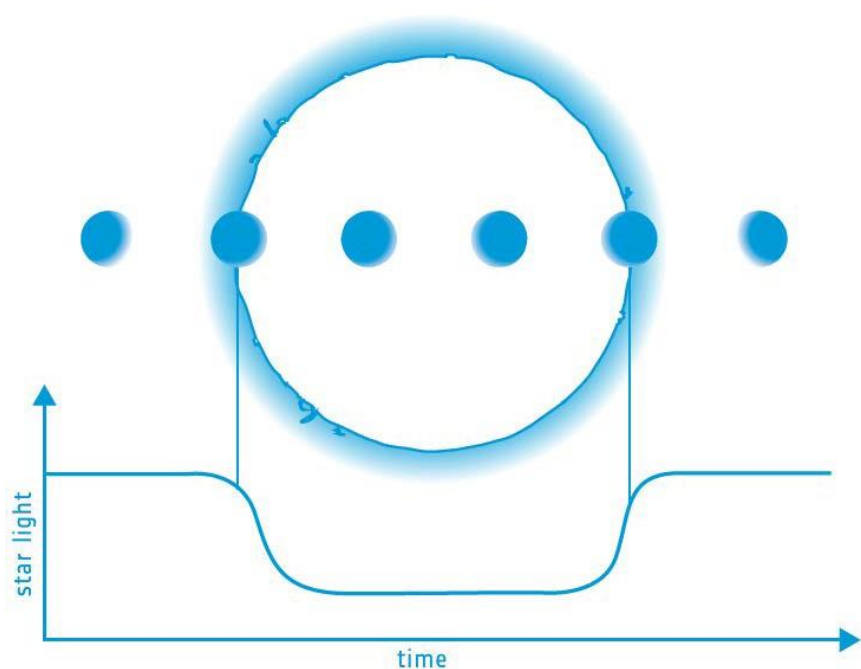
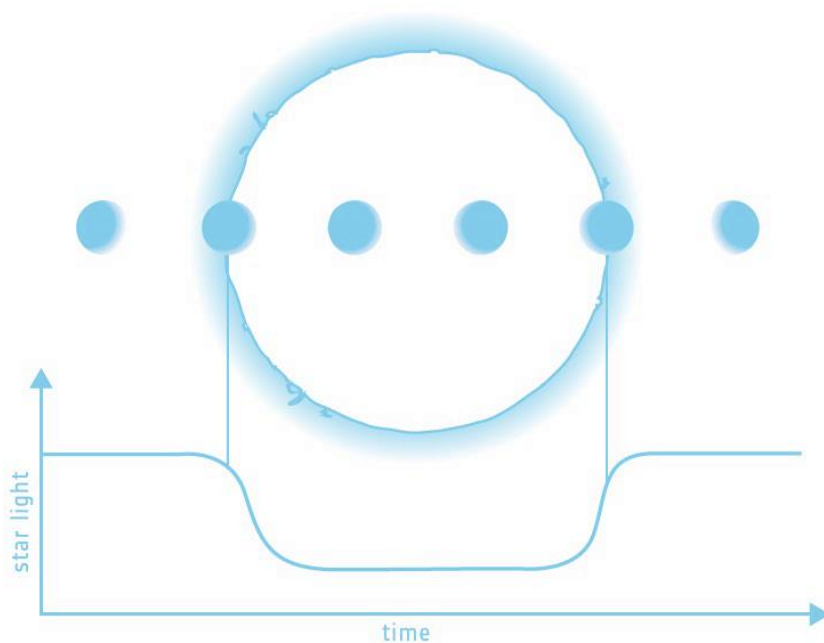


Ensinar com o Espaço

→ DETETIVE de EXOPLANETAS

Caracterização de exoplanetas com a utilização de dados de satélite





Guia do professor

| | |
|---|-----------|
| Factos rápidos | página 3 |
| Resumo das atividades | página 4 |
| Introdução | página 5 |
| Atividade 1: Compreender as curvas da luz | página 6 |
| Atividade 2: Ser um detetive de exoplanetas | página 9 |
| Ficha de trabalho do estudante | página 11 |
| Links | página 19 |

ensinar com o espaço – detetive de exoplanetas | P31
www.esa.int/education

O Gabinete de Educação da ESA agradece reações e comentários
teachers@esa.int

Uma produção da ESA Education
 Copyright 2022 © Agência Espacial Europeia

→ DETETIVE DE EXOPLANETAS

Caracterização de exoplanetas com a utilização de dados de satélite

FACTOS RÁPIDOS

Assunto: Matemática, Física, Astronomia

Faixa etária: 13-18 anos de idade

Tipo: Atividade estudantil, modelação prática

Complexidade: média

Tempo de aula necessário: 45 minutos

Custo: baixo (0-10 euros)

Localização: sala de aula

Palavras-chave: Física, Matemática, Astronomia, Exoplanetas, Curvas de Luz, Trânsitos, Órbitas, Escala, Gráficos, Período

Breve descrição

Neste conjunto de atividades, os estudantes irão vivenciar como os cientistas estudam os exoplanetas a partir de observações astronómicas realizadas com telescópios, utilizando o método de trânsito. Além disso, irão caracterizar exoplanetas utilizando modelos e dados reais de curvas de luz, obtidas pelo satélite CHEOPS (CHaracterising ExOPlanet Satellite) da ESA.

Os estudantes praticarão a representação e interpretação dos dados e a escala de gráficos no contexto da caracterização de exoplanetas.

Esta atividade faz parte de uma série que inclui “**Exoplanetas em Movimento**”, onde os estudantes constroem o seu próprio modelo de trânsito; e “**Exoplanetas numa Caixa**”, onde os estudantes constroem um modelo de trânsito dentro de uma caixa de sapatos e calculam o tamanho de um exoplaneta.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender o que são exoplanetas e como os satélites os investigam.
- Compreender como o método de trânsito é utilizado para a caracterização de exoplanetas.
- Melhorar as capacidades experimentais através da observação e interpretação de curvas de luz medidas.
- Pensar matematicamente e converter um modelo abstrato num modelo real.
- Interpretar dados experimentais utilizando modelos matemáticos e gráficos.
- Tirar conclusões comparando um modelo com um sistema exoplanetário real.
- Comunicar descobertas científicas e matemáticas aos colegas e professores.

→ Resumo das atividades

| Resumo das atividades | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|--|--|------------|------------|
| | Título | Descrição | Resultado | Requisitos | Duração |
| 1 | Compreender as curvas de luz | Analisar ambas as curvas de luz, fictícias e reais, para determinar que informação contêm sobre o modelo ou sistemas exoplanetários reais. | Compreender como fazer gráficos à escala e porquê. Desenvolver capacidades de interpretação gráfica e utilizá-las para tirar conclusões sobre sistemas exoplanetários reais. | Nenhum | 30 minutos |
| 2 | Ser um Detetive de Exoplanetas | Esta atividade visa resumir os conhecimentos adquiridos nas atividades anteriores e descrever o que os cientistas podem aprender com as curvas de luz medidas por satélites. | Relacionar os resultados de um modelo com a situação real, utilizando analogias. | Nenhum | 10 minutos |

→ Introdução

Neste conjunto de atividades, concentrar-nos-emos nas análises das curvas de luz obtidas através do método de trânsito. Este método tem sido utilizado para detetar e caracterizar muitos dos exoplanetas que são conhecidos até à data. Utilizando esta técnica, os telescópios medem com muita precisão a quantidade de luz emitida por estrelas individuais ao longo de períodos de horas a meses.

