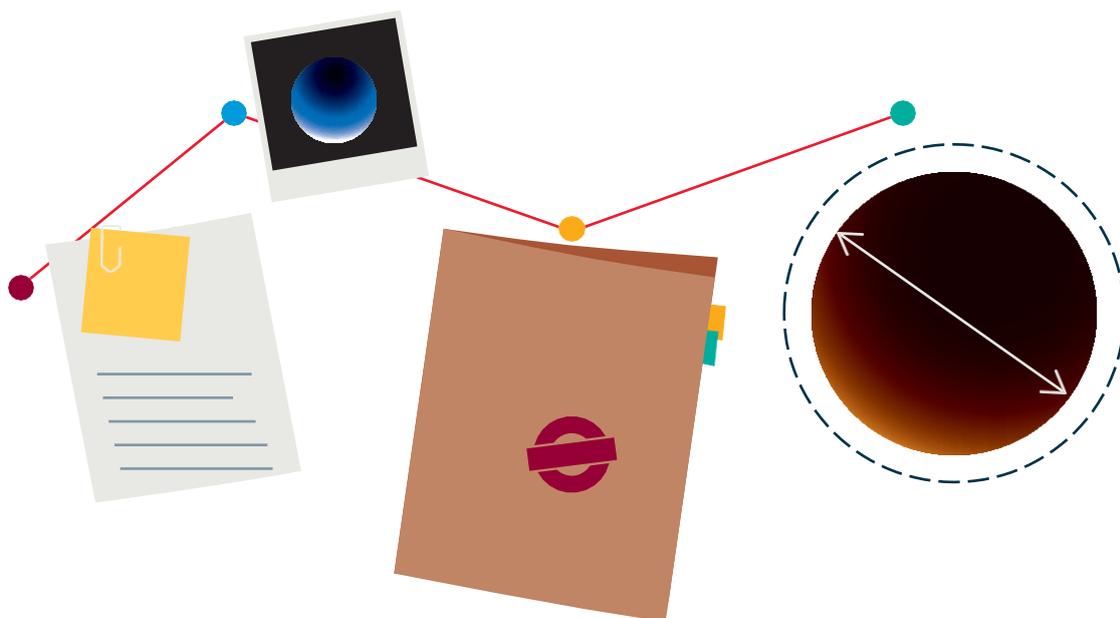


# ensinar com espaço

## → HACKEAR UM EXOPLANETA

Torna-te um Detetive Espacial





## GUIA DO PROFESSOR

<i>Factos rápidos</i> .....	03
<i>Introdução</i> .....	04
<i>Actividade</i> .....	05
<i>Desafio 1: Análise dos dados KELT-3b</i> .....	07
<i>Desafio 2: Análise dos dados TOI-560c</i> .....	13
<i>Ligações</i> .....	14
<i>Anexos</i> .....	15

**ensinar com espaço - hack an exoplanet | P39**

[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

**O Gabinete de Educação da ESA agradece reacções e comentários**

[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

**Uma produção da ESA Educação em colaboração com a ESA Ciência**

Copyright 2023 © Agência Espacial Europeia

# → HACKEAR UM EXOPLANETA

## Torna-te um detetive espacial

### Factos rápidos

**Assunto:** Física, Matemática, Astronomia

**Faixa etária:** 14 - 19 anos de idade

**Tipo:** actividade para os estudantes e/ou hackathon

**Complexidade:** média

**Tempo de preparação do professor:** 1 hora

**Tempo de aula necessário:** 90 minutos por desafio (3 horas no total)

**Custo:** baixo (0-10 euros)

**Localização:** sala de aula

**Faz uso de:** computador (se não for possível é sugerida uma alternativa)

**Palavras-chave:** Física, Matemática, Astronomia, Exoplanetas, Trânsitos

### Breve descrição

Nesta actividade, os estudantes irão caracterizar dois exoplanetas através da análise dos dados adquiridos pelo satélite Cheops da ESA. Os estudantes trabalharão como verdadeiros cientistas e ajustarão um modelo aos dados para obterem os parâmetros mais adequados.

A actividade pode ser completada utilizando um formato guiado ou num formato de aprendizagem baseado em projectos, por exemplo, numa hackathon. O guia do professor apresenta ambas as opções.

As actividades são complementadas com explicações em vídeo preparadas por peritos em exoplanetas.

### Objetivos de aprendizagem

- Trabalhar cientificamente com dados de satélite reais.
- Aplicar técnicas de análise de dados matemáticos ajustando um modelo a dados reais.
- Aplicar a Terceira Lei de Kepler e aprender sobre mecânica orbital.
- Compreender o que é um trânsito de um exoplaneta.
- Desenvolver competências de trabalho em equipa numa situação com tempo limitado.

