária do Observatório Nacional - RJ, Danilo Ferreira Rocha.

2.5.1 Lightkurve

Visto que os dados utilizados neste trabalho já são existentes na literatura, foi necessária uma maneira de coletar as informações. Entre as opções, recorreu-se ao portal MAST (Mikulski Archive for Space Telescopes) o qual se trata de um banco de dados com a possibilidade de apurar várias coleções de conjuntos de elementos astronômicos de um único ambiente - imagens, espectros, catálogos, séries temporais, registros de publicações e entre outros.

Além disso, para que ocorresse o tratamento dos pontos coletados, foi utilizado um pacote computacional simples, que atendesse completamente aos nossos objetivos. O Lightkurve é um código computacional gratuito, desenvolvido em linguagem Python, que visa apoiar a análise de dados de séries temporais em planetas, estrelas e galáxias, obtidos por telescópios que coletam imagens em luz visível ou infravermelha (como, por exemplo, o Kepler e o TESS), ou de dados obtidos com telescópios mais simples.

A versão atual do Lightkurve faz com que as curvas de luz possam ser apresentadas em tabelas genéricas de tempo, fluxo e erro do fluxo (apresentados como tempo, fluxo e erro_fluxo). Desse modo, facilita a utilização de tais resultados, seja através das ferramentas presentes dentro do pacote, inserindo o código no python ou em outros pacotes e ferramentas, assim como a biblioteca Matplotlib a qual constrói gráficos com os resultados obtidos.

3 METODOLOGIA DO ESTUDO DOS PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO EM CURVAS DE LUZ ESTRELAR

Como foi compreendido no capítulo anterior, existem algumas maneiras de analisar os dados emitidos por uma estrela e, assim, chegar às conclusões a respeito das suas características. Neste capítulo serão apresentados os passos que esta pesquisa seguiu para que pudesse apurar as análises finais.

Após buscas pelas estrelas em catálogos, sites e na literatura, foi possível dar início à elaboração dos estudos de cada curva de luz. Nesse entendimento, foi avaliada quantidade de estrelas que seriam analisadas e se definiu uma quantidade de quatro desses astros, onde duas já foram confirmados exoplanetas em sua órbita e duas não se detectou a presença de planeta.

3.1 CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS COM EXOPLANETAS

Antes de iniciar as análises necessárias, foi preciso apurar na literatura estudos que remetem às estrelas com exoplaneta em suas órbitas; após isso, verificamos o site onde a NASA fornece para o público um catálogo de exoplanetas já descobertos, nele podemos filtrar em qual sistema planetário, tipo de planeta, método de descoberta e as missões.

O catálogo apresenta as informações do exoplaneta, como, por exemplo, o raio orbital, a massa, o raio do próprio planeta, data da descoberta, entre outros. Assim, selecionamos três dos astros dessa lista e em seguida, com os objetos selecionados, realizamos buscas das informações de cada objeto.

A Figura 7 mostra a área dos exoplanetas onde é possível escolher por nome ou inserindo um filtro de acordo com o interesse. É possível ver, na imagem abaixo, uma amostra do portal de descobertas da NASA em que há diversos candidatos a exoplanetas, descobertas confirmadas e sistemas planetários listados e atualizados diariamente.

Figura 7: página da NASA onde é possível escolher as estrelas com exoplanetas

NOME ↑	ANOS-LUZ DA TERRA	MASSA DO PLANETA	MAGNITUDE ESTELAR	DATA DA DESCOBERTA
AU Microscopia b	32	20.12 Terras	8,81	2020
AU Microscopia c	32	9.6 Terras	8,81	2021
DS Tucanae A b	144	1.3 Júpiteres	8.17	2019
GJ 1252b	66	2.09 Terras	12,68	2020
GJ 143b	53	22,7 Terras	8.08	2019
GJ 3473b	89	1,86 Terras	13,74	2020
GJ 357b	31	1,84 Terras	10,91	2019
GJ 367b	31	0,546 Terras	10.153	2021
GJ 3929b	52	1,75 Terras	12.675	2022
HD 108236b	211	3.24 Terras	9,25	2020
HD 108236c	211	4,94 Terras	9,25	2020
HD 108236d	211	6,98 Terras	9,25	2020
HD 108236 e	211	9,71 Terras	9,25	2020
HD 110082b	343	10.3 Terras	9.23	2021
HD 110113b	347	4,55 Terras	10.09	2021
HD 1397b	260	0,415 Júpiter	7,79	2018
HD 152843b	352	11,56 Terras	8.855	2021
HD 152843c	352	27,5 Terras	8.855	2021
HD 15337b	146	7,51 Terras	9.1	2019
HD 15337c	146	8.11 Terras	9.1	2019
HD 183579b	187	19,7 Terras	8,67	2021
HD 191939b	175	10.4 Terras	8,97	2020

Filtros

Sistema Planetário

Mostre tudo

Planetas descobertos por Kepler

Planetas com estrelas hospedeiras visíveis a olho nu

Planetas dentro de vários sistemas planetários

Tipo de planeta

Mostre tudo

Gigante de Gás (1526)

semelhante a Netuno (1775)

Super Terra (1577)

Terrestre (188)

Desconhecido (5)

Método de descoberta

Mostre tudo

Astrometria (1)

Cinemática do Disco (1)

Variações de Tempo do Eclipse (18)

Imagem (61)

Microlente (133)

Modulação de Brilho Orbital (9)

Tempo de Pulsar (7)

Variações de Tempo de Pulsação (2)

Velocidade Radial (936)

Trânsito (3880)

Variações de tempo de trânsito (23)

[- less](#)

Missões

Mostre tudo

Kepler/K2 (3248)

Fonte: Portal da NASA

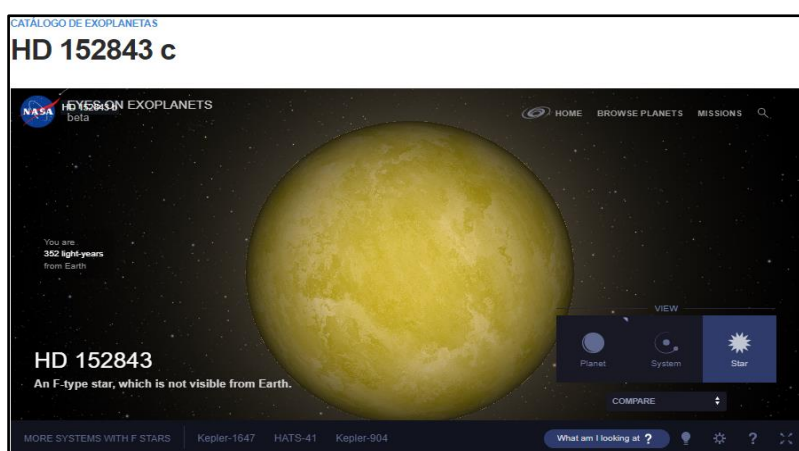
Essa etapa de investigação foi muito importante e possibilitou entender como os pesquisadores chegaram à conclusão de que os dados, aferidos pelo TESS através do método de Trânsito, das estrelas HD 152843c e HD 202772Ab formam gráficos de curvas de luz de estrelas com planetas.

Em continuidade à pesquisa, foi necessário entender a respeito de cada estrela e exoplaneta que a tem como hospedeira. Será explicado a respeito de cada estrela separadamente em seus respectivos subtópicos, onde foi possível contextualizar e explicar a informações desses astros.

3.1.1 Exoplaneta HD 152843c

Na imagem ilustrativa da Figura 8 apresenta a estrela HD 152843, esta é uma estrela tipo F e através da observação dela possibilitou a descoberta do exoplaneta HD 152843c em sua órbita. Este planeta extra solar teve seus dados analisados por 15 cientistas e foram confirmados mais trânsitos ocorrendo, assim como a presença de outros dois exoplanetas.