Esta medição da luz de um objecto em função do tempo é conhecida como uma curva de luz (ver Figura 1). Analisando a forma da curva da luz, e as características nela contidas, podemos aprender tanto sobre a estrela como sobre quaisquer exoplanetas que a orbitem.

Quando um exoplaneta passa em frente da estrela que orbita, bloqueia uma pequena fracção da sua luz. Este tipo de passagem é conhecido como um **trânsito**. Se um telescópio estiver a observar a luz dessa estrela durante esse trânsito, irá medir um pequeno mergulho na curva da luz.

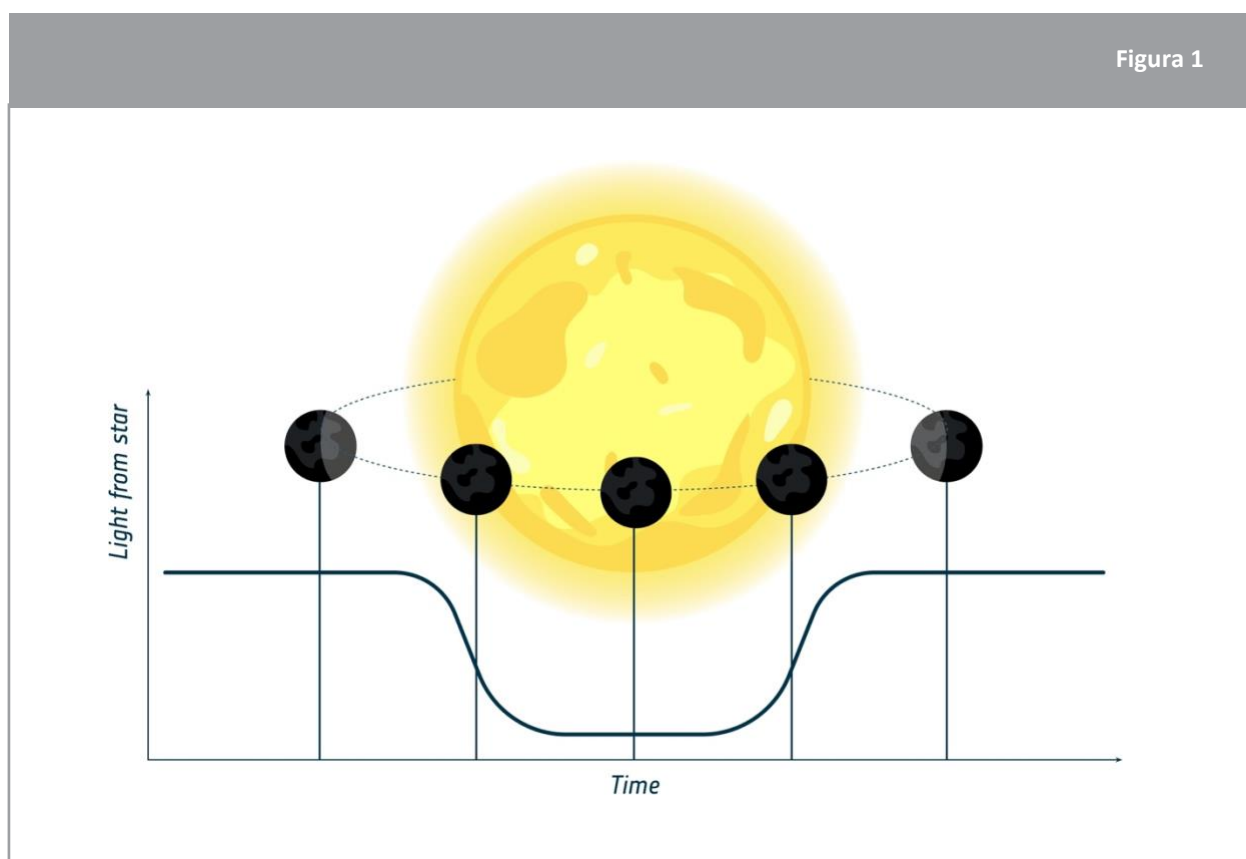


Figura 1

↑ Representação do mergulho numa curva de luz de uma estrela durante o trânsito de um exoplaneta.

A profundidade do mergulho depende diretamente da percentagem da luz da estrela que é bloqueada pelo exoplaneta de passagem, a qual depende do tamanho do exoplaneta em relação à estrela. Quanto maior for o planeta, maior será a luz que este bloqueará. Se soubermos o tamanho da estrela, podemos determinar o tamanho do planeta.

→ Atividade 1: Compreender as Curvas de Luz

Este exercício inclui escalas e gráficos de interpretação de dados de satélite simulados e reais

Como introdução aos exoplanetas, sugere-se a conclusão da atividade *Exoplanetas em Movimento*.

Para introduzir os estudantes ao tema dos exoplanetas pode também utilizar material vídeo disponível nos links abaixo ou utilizar a informação de fundo como um recurso complementar.

Abaixo estão algumas sugestões de material vídeo da ESA:

- [Outros Mundos, da série 'Conhece os Peritos' \(Meet the Experts\)](#)
- [Conhece o CHEOPS, o Satélite Caracterizador de Exoplanetas](#)
- [O Paxi explora exoplanetas!](#) (Nota: veja [aqui](#) todos os vídeos do Paxi em Português)

Depois de os alunos consolidarem algumas destas noções básicas iniciais sobre exoplanetas, o método de trânsito e o CHEOPS, podem usar a ficha de trabalho que lhes é destinada para realizarem a Atividade 1.

Exercício 1 - Gráficos de escalas

A compreensão da escala dos gráficos é uma competência importante que deve ser adquirida tanto em matemática como em ciência. Neste exercício, os estudantes poderão ver alguns dados reais obtidos pelo satélite CHEOPS e terão a oportunidade de utilizar este exemplo para ver como os gráficos são escalados de forma a obterem a maior quantidade de informação possível a partir dos dados neles contidos.

Nestes gráficos, a luz da estrela no eixo dos YY é mostrada como uma percentagem do valor médio medido a partir dessa estrela durante o período de observação. Os mesmos dados são traçados em ambos os gráficos neste exercício, mas cada um apresenta uma escala diferente.

Nota: Como o gráfico mostra a luz da estrela como uma percentagem do valor médio de brilho, este brilho médio é considerado como sendo igual a um valor de 100% no eixo dos YY. Se ocorrerem eventos durante as observações que aumentem a quantidade de luz que é medida, como por exemplo erupções estelares, então os valores de brilho acima da marca média são medidos e são representados no gráfico como medições acima de 100%.

Discussão

Abaixo estão as respostas ao Exercício 1. Discuta as respostas juntamente com o princípio da escalada com os seus alunos.

1.1. Os alunos devem reconhecer que, na Figura 3, o trânsito é muito mais fácil de identificar do que na Figura 2, devido às diferentes escalas no eixo dos YY.

1.2. Na Figura 2, a curva da luz parece quase constante, enquanto na Figura 3 é visível uma diminuição da percentagem da luz da estrela na curva entre 6,5h e 10,75h. O tempo (horas) indicado no eixo dos XX é o mesmo para ambos os gráficos. Os valores da luz da estrela (%) mostrados no eixo dos YY são diferentes. No primeiro gráfico os valores variam entre 0% e 110%, enquanto que no gráfico em escala onde o mergulho é visível, os valores variam entre 99,3% e 100,1%.

Exercício 2 - Interpretação de curvas de luz

Neste exercício são dados exemplos de curvas de luz de trânsitos simuladas e orientações sobre como ler e interpretar os gráficos das mesmas. Pode ser realizado em pares ou individualmente.

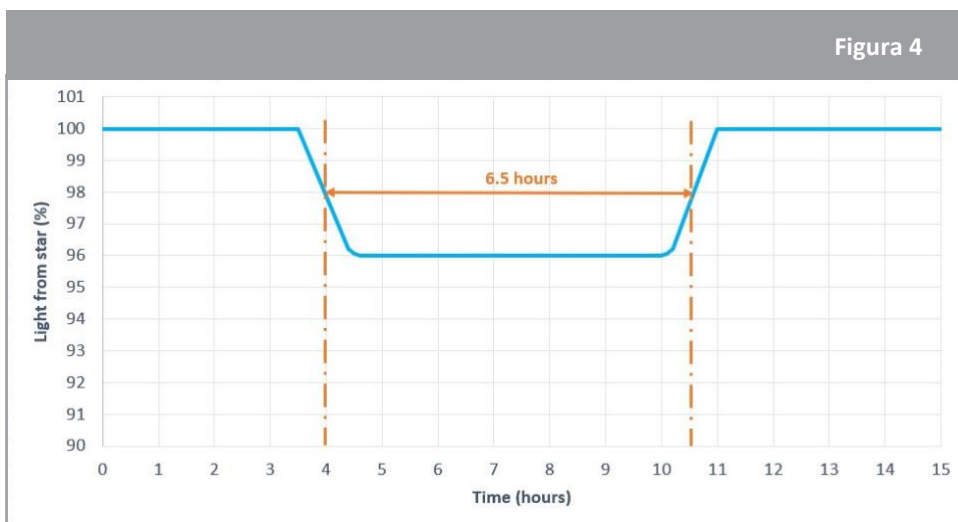
Informação extra: a quantidade de luz estelar bloqueada pelo planeta está diretamente relacionada com a área projetada do planeta. A luz que o planeta bloqueia é proporcional a R_p^2/R_e^2 , onde R_p é o raio do planeta, e R_e é o raio da estrela. Atenção: Se um planeta bloquear o dobro da luz, isso não significa que o planeta seja duas vezes maior. Para que bloqueie o dobro da quantidade de luz, o planeta deve ser $\sqrt{2}$ (cerca de 1,41) vezes maior.

Discussão

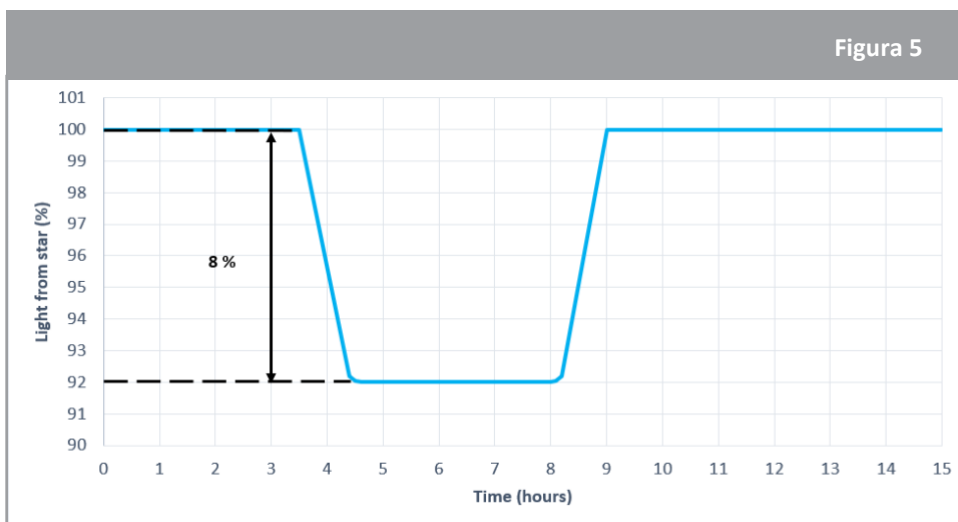
Pode encontrar as respostas ao Exercício 2 abaixo:

2.1. O exoplaneta que foi observado para produzir esta curva de luz levou **4,5 horas** a passar em frente da estrela, e bloqueou **4%** da luz da estrela.

2.2.



2.3



Depois de os alunos completarem este exercício sozinhos ou em pares, devem discutir os resultados obtidos na aula para se prepararem para a interpretação dos dados reais do CHEOPS.

Exercício 3 - Interpretação de dados de satélite reais

Neste exercício, os estudantes utilizam os conceitos introduzidos nos exercícios anteriores para interpretar uma curva de luz do trânsito do exoplaneta WASP-189b, observado com o satélite CHEOPS da ESA.

Discussão

As respostas corretas estão indicadas abaixo:

- 3.1. 4,5 horas
- 3.2. 0.55%

Informação extra:

Ao analisar os dados reais, os seus alunos podem notar algumas diferenças entre os dados simulados e os dados reais. Os estudantes podem ter questões relativas ao ajuste ou às lacunas na curva da luz.

Cada curva deve ser construída a partir da função matemática que apresente o melhor ajuste possível a uma série de pontos de dados.

Há dois tipos de acontecimentos que ocorrem durante a órbita do CHEOPS que significam que por vezes não podemos medir continuamente a luz de uma estrela. Estes eventos criam lacunas na curva da luz:

- 1.ª situação: 'Ocultação da Terra'. Este fenómeno ocorre quando a luz da estrela é bloqueada pela Terra.
- 2.ª situação: ocorre quando o CHEOPS passa sobre uma região no Atlântico Sul onde os instrumentos mais sensíveis que se encontram a bordo do satélite sofrem grandes perturbações. O seu efeito é tão grande que os cientistas nem sequer tentam medir a luz da estrela quando o satélite passa por esta região.

Exercício 4 - Período orbital

Este exercício foca-se na forma como o período orbital pode ser determinado a partir de uma curva de luz.

Nota: o período orbital de um planeta é o tempo que o planeta leva para completar uma órbita completa em torno da sua estrela. Pode ser medido encontrando o centro de dois trânsitos consecutivos do mesmo exoplaneta e medindo o intervalo de tempo entre eles.

Discussão

As respostas corretas são indicadas abaixo.

- 4.1. 3 dias
- 4.2. Nesta resposta os estudantes devem ser capazes de descrever, pelas suas próprias palavras, que existem dois exoplanetas que podemos detetar a orbitar a mesma estrela neste sistema. A resposta também deve incluir que os mergulhos mais profundos na curva indicam um planeta maior que tem um período de 3 dias terrestres, bloqueando 2% da luz da estrela; e que os mergulhos mais rasos na curva indicam um planeta menor cujo período orbital de 2,5 dias terrestres bloqueia 1% da luz.

Nota: Se introduziu o conceito de que a luz bloqueada por um exoplaneta é proporcional a R_p^2/R_e^2 , então os estudantes devem ser capazes de identificar que o planeta maior é cerca de 1,4 vezes maior do que o planeta menor.