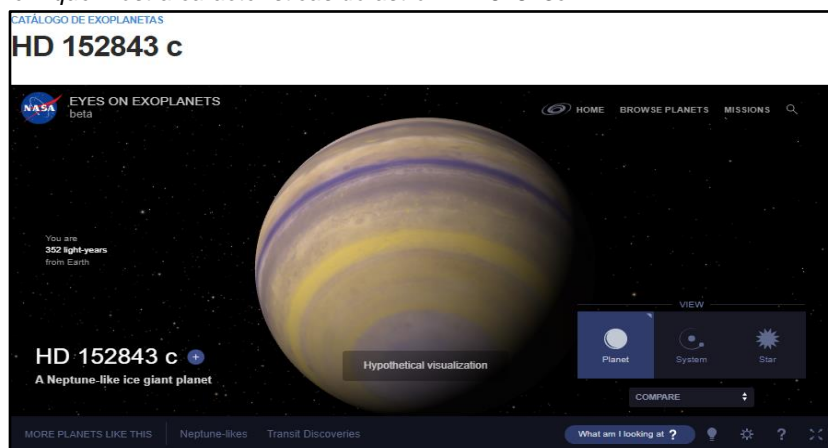
Figura 8: imagem ilustrativa fornecida pelo catálogo da NASA, onde mostra as características da estrela hospedeira do astro HD 152843c



Fonte: Catálogo da NASA

Na Figura 9 mostra a imagem ilustrativa do exoplaneta HD 152843c, descoberto em 2021 pelo método de trânsito, ele leva 24,4 dias para completar sua órbita, além disso, tem o raio de 0,52 em relação ao raio de Júpiter.

Figura 9: imagem ilustrativa do exoplaneta fornecida pelo catálogo da NASA em que mostra características do astro HD 152843c.



Fonte: Catálogo da NASA

Para que fosse possível a análise dos dados do exoplaneta HD 152843c, inserimos o nome deste objeto no programa codificado em linguagem Python e o software apresentou os gráficos pertinentes. Em continuidade, o programa mostrou os setores capturados pelo TESS, os quais foram o 25 e o 52; porém, segundo a literatura, só foi analisado e confirmada presença de planeta em 2020 por meio das informações do setor 25.

Percebe-se que na tabela exibida na Figura 10 o telescópio foi deixado mais tempo aferindo dados do setor 25, onde permaneceu por 1426 segundos; enquanto no setor 52 foi por uma menor duração, 475 segundos. Esse fato pode ter sido relevante para a detecção do trânsito, pois quanto mais tempo o telescópio passa captando as emissões fotométricas, melhor para reter a maior quantidade de informações do astro.

Figura 10: imagem de como o programa em linguagem python apresenta os dados dos setores capturados pelo TESS.

```
SearchResult containing 2 data products.
```

#	mission	year	author	exptime	target_name	distance
				s		arcsec
0	TESS Sector 25	2020	TESScut	1426	HD 152843	0.0
1	TESS Sector 52	2022	TESScut	475	HD 152843	0.0

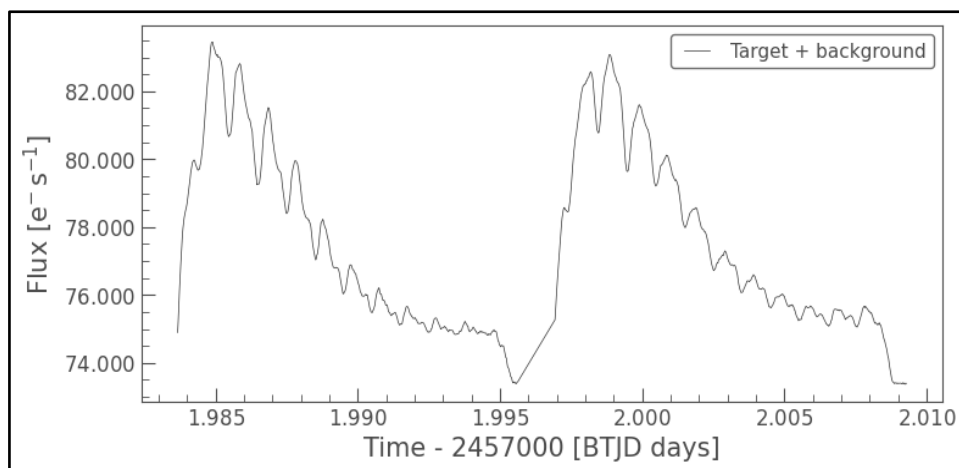
Fonte: Autora (2022)

Apesar da descoberta ter sido confirmada pelos pesquisadores somente em 2021, os dados da estrela HD 152843c começou a ser captado desde 2020, uma vez que precisou passar por testes e análises. É possível ver que o TESS foi deixado pela segunda vez captando informações em 2022, porém ainda não há estudos que remetem ao setor 52. Deste modo, a curva de luz foi construída e analisada utilizando somente o setor 25.

O gráfico da curva de luz apresentada na Figura 11 foi reconstituído utilizando software em linguagem Python, em foi inserido a identificação do exoplaneta HD 152843c e o programa apresentou as informações que o telescópio TESS detectou. Após inserir o nome deste objeto, também foi necessário estabelecer que o aplicativo deveria expor os gráficos do setor 25.

A curva de luz do setor 25 apresenta o Fluxo no eixo Y e o Tempo no eixo X. Porém esses dados ainda não estão normalizados, ou seja, não passaram por uma limpeza para obtenção de uma maior precisão nos resultados.

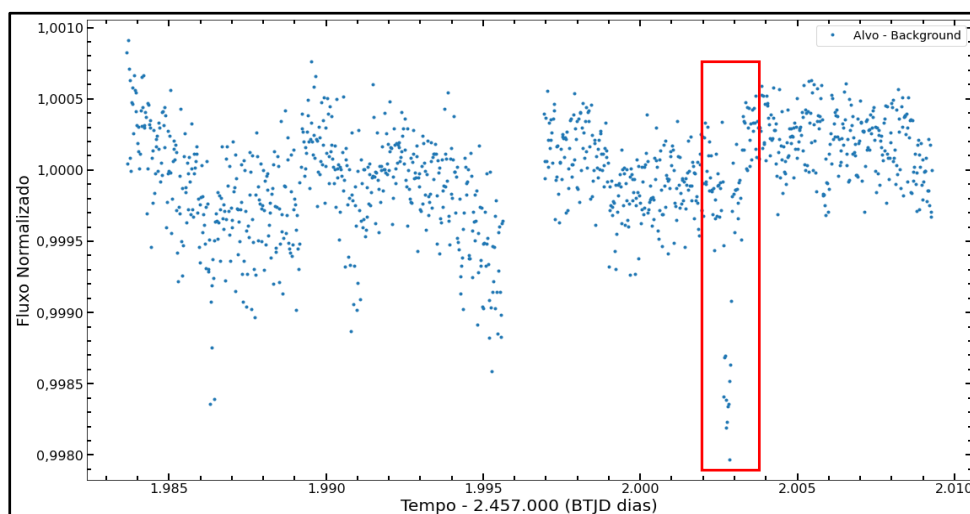
Figura 11: Curva de luz do exoplaneta HD 152843



Fonte: Autora (2022)

Após os ajustes na forma de apresentação do gráfico, da limpeza dos possíveis erros trazidos pelos dados, o editor de código, Visual Studio Code, em linguagem python, exibe a curva de luz normalizada, do Fluxo em relação ao tempo. Nesse entendimento, compreende-se da seguinte maneira: entre o tempo 2000 e 2005, na Figura 12, onde está o fragmento destacado em vermelho, encontra-se o trânsito provocado pelo exoplaneta HD 152843c, o qual ocasionou a afirmação.