→ Atividade 2 - Ser um Detetive de Exoplanetas

Nesta atividade, os estudantes aplicam os conhecimentos adquiridos com a análise das curvas de luz anteriores e interpretam observações de um sistema exoplanetário feitas pelo CHEOPS, como se fossem verdadeiros cientistas.

Exercício 1: Descrever observações de exoplanetas

As frases devem ser completadas como se segue:

Quando um exoplaneta passa entre o satélite e a estrela, bloqueia uma pequena fracção da luz da estrela, provocando um mergulho na curva da luz. A isto chama-se um trânsito.

Se forem observadas múltiplas órbitas do mesmo exoplaneta, então o intervalo de tempo entre os mergulhos detetados na curva da luz torna-se uma medida direta do período orbital do planeta.

Um exoplaneta maior produz um mergulho mais profundo na curva de luz medida e um exoplaneta mais pequeno produz um mergulho mais superficial.

Os exoplanetas individuais podem ser distinguidos uns dos outros pela profundidade dos mergulhos que produzem na curva da luz, e pelo seu período orbital.

Se quiser desafiar os alunos da sua turma, pode pedir-lhes para escreverem as suas conclusões usando as suas próprias palavras. Enquanto discute as conclusões dos vossos alunos, certifique-se de que as observações e conclusões não são misturadas, e que as suas conclusões se seguem às observações.

Exercício 2: Observação de Exoplanetas

No segundo exercício, os estudantes são solicitados a interpretar dados CHEOPS reais tal como um cientista profissional o faria. Se alguns estudantes precisarem de assistência, poderá apoiá-los fazendo as perguntas abaixo indicadas para os ajudar a estruturar a interpretação da curva da luz.

1. Quantos exoplanetas tem o sistema observado?
2. Qual é o período/intervalo orbital de cada exoplaneta?
3. Quanta luz (em %) é bloqueada por cada exoplaneta?
4. Podes dizer algo sobre os tamanhos dos exoplanetas?
5. Vês mais alguma coisa perceptível? Tenta descrever usando as tuas próprias palavras e interpreta o que observas, se possível.

Informação extra: O sistema TOI-178 está localizado apenas a 205 anos-luz de distância da Terra. A missão CHEOPS da ESA revelou que se trata de um sistema planetário único constituído por seis exoplanetas, cinco dos quais estão aprisionados numa espécie de dança ritmada enquanto orbitam a sua estrela central. Note-se que, neste conjunto de dados, apenas 4 planetas são identificáveis (*b*, *c*, *d* e *e*).

Este fenómeno chama-se ressonância orbital, e explica a existência de padrões que se repetem à medida que os planetas giram à volta da estrela, com alguns planetas a alinharem-se entre si durante os seus movimentos orbitais. Pode visualizar este efeito nesta [animação](#) (ligue o som!).

Os dois planetas interiores (*b* e *c*) têm densidades semelhantes às da Terra, e os quatro planetas exteriores (*d*, *e*, *f* e *g*) são gasosos, com densidades semelhantes às de Neptuno e Júpiter.

Enquanto os planetas do sistema TOI-178 orbitam a sua estrela de uma forma muito ordenada, as suas densidades não seguem qualquer padrão particular. Um dos exoplanetas, um planeta denso e rochoso como a Terra, está mesmo ao lado de um planeta com dimensões semelhantes mas que apresenta uma densidade muito menor, como se fosse uma espécie de mini-Júpiter. Por sua vez, ao lado deste encontra-se um planeta muito semelhante a Neptuno.

Caracterização de exoplanetas que utilizam dados de satélite

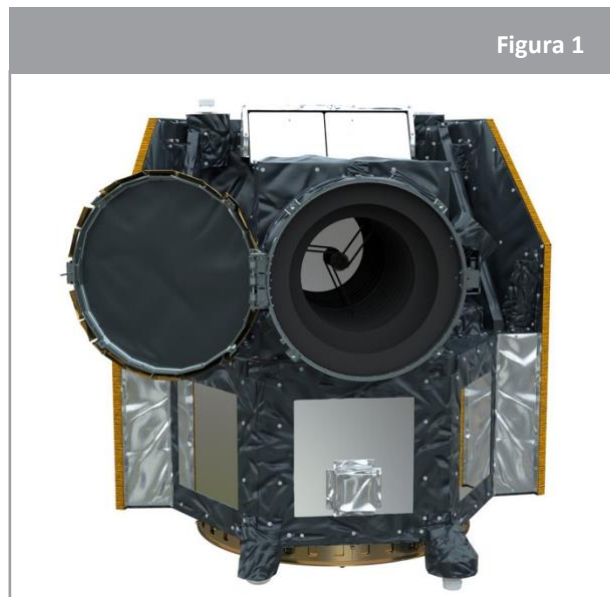
→ Introdução

O estudo de uma grande variedade de exoplanetas ajuda os cientistas a entender como os sistemas exoplanetários se formam e evoluem. Este é um passo importante no caminho para a compreensão do nosso próprio Sistema Solar e do nosso lugar no Universo.

Este conjunto de atividades faz uso de dados reais recolhidos pelo satélite CHEOPS da ESA (CHARacterising ExOPlanet Satellite).

Através da medição precisa das curvas de luz das estrelas próximas conhecidas por acolher um exoplaneta em trânsito, o CHEOPS pode determinar as dimensões destes exoplanetas. Combinando esta informação com outras medições, os cientistas serão capazes de determinar a densidade dos exoplanetas.

Em alguns casos específicos, podemos até determinar se um exoplaneta tem nuvens.



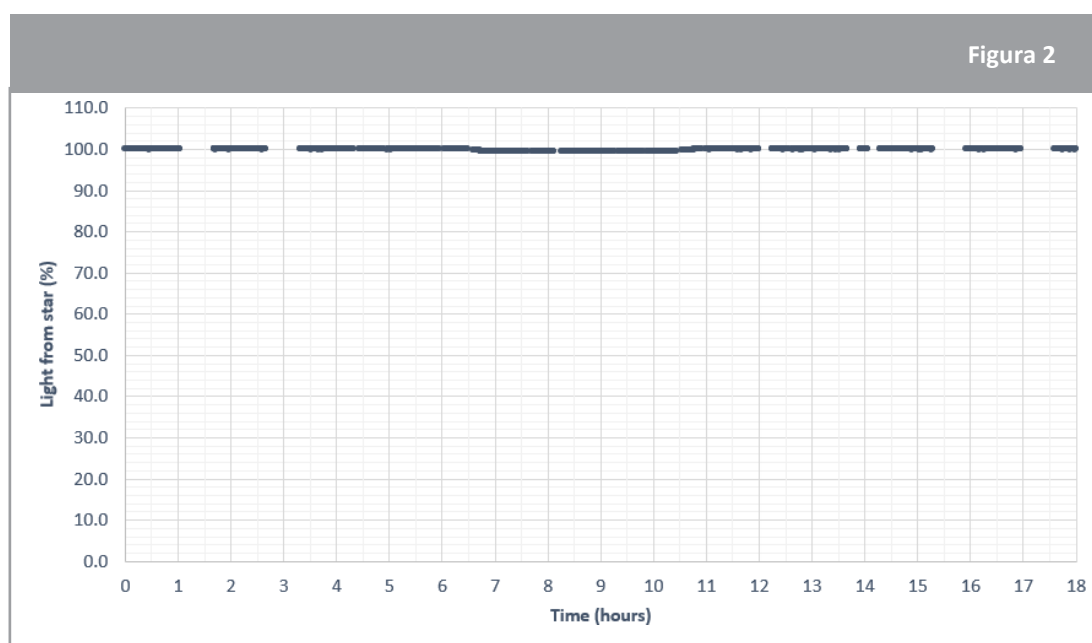
↑ satélite Cheops

→ Atividade 1: Compreender as Curvas de Luz

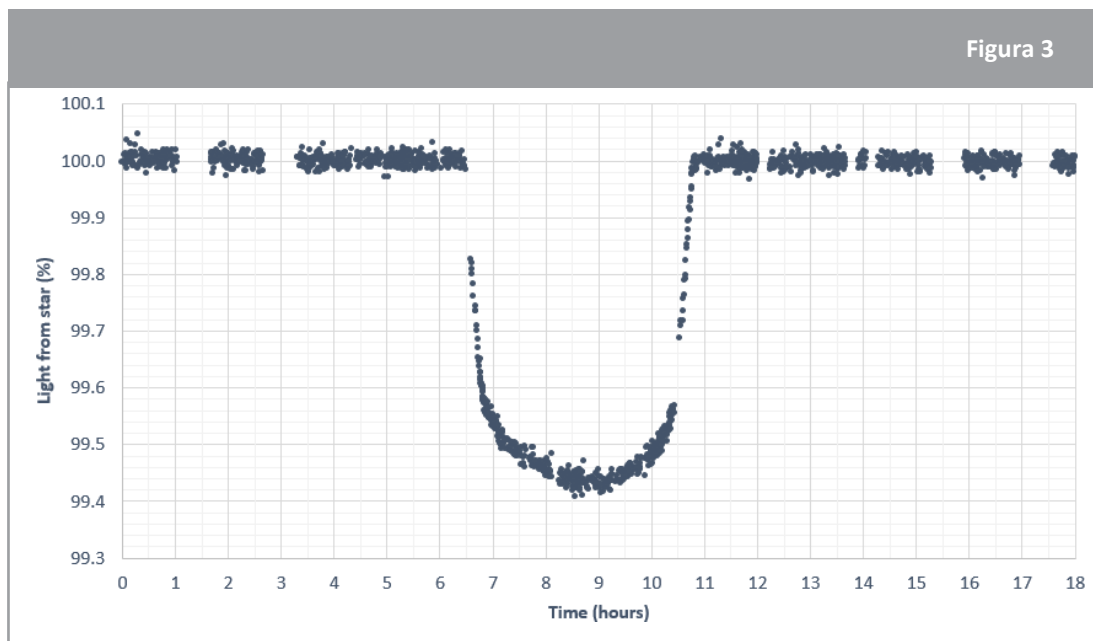
Quando um satélite observa os trânsitos exoplanetários, a profundidade, a forma e a posição do mergulho numa curva de luz, pode dar-nos informações sobre o sistema exoplanetário em questão. Esta atividade permite explorar esta ideia mais a fundo utilizando dados reais do satélite CHEOPS.

Exercício 1 - Gráficos de escalas

Os exoplanetas representam geralmente uma pequena fracção do tamanho da estrela que orbitam. Por exemplo, a Terra tem 1/100 do tamanho do Sol e Júpiter tem 1/100 do diâmetro do Sol. A quantidade de luz bloqueada é portanto frequentemente inferior a um por cento da luz total da estrela.



↑ curva de luz de trânsito do WASP 189b adquirido com o CHEOPS.



↑ a mesma curva de luz de trânsito de WASP 189b, mas usando uma escala diferente no eixo dos YY.

Considera a curva de luz de trânsito do exoplaneta WASP 189b, obtida com o CHEOPS, representada na Figura 2 e na Figura 3:

1.1. É possível identificar o trânsito do exoplaneta tanto na Figura 2 como na Figura 3?

1.2. Compara ambos os gráficos e descreve as diferenças abaixo:

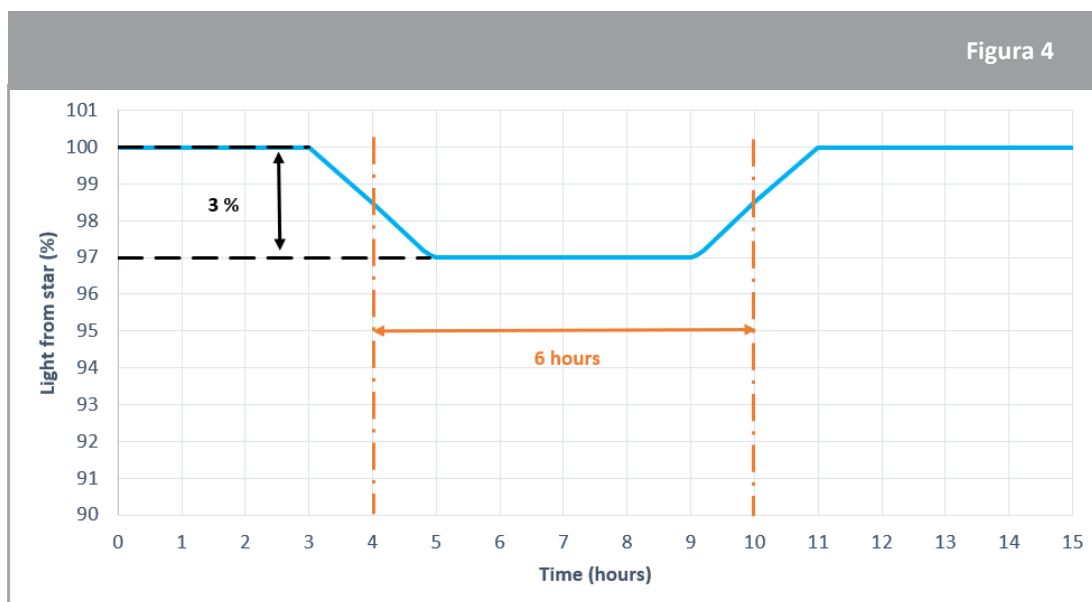
Sabias que:

WASP 189b é um grande exoplaneta gasoso, cerca de 1,5 vezes maior do que Júpiter. Este exoplaneta gigante demora cerca de 2,7 dias terrestres a orbitar uma estrela que tem quase 2,5 vezes o tamanho do nosso Sol. A temperatura desta última à superfície é superior em 2.000 °C à do Sol.