Figura 12: Curva de luz normalizada do exoplaneta HD 152843 c extraído programa em linguagem python

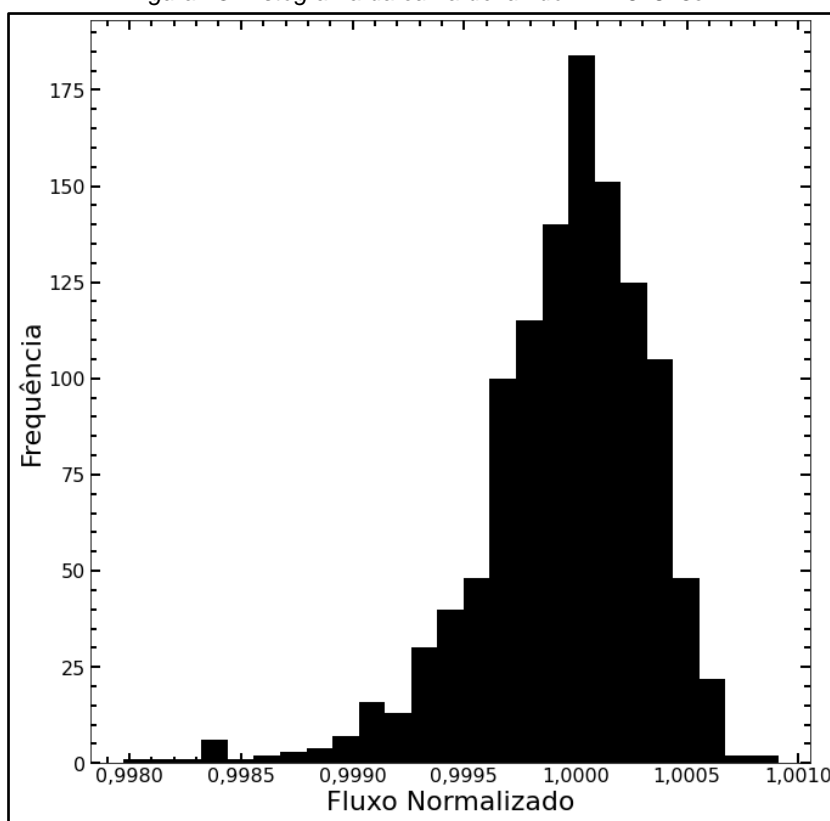


Fonte: Autora (2022)

O software também fornece o gráfico do histograma para dar continuidade ao estudo dessa curva de luz. Assim, o histograma representa o gráfico de barras, utilizado para explorar os dados fornecidos e exibir os valores por grupos de classes. Desse modo, a Figura 13 mostra o histograma formado através da curva de luz do exoplaneta HD 152843c, onde no eixo X há o fluxo normalizado, enquanto o eixo Y corresponde a frequência em que esses valores de fluxo estão ocorrendo.

O Fluxo Normalizado deste astro possui a maior concentração de dados entre os pontos 0,9995 e 1,0005. Como na sua curva de luz exibe esse agrupamento nos mesmos pontos em forma de diagrama, torna mais compreensível quando são expostos tipos de gráficos diferentes, pois ratifica a presença de um pequeno pico de frequência correspondente à diminuição do fluxo (brilho) pela passagem do exoplaneta na frente da estrela HD 152843.

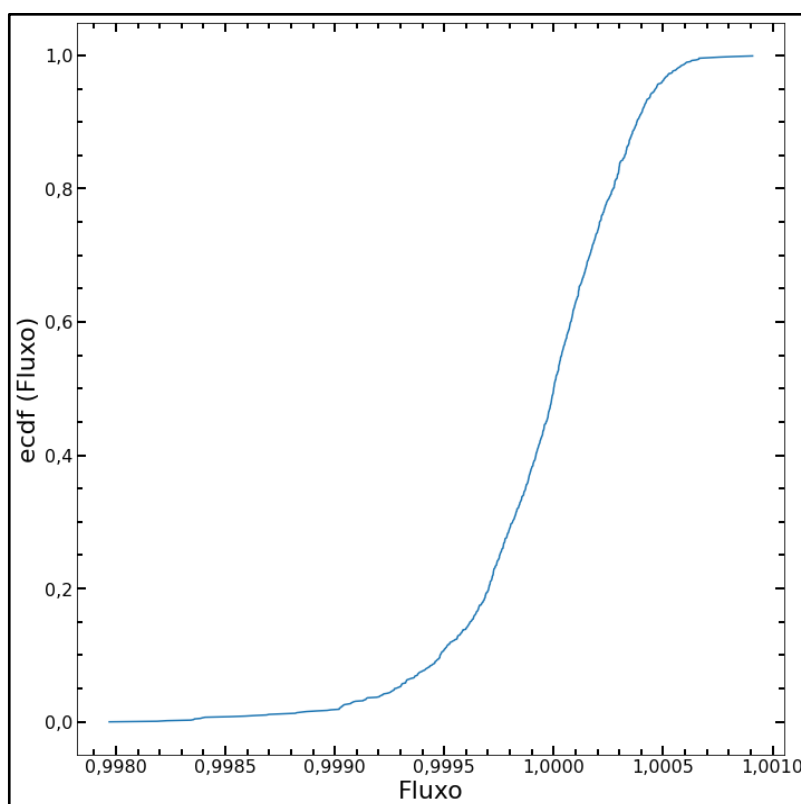
Figura 13: histograma da curva de luz do HD 152843c



Fonte: Autora (2022)

O software também apresenta o gráfico ECDF, do inglês Empirical Cumulative Distribution Function, que significa Função de Distribuição Acumulada Empírica. Este tipo de diagrama foi utilizado para que pudéssemos visualizar cada ponto do agrupamento dos dados obtidos. Nesse entendimento, na Figura 14 mostra os dados em ordem crescente, onde no eixo Y contém o menor valor como sendo o 0 e o maior valor sendo o 1. Já o eixo X corresponde aos dados quantitativos do fluxo, para melhor compreensão, o eixo Y expressa a fração obtida pela quantidade de pontos em um dado intervalo pelo total de fluxo presente.

Figura 14: Gráfico da Distribuição Comutativa Empírica da curva de luz do HD 152843c



Fonte: Autora (2022)

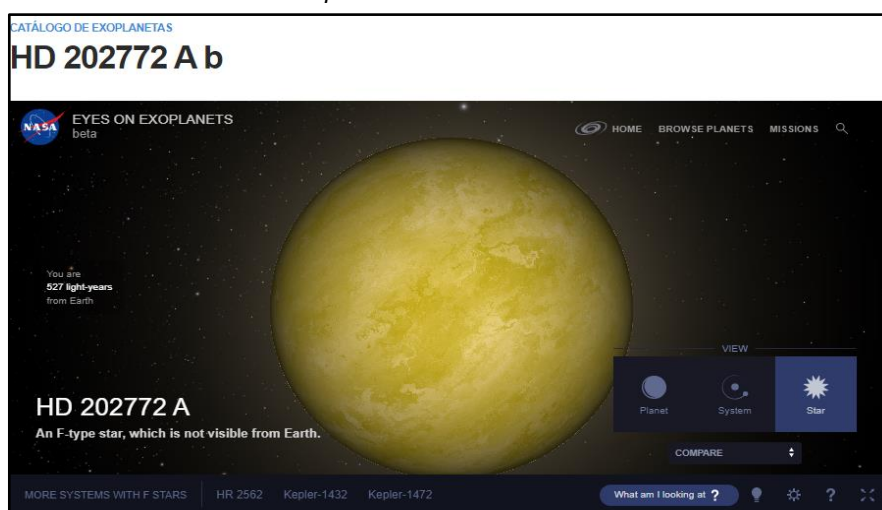
A Distribuição Cumutativa Empírica da imagem acima exhibe o gráfico obtido por meio dos dados da curva de luz da estrela HD 152843, onde no eixo Y são apresentadas as probabilidades que estão ocorrendo cada ponto a partir do instante em que o brilho dessa estrela começa a diminuir. Nesse momento de baixo fluxo, forma uma curvatura fora do padrão normal do brilho estelar, a qual se origina

aproximadamente do fluxo 0,9980 e vai até o 0,9985. Apesar do gráfico da Figura 14 apresentar os pontos das curvas de luz somente como uma leve saliência pelo brilho da estrela não ser fortemente diminuído por conta do tamanho do objeto em trânsito não se comparativamente do mesmo tamanho da estrela, ou seja, o planeta em trânsito diminui apenas um pequeno percentual da luminosidade, ainda assim é possível constatar que quanto maior a ECDF em valores de fluxo baixo, mais evidente a existência de planeta.

3.1.2 HD 202772 A b

A HD 202772 A, ilustrada na Figura 15, conhecida por ser hospedeira do exoplaneta HD 202772Ab, é do tipo F, ou seja, como os cientistas da área da astronomia classificam as estrelas pela sua temperatura, ela possui uma integração de hidrogênio de tipo espectral F e tem a temperatura variando entre 6.000 K a 7.600.