Exercício 2 - Interpretação de curvas de luz

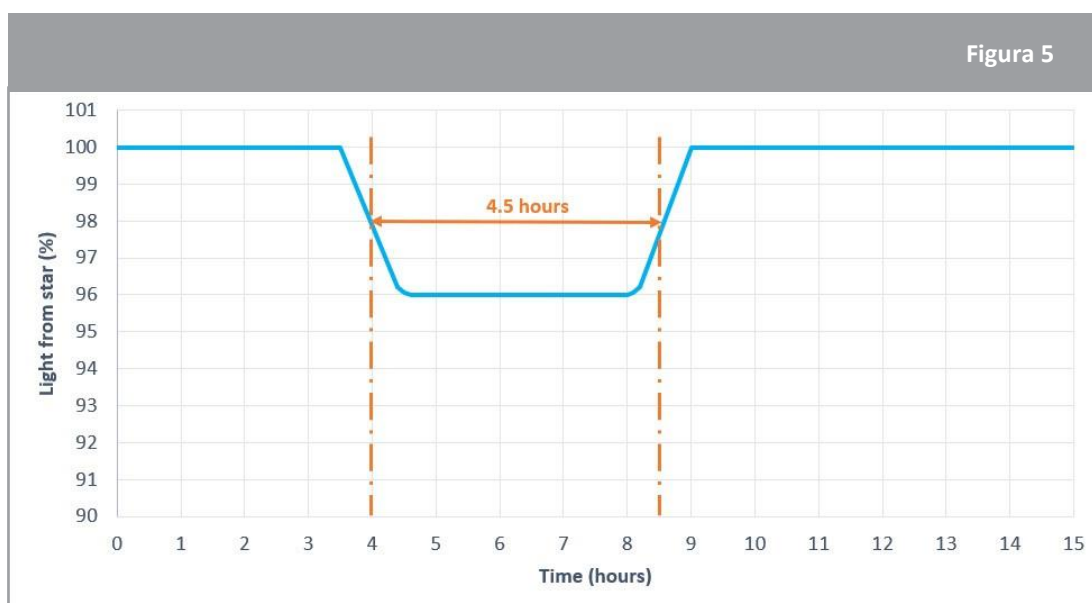
Segue-se a representação simplificada da curva de luz de uma estrela medida no momento do trânsito de um exoplaneta. As linhas a tracejado ilustram como se podem determinar algumas das informações básicas sobre o sistema exoplanetário a partir do gráfico:



↑ Exemplo de uma curva de luz simulada.

A partir desta curva da luz, podemos concluir que o exoplaneta que foi observado levou 6 horas a passar à frente da estrela, tendo bloqueado 3% da sua luz.

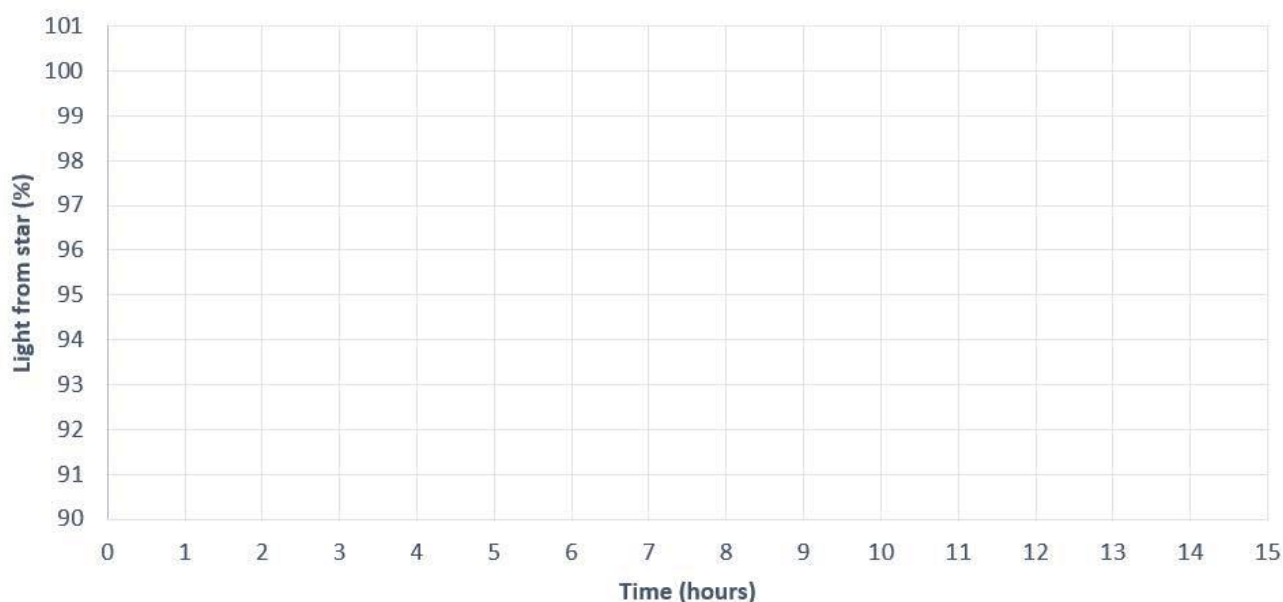
2.1. Examina a curva da luz na Figura 5 e preenche a informação em falta:



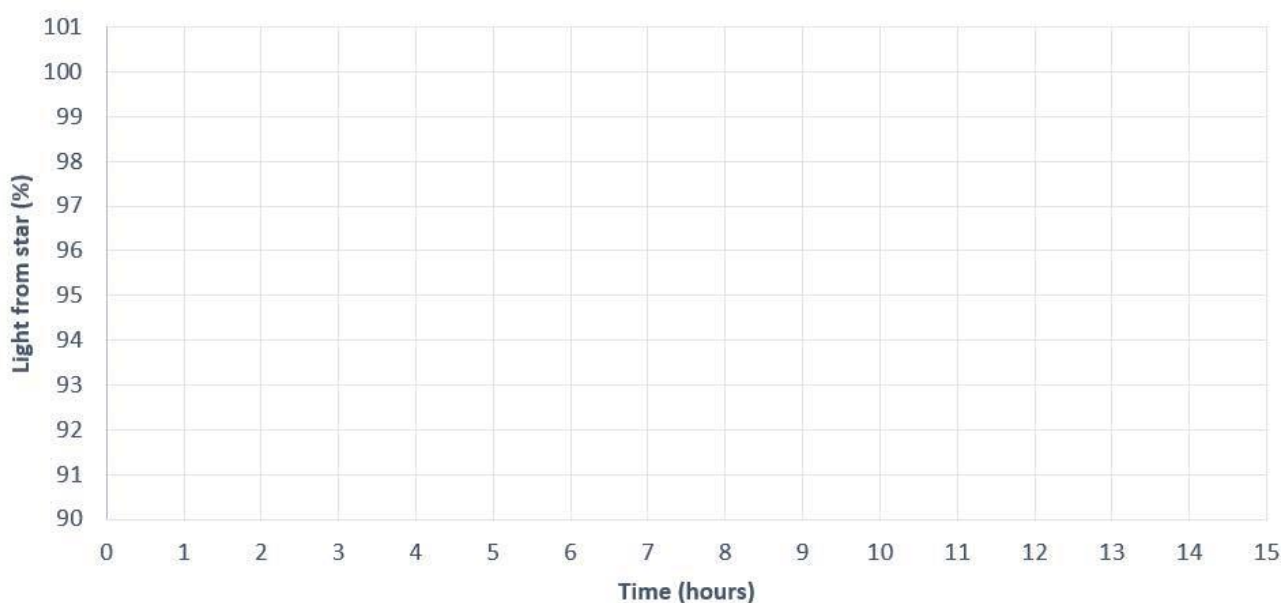
↑ Curva de luz simulada.

O exoplaneta que foi observado para produzir esta curva de luz levou ____ horas a passar à frente da estrela, e bloqueou ____% da sua luz.