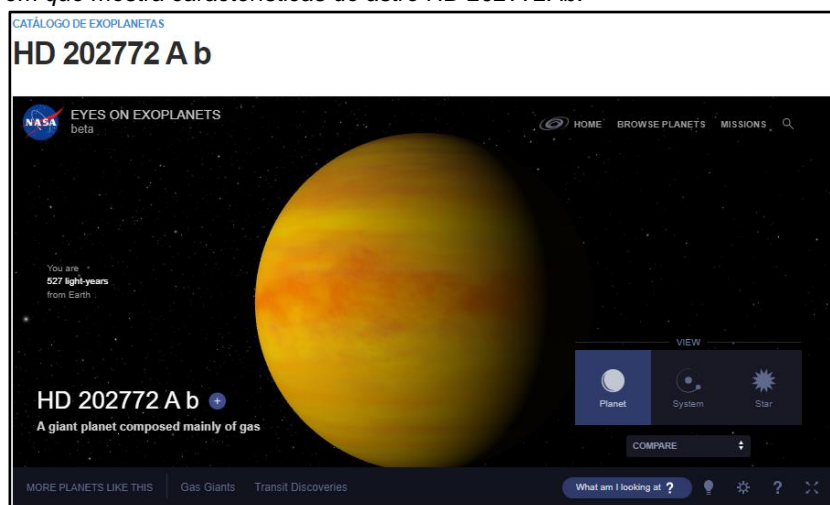
Figura 15: imagem ilustrativa fornecida pelo catálogo da NASA, onde mostra as características da estrela hospedeira do astro HD 202772Ab



Fonte: Autora (2022)

O exoplaneta HD 202772Ab, ilustrado na Figura 16, sua descoberta foi oficializada, através do método de trânsito, em 2019, segundo consta no portal de catálogo da NASA. Este planeta tem a massa de 1,017 vezes a massa de Júpiter, leva 3,3 dias para concluir a órbita e está a 0,05208 UA de sua hospedeira.

Figura 16: imagem ilustrativa do exoplaneta fornecida pelo catálogo da NASA em que mostra características do astro HD 202772Ab.



Fonte: Autora (2022)

Para obter informações da estrela e do seu planeta hospedeiro, foi possível inserir, no software em linguagem python, o nome do planeta para que o programa exibisse os gráficos pertinentes a esta pesquisa. Antes de tudo, apresentou as missões que o TESS obteve informações, neste caso, foram os setores 01 e o 28. Na imagem da Figura 17 é exposto como o programa mostra os setores captados, os quais foi o setor 01 em 2018, por 1426 segundos, e o setor 28 em 2020, por 475 segundos.

Figura 17: imagem de como o programa em linguagem python apresenta os dados dos setores capturados pelo TESS.

```
SearchResult containing 2 data products.
```

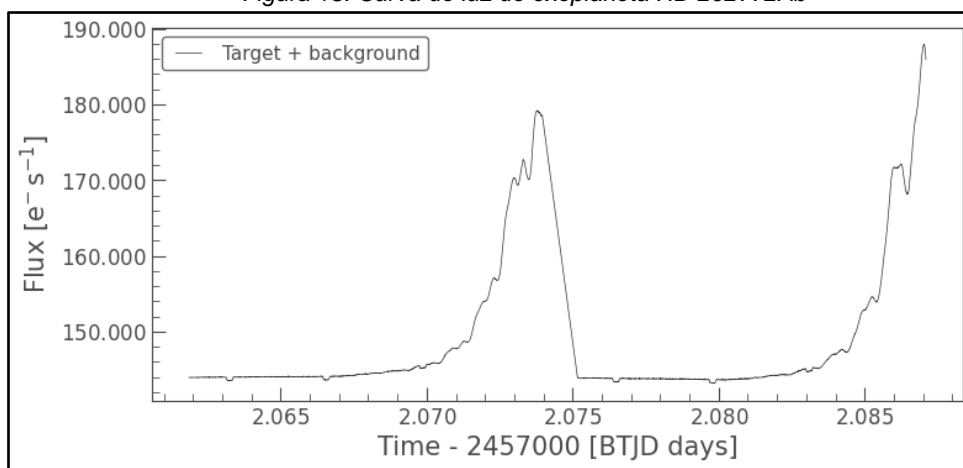
#	mission	year	author	exptime	target_name	distance
				s		arcsec
0	TESS Sector 01	2018	TESScut	1426	HD 202772 A b	0.0
1	TESS Sector 28	2020	TESScut	475	HD 202772 A b	0.0

Fonte: Autora (2022)

O exoplaneta HD 202772Ab, apesar de terem sido realizadas leituras de dois setores, foi descoberto a partir da leitura do setor 01, realizada em 2018 por 1426 segundos, através do método de trânsito, esse tempo de maior duração pode ter sido importante para que fosse constatada a presença do planeta; porém, somente em 2019 este astro foi oficialmente inserido no catálogo da NASA.

O gráfico da curva de luz da Figura 18 exibe, através dos dados do setor 01, o Fluxo no eixo Y e o Tempo no eixo X. Entretanto, por razão de os dados ainda não terem passado por uma limpeza de possíveis pontos fotométricos que não fazem parte da leitura de informações deste planeta, é formado uma curva de luz em desordem e pouco precisa.

Figura 18: Curva de luz do exoplaneta HD 202772Ab

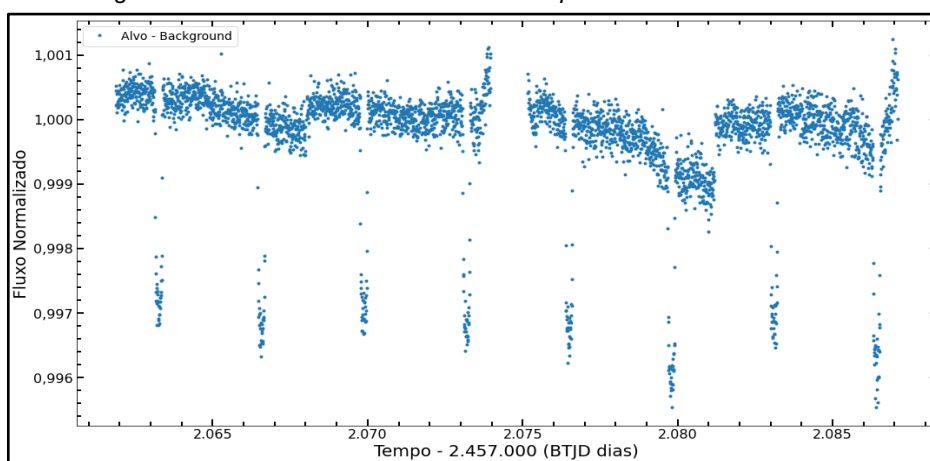


Fonte: Autora (2022)

Após essa etapa de organização de dados, o software demonstra a curva de luz normalizado, como é possível ver na Figura 19. A imagem abaixo exibe os dados normalizados, onde o trânsito do HD 202772Ab ocorre por 8 vezes no gráfico. Esse planeta extra solar está presente quando o brilho da sua estrela hospedeira diminui por aproximadamente dois minutos entre os fluxos 0,995 e 1,000.

É importante saber que a coluna central, com ausência de pontos no tempo e no fluxo, é devido ao instrumento óptico TESS ter parado para realizar o download ao final de cada órbita.

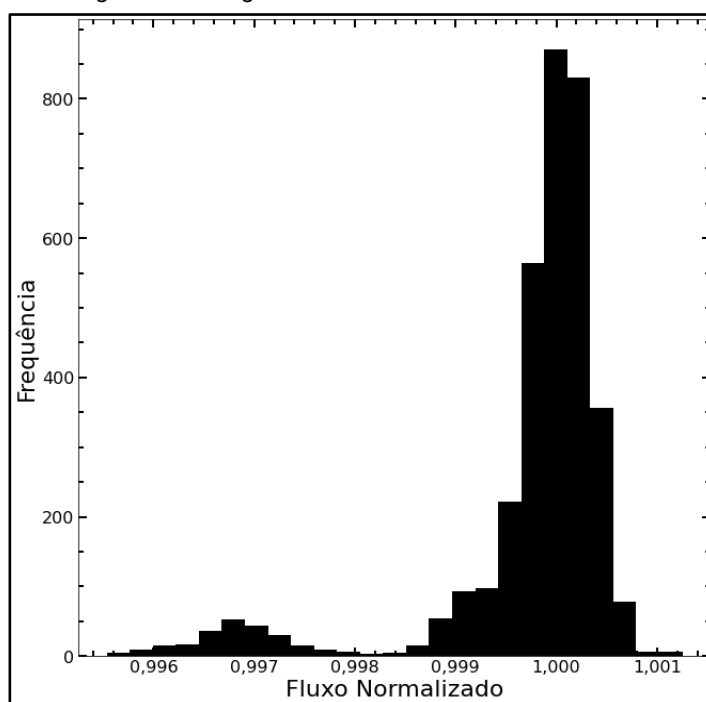
Figura 19: Curva de luz normalizada do exoplaneta HD 202772Ab



Fonte: Autora (2022)

O histograma da Figura 20 possui dados de menor fluxo entre os pontos 0,995 e o 1,000, onde mostra essa informação em agrupamento, pois há pontos de menor brilho. Essa é outra maneira de analisar as informações captadas pelo TESS através do trânsito planetário, a qual ratifica a presença de um pequeno pico de frequência correspondente à diminuição do fluxo (brilho) pela passagem do exoplaneta na frente da estrela HD 202772Ab.

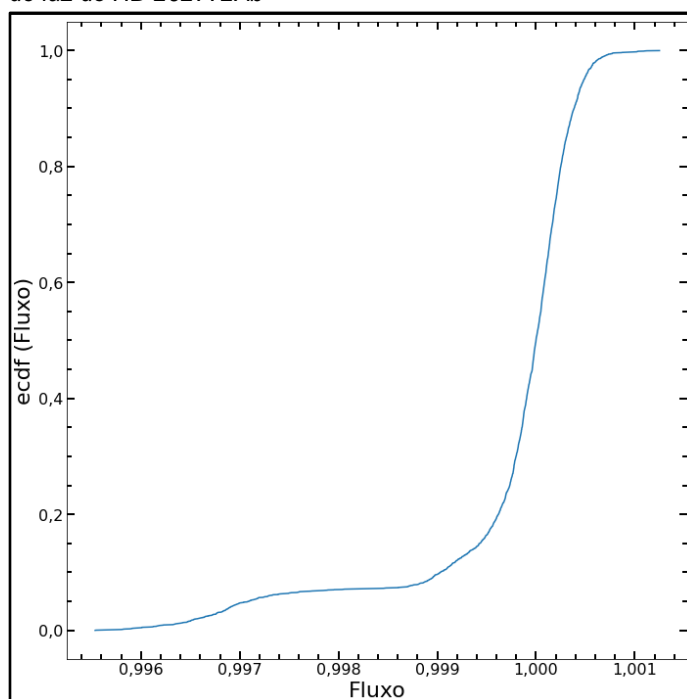
Figura 20: histograma da curva de luz do HD 202772Ab



Fonte: Autora (2022)

A Distribuição Comutativa Empírica da Figura 21 exibe o gráfico obtido por meio dos dados da curva de luz da estrela HD 202772Ab, onde no eixo Y são apresentadas as probabilidades a partir do instante em que o brilho dessa estrela começa a diminuir. No momento de baixo fluxo, forma uma curvatura fora do padrão normal do brilho estelar, a qual se origina aproximadamente do fluxo 0,995 e vai até o 1,000.

Figura 21: Gráfico da Distribuição Comutativa Empírica da curva de luz do HD 202772Ab



Fonte: Autora (2022)

Neste gráfico a presença do exoplaneta está mais aparente, uma vez que foram captados diversos trânsitos, assim é possível constatar que quanto maior a ECDF em valores de fluxo baixo, mais evidente a existência de planeta.

3.2 CURVAS DE LUZ DE ESTRELAS SEM EXOPLANETAS

A curva de luz é representada pelo gráfico da variação do fluxo em relação ao tempo, onde tal alternância não diz respeito somente à existência de um planeta orbitando em torno da estrela, como pode ser a presença de manchas estelares, eclipses causando por outra estrela companheira, ou até mesmo qualquer objeto que esteja entre a estrela e o observador (TORRES; PEREIRA,2012).

Nesse entendimento, para ter acesso aos dados relacionados aos astros escolhidas, foi necessário realizar buscas das informações, captadas pelo telescópio espacial TESS, de estrelas que ainda não constam presença de planeta extra solar.

A escolha de cada uma foi de forma aleatória mediante ao catálogo de Exoplanetas descobertos e pelo Portal MAST.

Figura 22: Interface do Portal MAST, o qual permite pesquisar conjuntos de dados astronômicos

	TIC ID	RA	Dec	pmRA	pmDEC	1650 Mag	Object Type	Source of type	Version	HIP	TYC ID	UCAC ID	2MASS ID	2MASS ID	ALLWISE ID
1	233194029	17:36:05.895	+68:09:20.59	-2.2843	5.6086	15.9657	STAR	tmjw42	20190415			791-027610	17360589+C...	17360589	17360589
2	00051431991	17:36:05.713	+68:09:21.32	NaN	NaN	12.983	EXCLUDED		20190415				17360571+C...	1237655748...	17360589
3	233194028	17:36:05.383	+68:09:21.75	NaN	NaN	13.299	STAR	2mass	20190415				17360538+C...		17360589
4	233194032	17:36:06.384	+68:09:18.46	NaN	NaN	14.812	STAR	2mass	20190415				17360638+C...		17360589
5	233194036	17:36:06.007	+68:09:25.26	NaN	NaN	14.710	STAR	2mass	20190415				17360600+C...		17360589
6	233194033	17:36:07.142	+68:09:14.84	NaN	NaN	14.857	STAR	2mass	20190415				17360714+C...		17360589
7	233194035	17:36:07.866	+68:09:14.11	NaN	NaN	15.118	STAR	2mass	20190415				17360746+C...		17360589
8	233194024	17:36:04.365	+68:09:27.94	NaN	NaN	16.647	STAR	2mass	20190415				17360436+C...		17360589
9	233194038	17:36:07.595	+68:09:12.59	NaN	NaN	15.214	STAR	2mass	20190415				17360759+C...		17360589
10	233194037	17:36:07.946	+68:09:10.94	NaN	NaN	16.119	STAR	2mass	20190415				17360796+C...		17360589
11	233194022	17:36:03.426	+68:09:32.25	NaN	NaN	15.627	STAR	2mass	20190415				17360542+C...		17360589
12	233194039	17:36:08.527	+68:09:39.26	NaN	NaN	15.898	STAR	2mass	20190415				17360852+C...		17360589
13	233194039	17:36:09.408	+68:09:35.42	NaN	NaN	16.962	STAR	2mass	20190415				17360940+C...		17360589

Fonte: Portal MAST

A Figura 22 apresenta como podemos ver a interface do portal MAST, o qual é um catálogo de dados astronômicos administrado pelo Space Telescope Science Institute. Ao entrar no site é proporcionado ao público uma coleção de informações, imagens e publicações captadas pelos telescópios espaciais. No portal é possível selecionar o telescópio almejado, inserir o nome do objeto, realizar uma pesquisa aleatória, entre outros.

A escolha das estrelas TIC 405220605 da TIC 3548647, as quais não têm exoplaneta em sua órbita, foi de forma cuidadosa, uma vez que, além de buscar os dados desses astros no portal, seguimos para uma busca a fim de saber se já havia algum estudo a respeito delas. Assim buscamos na literatura e, como nada foi encontrado, a próxima etapa foi inserir no programa em linguagem Python, dessa forma, obtivemos os gráficos pertinentes.

3.2.1 Tic 405220605

A estrela TIC 405220605 nos forneceu a informação de que o Telescópio TESS captou dados em duas missões de anos distintos, em 2019 do setor 07 por 1426 segundos e em 2021 do setor 34 por 475 segundos.