2.2. Traça a curva de luz esperada para um exoplaneta que tenha o mesmo tamanho que o da Figura 5, mas que demore mais duas horas a transitar:

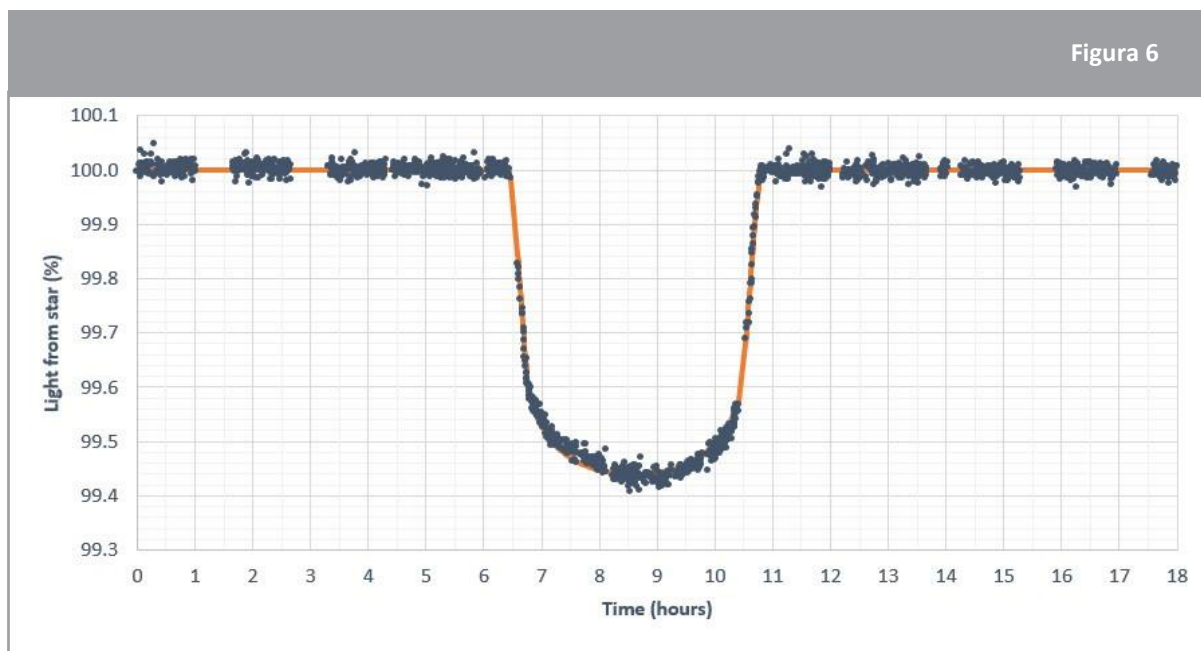


2.3. Traça a curva da luz para um exoplaneta diferente que orbite a mesma estrela da Figura 5. O exoplaneta em questão deverá ser maior do que o anterior e deverá bloquear o dobro da luz. Assume que o exoplaneta leva o mesmo tempo a transitar a estrela que o da Figura 5:



Exercício 3 - Interpretação de dados de satélite reais

Usando os conhecimentos adquiridos, podes agora analisar a curva de luz de trânsito do exoplaneta WASP 189b obtida pelo CHEOPS que viste anteriormente nesta atividade (Figura 3).



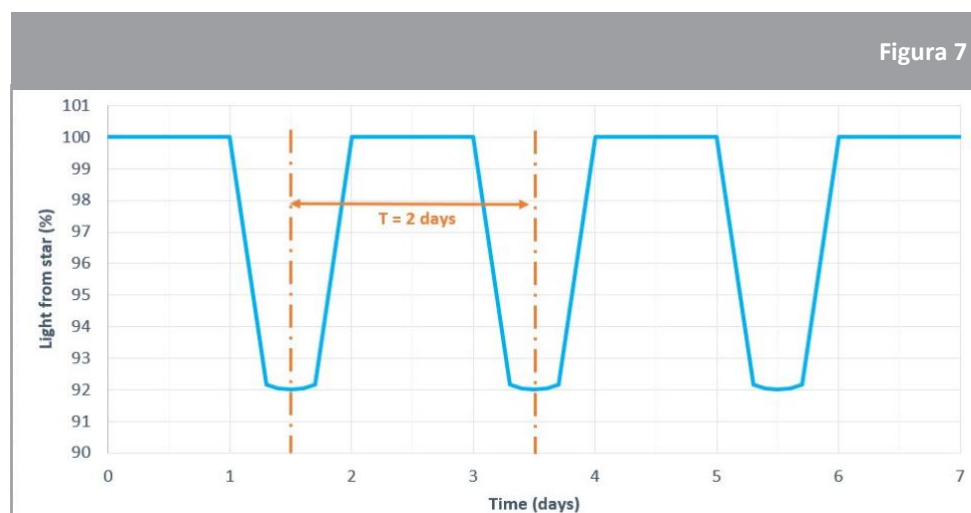
↑ curva de luz de trânsito do WASP 189b, incluindo o modelo mais adequado.

- 3.1. Aproximadamente quanto tempo demora o WASP 189b a transitar a sua estrela anfitriã? ____
- 3.2. Aproximadamente que percentagem da luz estelar bloqueia o WASP 189 b? _____

Exercício 4 - Período orbital

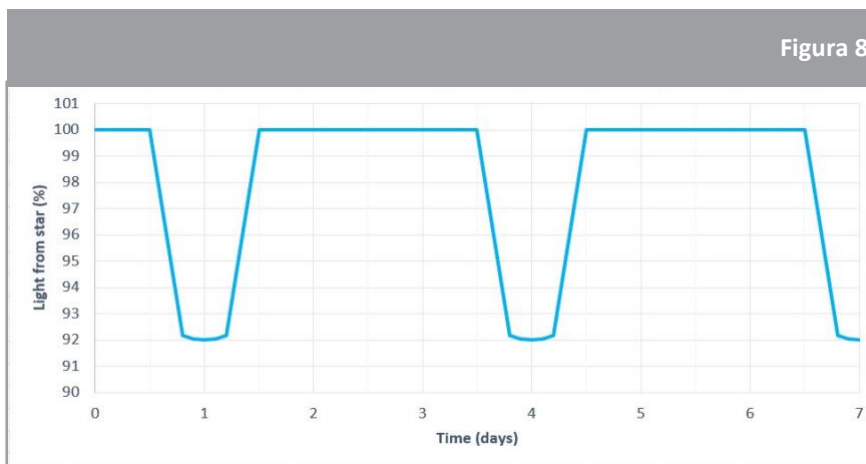
Por cada vez que um exoplaneta transita a sua estrela hospedeira, há um mergulho na curva de luz desta última. Se uma estrela for observada durante tempo suficiente para o exoplaneta completar mais do que uma órbita, haverá mais do que um mergulho na curva de luz. O intervalo de tempo que decorre entre o mergulho inicial e o mergulho seguinte corresponde ao **período orbital (T)** do exoplaneta.

A Figura 7 é uma curva de luz simulada com a duração de 1 semana. Durante este tempo, um planeta fictício transitou três vezes a sua estrela. Medindo a distância entre os mergulhos na curva de luz, vemos que o período orbital do exoplaneta é de 2 dias.



↑ Curva de luz simulada, incluindo múltiplos trânsitos.