Figura 23: imagem de como o programa em linguagem python apresenta os dados dos setores capturados pelo TESS.

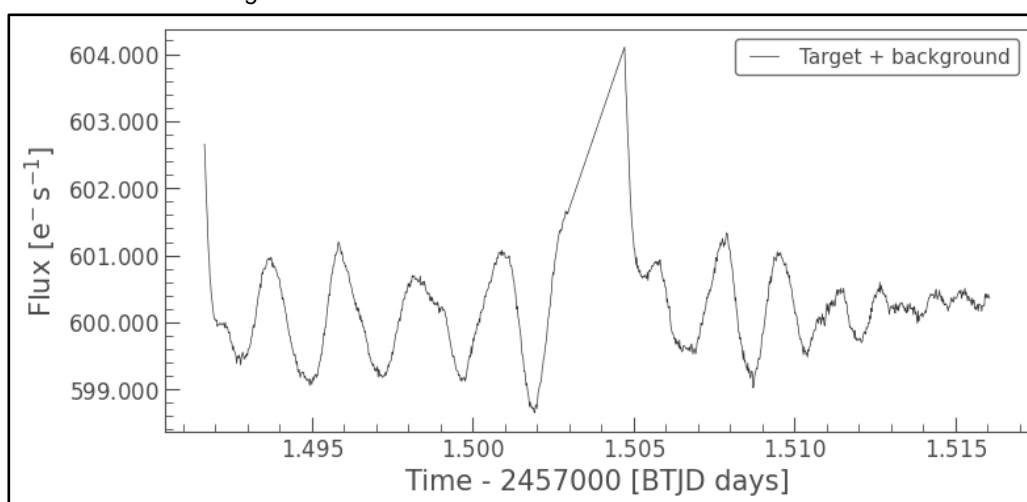
```
SearchResult containing 2 data products.
```

#	mission	year	author	exptime	target_name	distance
				s		arcsec
0	TESS Sector 07	2019	TESScut	1426	TIC 405220605	0.0
1	TESS Sector 34	2021	TESScut	475	TIC 405220605	0.0

Fonte: Autora (2022)

Após o software nos apresentar os setores, também transforma os dados em gráfico, verifica-se na Figura 24 que a curva de luz ainda não foi normalizada e pode conter possíveis erros de medição.

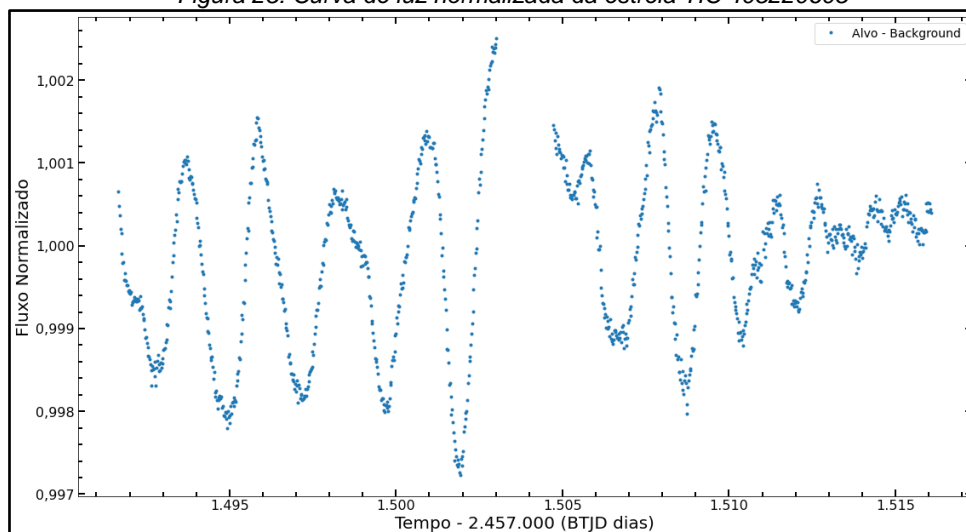
Figura 24: Curva de luz da estrela TIC 405220605



Fonte: Autora (2022)

Na imagem abaixo contem a curva de luz normalizada da estrela TIC 405220605, nesse gráfico foi possível observar que o fluxo, no eixo X, está de forma oscilante, porém isso não significa a presença de planeta, pois não há variação fora do fluxo comum do brilho emitido pela estrela. Nesse entendimento, os dados captados foram somente do brilho natural desse astro e, por essa razão, ocorre essa variação no brilho.

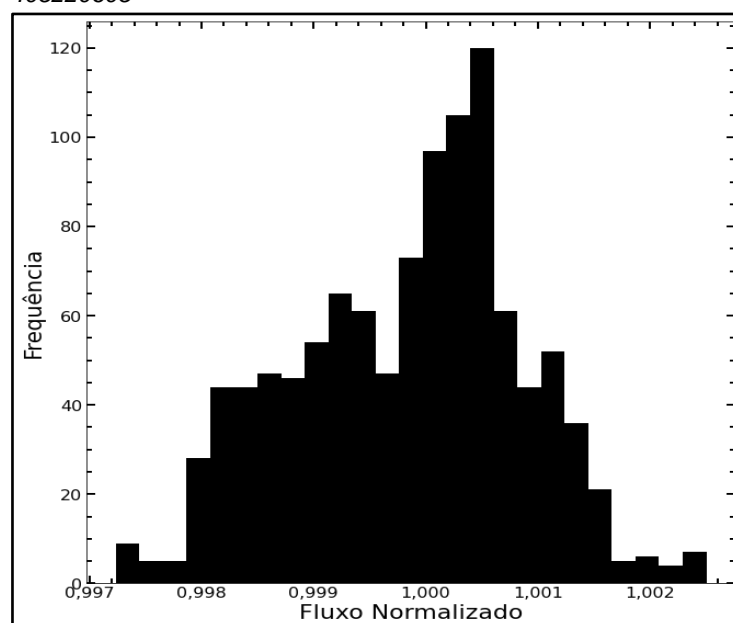
Figura 25: Curva de luz normalizada da estrela TIC 405220605



Fonte: Autora (2022)

O histograma da Figura 26 confirma a análise de que não há a presença de planeta nesses setores captados. Diante disso, é importante perceber que, diferente do gráfico de estrelas com planetas, este diagrama expõe o fluxo de forma mais distribuída e não há uma variação de fluxo que possa ser considerada como consequência de trânsito planetário.

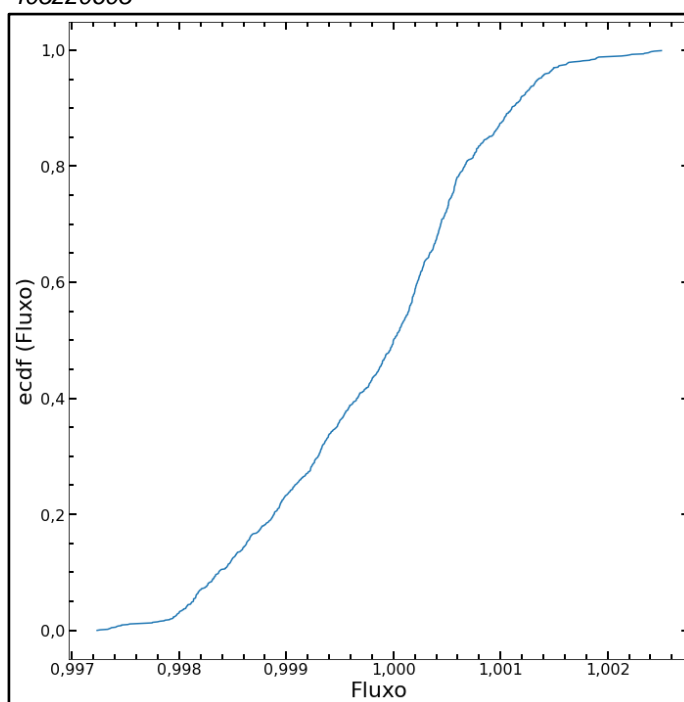
Figura 26: Histograma da curva de luz normalizada da estrela TIC 405220605



Fonte: Autora (2022)

Neste gráfico do ECDF é apresentada a distribuição empírica dos dados da estrela TIC 405220605, na imagem da Figura 27 não manifesta uma alteração considerável, pois o eixo do fluxo consiste do brilho normal da estrela. Ou seja, as frequências eletromagnéticas emitidas não condizem com uma estrela que teve sua luminosidade inibida por um planeta que passou entre a estrela e o telescópio TESS.

Figura 27: ECDF da curva de luz normalizada da estrela TIC 405220605



Fonte: Autora (2022)

3.2.2 Tic 3548647

A Figura 28 mostra os setores que a missão TESS inferiu nos anos de 2019 e 2021. Essas leituras feitas pelo telescópio foram do setor 19 por 1426 segundos, do setor 43 por 475 segundos, do setor 44 por 475 segundos e do setor 45 por 475 segundos. Apesar do TESS ter realizado mais missões em busca dos dados da estrela TIC 3548647, por quatro setores, os gráficos não forneceram indícios que correspondesse com a presença de um exoplaneta em sua órbita.

Figura 28: imagem de como o programa em linguagem python apresenta os dados dos setores capturados pelo TESS.

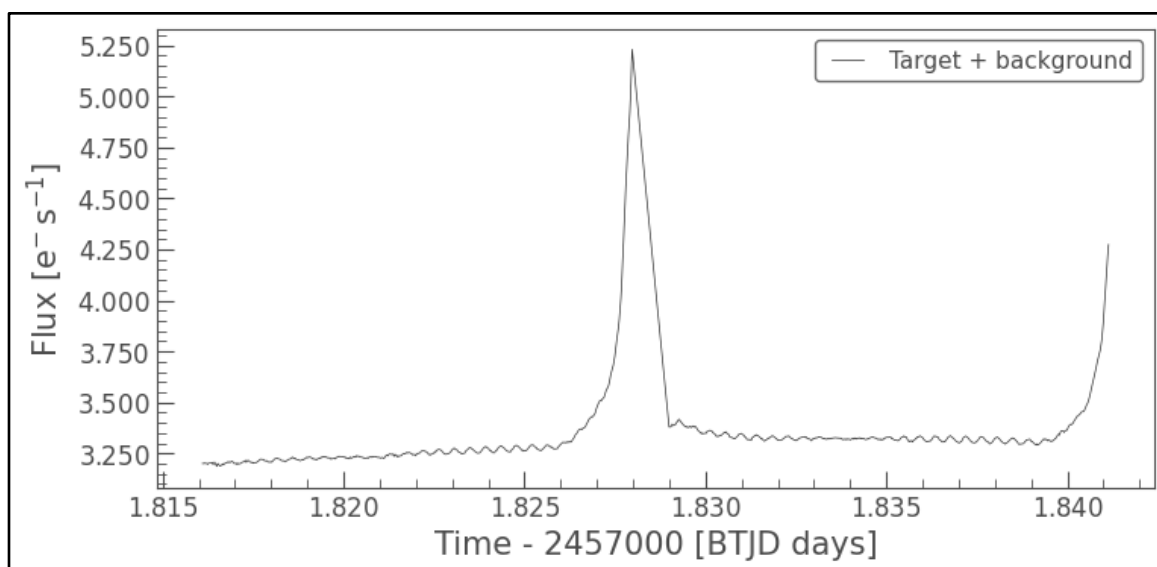
```
SearchResult containing 4 data products.
```

#	mission	year	author	exptime	target_name	distance
				s		arcsec
0	TESS Sector 19	2019	TESScut	1426	TIC 3548647	0.0
1	TESS Sector 43	2021	TESScut	475	TIC 3548647	0.0
2	TESS Sector 44	2021	TESScut	475	TIC 3548647	0.0
3	TESS Sector 45	2021	TESScut	475	TIC 3548647	0.0

Fonte: Autora (2022)

O gráfico da Figura 29 mostra a curva de luz, a qual o software exibe os setores, e transforma os dados em gráfico. Na Figura 25 a curva de luz ainda não foi normalizada e contém erros de medição.

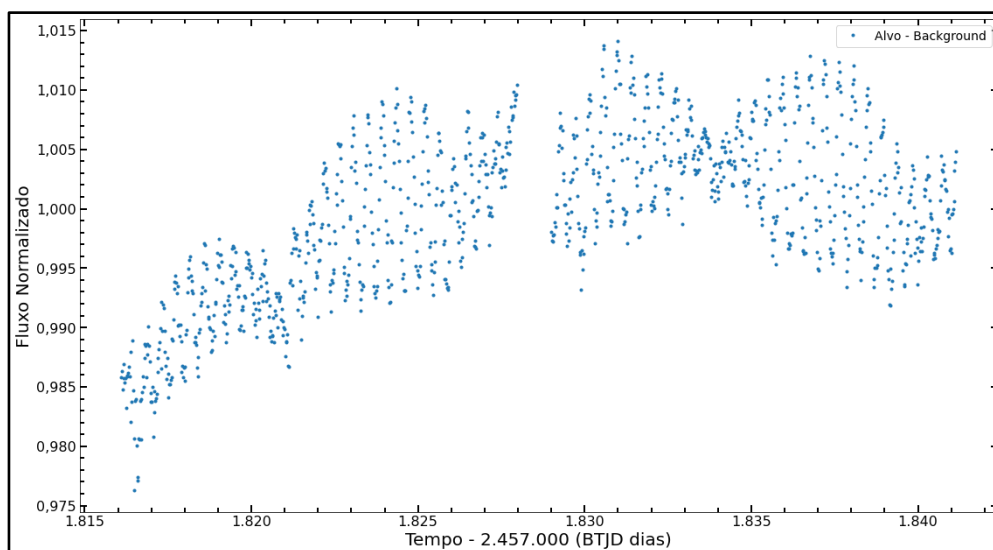
Figura 29: Curva de luz da estrela TIC 3548647



Fonte: Autora (2022)

Logo em seguida, o software realiza a limpeza de dados e fornece a curva de luz normalizada. No gráfico da Figura 30 é possível ver os pontos que representam o brilho de forma distribuída, não há evidências de trânsito ocorrendo, pois, diferente das estrelas com exoplaneta, a estrela TIC 3548647 não deu indício em nenhum dos setores aferidos. A curva de luz a seguir exibe decaimentos e ascensões de pontos, porém faz parte do brilho normal manifestado pelas estrelas, nesse gráfico não consta a presença de trânsito.

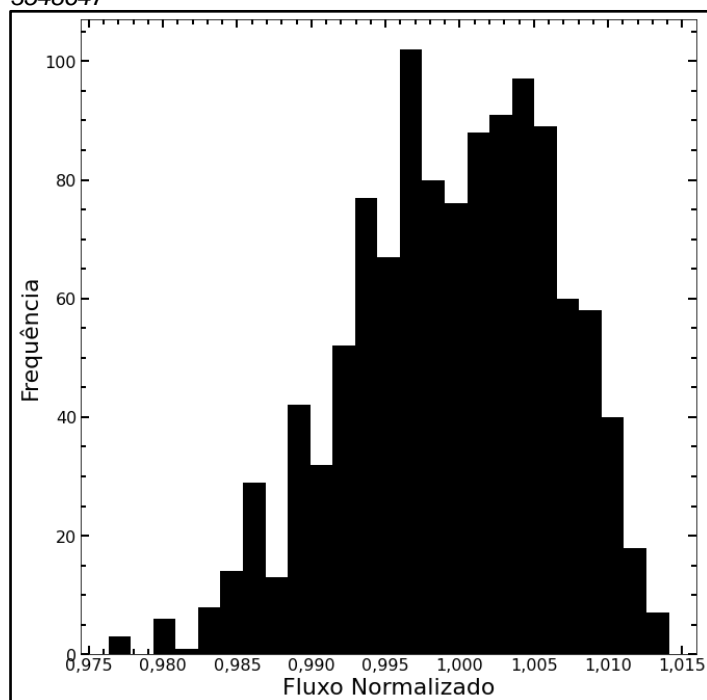
Figura 30: Curva de luz normalizada da estrela TIC 3548647



Fonte: Autora (2022)

O histograma da Figura 31 também confirma a análise de que não há presença de planeta nesses setores captados. É importante perceber que, diferente do gráfico de estrelas com planetas, este diagrama expõe o fluxo de forma mais distribuída e não há uma variação de fluxo que possa ser considerada como consequência de trânsito planetário.