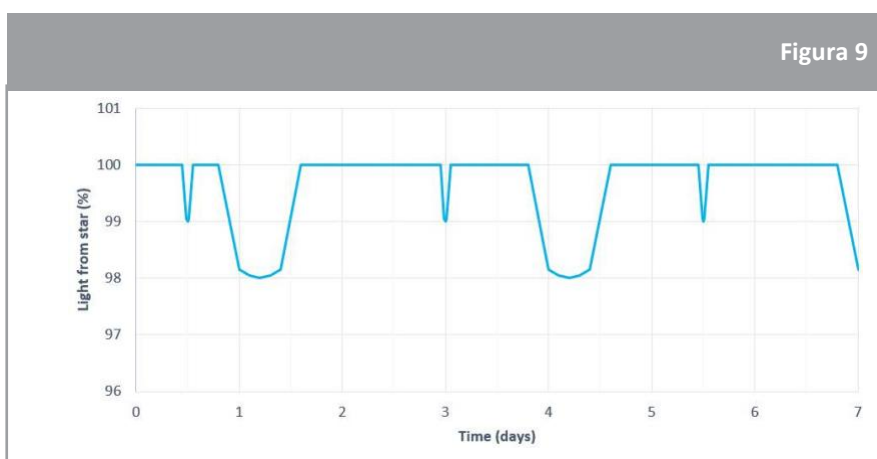
4.1. Examina a Figura 8:



↑ Esboço simplificado de uma curva de luz.

Qual é o período orbital dos exoplanetas cujos trânsitos são vistos na curva de luz da Figura 8?

4.2. Usando as competências que tens vindo a desenvolver nesta atividade, o que podes dizer sobre o sistema exoplanetário que produz a curva de luz representada na Figura 9?



↑ Esboço simplificado de uma curva de luz com múltiplos trânsitos.

→ Atividade 2 - Ser um Detetive de Exoplanetas

Podes agora analisar observações reais como um verdadeiro cientista de exoplanetas e resumir tudo o que aprendeste. Irás comparar as observações realizadas com o teu próprio modelo de sistema exoplanetário com as dos sistemas exoplanetários reais obtidas com o CHEOPS.

Exercício 1: Descrever observações de exoplanetas

Completa o texto seguinte preenchendo os espaços vazios recorrendo apenas às palavras que se encontram dentro da caixa. Cada palavra só pode ser usada uma vez.

| | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| <i>satélite</i> | <i>maior</i> | <i>mais superficial</i> | <i>estrela</i> | <i>trânsito</i> |
| <i>período</i> | <i>órbitas</i> | <i>profundidade</i> | <i>mais pequeno</i> | <i>intervalo de tempo</i> |

Quando um exoplaneta passa entre o _____ e a estrela, bloqueia uma pequena fracção da luz da _____, provocando um _____ na curva da luz. A isto chama-se um _____.

Se forem observadas múltiplas _____ do mesmo exoplaneta, então o _____ entre os mergulhos detetados na curva de luz torna-se uma medida direta do período orbital do planeta.

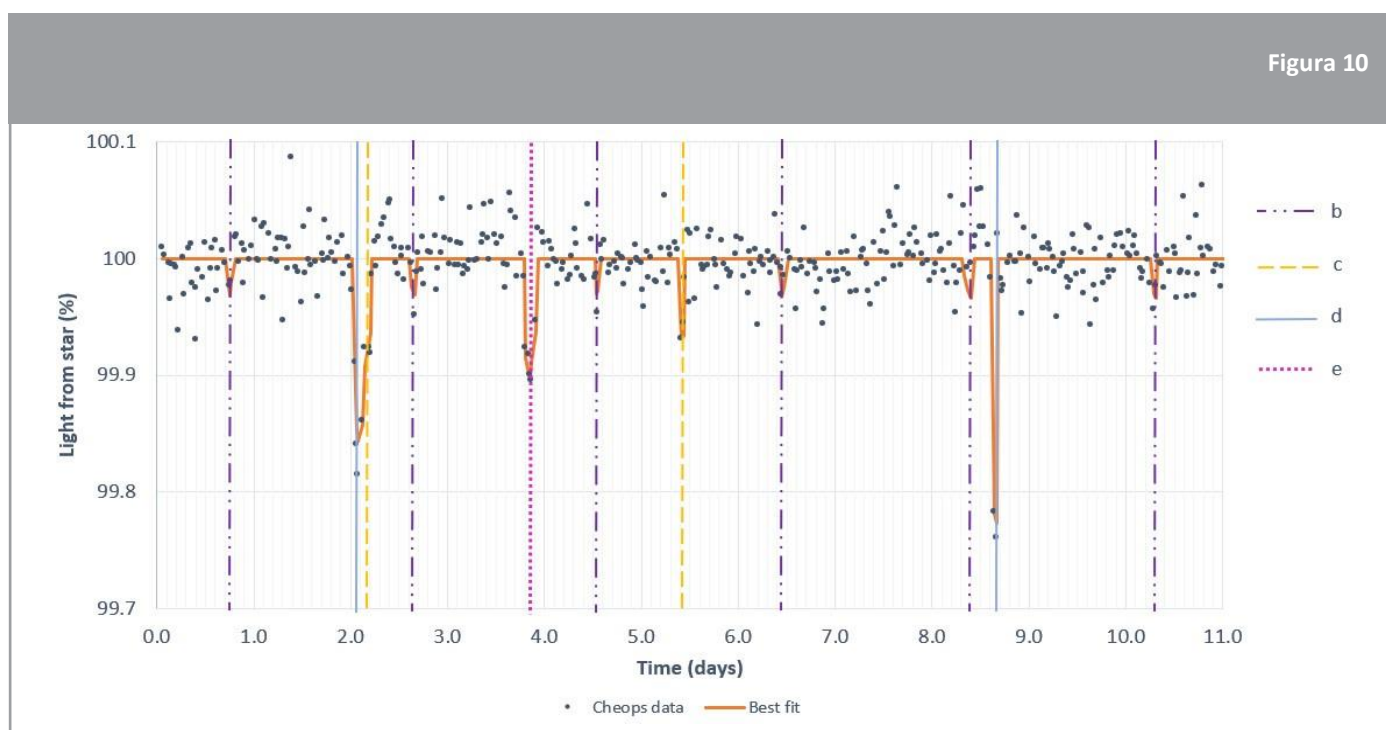
Um exoplaneta _____ produz um mergulho mais profundo na curva de luz medida e um exoplaneta _____ produz um mergulho _____.

Os exoplanetas individuais podem ser distinguidos uns dos outros pela _____ dos mergulhos que produzem na curva da luz, e pelo seu _____ orbital.

Exercício 2: Observação de Exoplanetas

Estás agora pronto para interpretar a curva de luz do sistema TOI-178, observado durante um período de 11 dias pelo CHEOPS.

Analisa a curva da luz na Figura 10 e descreve quais as informações que se podem obter a partir deste conjunto de dados.



↑ Curva de luz do sistema TOI-178 observado pelo CHEOPS.

→ Links

Recursos da ESA

[Recursos educativos para a sala de aula](#)

[Ensinar com Exoplanetas](#)

[Conhece o CHEOPS, o Satélite Caracterizador de Exoplanetas](#)

[Outros Mundos, da série 'Conhece os Peritos'](#)

[Paxi explora exoplanetas!](#)

[Hack an Exoplanet](#)

Projetos espaciais da ESA

[Cronograma das missões exoplanetárias da ESA](#)

[CHEOPS - CHaracterising ExOPlanet Satellite](#)

[Telescópio Espacial James Webb: Webb, Seeing farther](#)

[Recursos educativos sobre o James Webb no ESERO PT](#)

[Deteção de exoplanetas com a missão Gaia](#)

[PLATO - PLANetary Transits and Oscillations of stars](#)

[ARIEL - Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey](#)

Informação adicional

[Animação artística das órbitas e ressonâncias do sistema TOI-178](#)