Figura 32: Histograma da curva de luz normalizada da estrela TIC 3548647

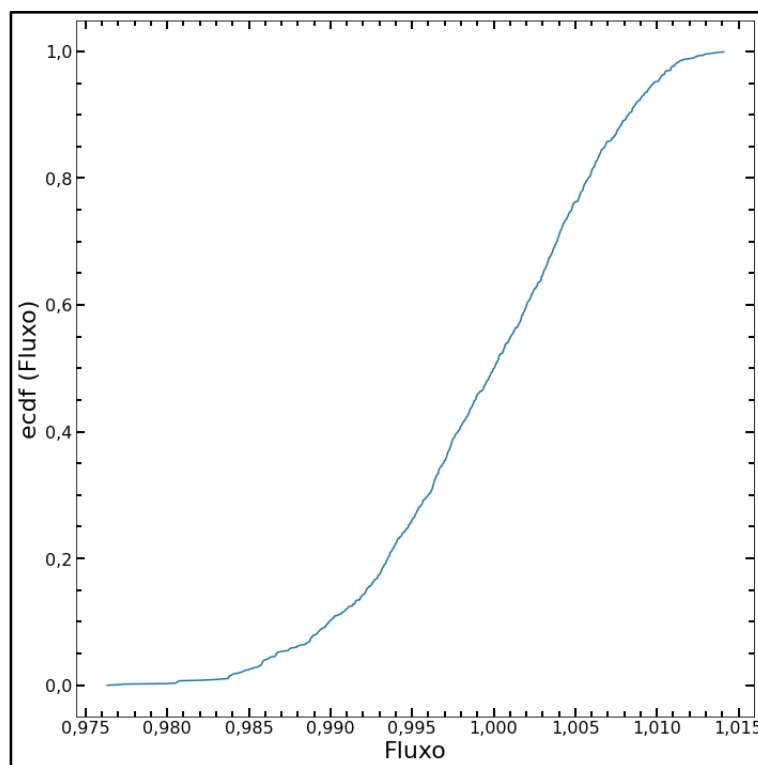


Fonte: Autora (2022)

A imagem da Figura 32 não manifesta uma alteração considerável, pois o eixo do fluxo consiste do brilho normal da estrela. As frequências eletromagnéticas emitidas e transformadas no gráfico de distribuição empírica da Figura 33 não condizem com uma estrela que teve sua luminosidade inibida por um planeta que passou entre a estrela e o telescópio TESS.

Ao verificar o ECDF das curvas de luz de estrelas com planetas, presentes neste capítulo, pode-se perceber que a curva formada é mais acentuada próximo aos pontos de menor brilho, ou seja, possui saliências maiores no fluxo. Enquanto na imagem abaixo o diagrama exhibe o fluxo que a estrela emite naturalmente.

Figura 33: ECDF da curva de luz normalizada da estrela TIC 3548647



Fonte: Autora (2022)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo compreender as características dos perfis de distribuição de curvas de luz de estrelas com planetas e compará-las com curvas de luz de estrelas que não foi confirmada a presença de planeta. Pra isso, a primeira etapa foi realizar buscas a respeito dos exoplanetas e o desenvolvimento da ciência até chegar às primeiras descobertas do homem sobre o tema. Em seguida ocorreu a escolha das estrelas com exoplanetas no portal da NASA e das estrelas sem nenhum planeta em sua órbita, em ordem aleatória, no portal MAST.

A etapa da coleta das informações foi de suma importância para que pudéssemos inserir as informações, coletadas pelo Telescópio Espacial TESS, no programa em linguagem Python. Em posse do código que proporcionou a apresentação dos gráficos necessários para o progresso das análises (curva de luz, histograma e o gráfico de distribuição empírica), realizamos uma busca na literatura para obter o conhecimento a respeito de cada astro.

Nesse entendimento, foi analisado que nos gráficos formados pelas estrelas com exoplanetas confirmados existem uma queda acentuada do brilho em um determinado instante de tempo, demonstrando o trânsito planetário. Já nas estrelas que não há a confirmação de planeta em sua órbita, o brilho da estrela é contínuo, ou seja, não demonstra alteração, somente a intensidade normal e seu gráfico não evidencia trânsito.

Considerando as contribuições do estudo deste assunto para a exoplanetologia, as técnicas computacionais utilizadas neste trabalho permitiram enxergar nuances nas curvas de luz, objeto principal do estudo do trânsito planetário, que podem determinar a existência de sinais desses referidos trânsitos. Possibilitando, com isso, a aferição de existência de características de habitabilidade em outros sistemas extra solares.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, T. d. F. C.; MOTA, A. L. M. T. Existe vida fora da terra? uma proposta de unidade de ensino utilizando o tema exoplanetas is there life out of the earth? a lecture proposal unit using the subject exoplanets.

ALMEIDA, Leandro de. **Estudo da topologia de microlentes gravitacionais e a descoberta de exoplanetas do tipo Terra na zona habitável**. 2017. Tese (Doutorado) – Federal University of Rio Grande do Norte.

BAGDONAS, Alexandre; ANDRADE, Victória Flório Pires de et al. Discussões sobre a natureza da ciência em um curso sobre a história da astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 9, p. 17–31, 2010. BARBOSA, Ruben Romano Borges. Exoplanetologia-em busca de um planeta habitável, 2015.

BARCLAY, Thomas; PEPPER, Joshua; QUINTANA, Elisa V. A revised exoplanet yield from the transiting exoplanet survey satellite (TESS). **The Astrophysical Journal Supplement Series**, IOP Publishing, v. 239, n. 1, p. 2, 2018.

CASTRILLÓN, Jenny Paola Bravo. **Análise das curvas de luz do CoRoT usando diferentes processos comparativos: Estimando periodos de rotação estelar**. 2010. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. CIÊNCIA, Gênios da et al. Uma breve história da Astronomia, 2006.

DINIZ, Leonardo Gabriel. Galileu Galilei—o mensageiro das estrelas. **Pion—ligado na Física**. SBF, 2013.

HORVATH, Jorge Ernesto. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. [S. l.]: Editora Livraria da Física, 2008.

ITOKAZU, Anastasia Guidi. 1609: da astronomia tradicional ao nascimento da

astrofísica. **Ciência e Cultura**, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 61, n. 4, p. 42–45, 2009.

LAS CASAS, Renato. Os primeiros telescópios. **Cadernos de Astronomia**, v. 1, n. 1, p.91–98, 2020.

KENIGER, Marcelo Aron Fetzner. Investigando sistemas planetários através do método de trânsitos, 2019.

LENCHUK, Adryan Petry et al. Como identificar exoplanetas. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, p. 191–191, 2021.

MAYOR, M et al. 51 Pegasi. **International Astronomical Union Circular**, v. 6251, p. 1, 1995.

MAZEH, Tsevi et al. The spectroscopic orbit of the planetary companion transiting HD 209458. **The Astrophysical Journal**, IOP Publishing, v. 532, n. 1, p. I55, 2000.

SANTOS, Wytler Cordeiro dos; AMORIM, Ronni Geraldo Gomes de. Descobertas de exoplanetas pelo método do trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 39, 2017.

STEFFANI, Maria Helena; MARTINAZZI, Douglas. TELESCÓPIOS ESPACIAIS: APOSENTADORIA DO HUBBLE. **Salão de Extensão (06.: 2005: Porto Alegre, RS). Caderno de resumos. Porto Alegre: UFRGS/PROEXT, 2005.**, 2005.

TORRES, Tereza Cristina Santos; PEREIRA, Marildo Geraldête. ANÁLISE DE VARIABILIDADE EM CURVAS DE LUZ EM SISTEMAS ESTELARES COM EXOPLANETAS.

WINN, Joshua N. Measuring accurate transit parameters. **Proceedings of the International Astronomical Union**, Cambridge University Press, v. 4, S253, p. 99–109, 2008.

ZABOT, Alexandre. Tema 01: Astronomia Antiga, 2018.