### Também precisa de

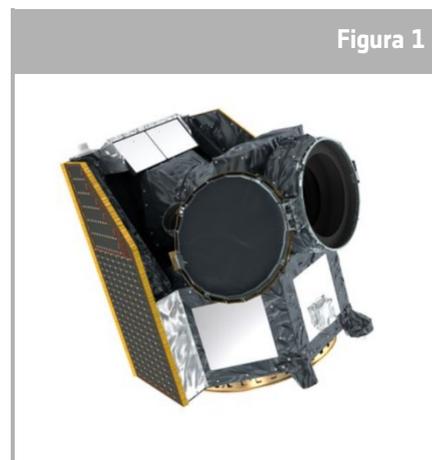
Materiais de vídeo de apoio. Ver secção *Ligações*.

- Introdução ao *Hack an Exoplanet* - torna-te um detetive de exoplanetas
- *Allesfitter* mini tutorial - guia passo a passo sobre como ajustar o melhor modelo aos dados
- Como determinar o tamanho de um exoplaneta
- O período orbital e a distância de um exoplaneta, utilizando a Terceira Lei de Kepler
- Os exoplanetas podem ser habitáveis?
- De que são feitos os exoplanetas?

## → Introdução

Esta atividade educativa foi desenvolvida no contexto da primeira hackathon da ESA Education para estudantes do ensino secundário: "**Hack an Exoplanet**". Estes desafios permitem aos estudantes utilizar dados de satélite reais para investigar mundos extraterrestres e tornarem-se detetives de exoplanetas durante um dia.

Em Janeiro de 2023, o satélite Cheops da ESA (CHaracterising ExOPlanet Satellite) observou dois exoplanetas, KELT-3b e TOI-560c, especificamente para esta atividade. Ao analisar os dados do Cheops, os estudantes podem juntar-se aos cientistas da ESA na procura de respostas e ajudá-los a compreender estes dois misteriosos mundos alienígenas.



↑ Impressão artística do Cheops.

Os desafios são atividades práticas em que se espera que os estudantes analisem os dados fornecidos pelo satélite Cheops da ESA. Os estudantes terão de caracterizar as principais propriedades dos exoplanetas, fazendo uso dos materiais de apoio e da versão educacional do software de modelação dos dados, *allesfitter*, preparada especificamente para estes conjuntos de exoplanetas. As atividades são acompanhadas de explicações e exemplos escritos e em vídeo, preparados por especialistas em exoplanetas.

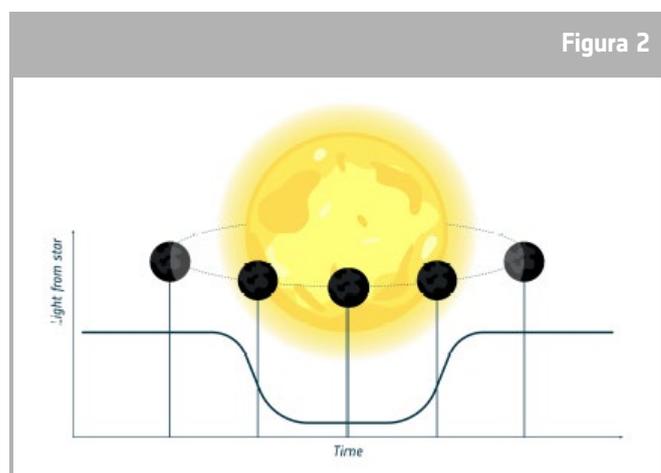
As atividades podem ser apresentadas utilizando um formato guiado ou num formato de aprendizagem baseado em projetos, por exemplo, numa hackathon. O guia do professor apresenta ambas as opções.

### O que é um exoplaneta?

Os exoplanetas, ou planetas extra-solares, são planetas fora do nosso próprio Sistema Solar orbitando uma estrela que não o nosso Sol.

### Como é que estudamos os exoplanetas?

Existem actualmente mais de 5000 exoplanetas confirmados, em aproximadamente 4000 sistemas estelares, mas os exoplanetas são difíceis de detetar. O sinal que recebemos de um exoplaneta é muito pequeno em comparação com o sinal muito maior proveniente das estrelas que eles orbitam, tipicamente menor que 1%.



↑ Representação do método de fotometria de trânsito.

Existem diferentes métodos para detetar e caracterizar exoplanetas, nesta atividade utilizaremos o **método da fotometria de trânsito**. Este é o método mais comum para encontrar os exoplanetas.

**Fotometria** - a palavra fotometria vem do grego: foto "luz" e metria "medida". É uma técnica utilizada em astronomia para medir a luz das estrelas de uma forma quantitativa.

**Trânsito** - o exoplaneta é detetado medindo o escurecimento na luz que vem da estrela.

## → Atividade

A atividade *Hack an Exoplanet* é composta por dois desafios. O primeiro desafio é a análise do trânsito na curva de luz do exoplaneta gigante KELT-3b. Seguindo as instruções no material de apoio e/ou seguindo a informação nos vídeos de instrução, os alunos poderão derivar as propriedades de KELT-3b. O segundo desafio é a análise do trânsito na curva de luz do exoplaneta, mini-Neptuno, TOI-560c. Após completar o processo para KELT-3b, os estudantes devem ser capazes de completar a análise de dados de TOI-560c de forma autónoma, seguindo um processo semelhante.

## Equipamento

- Computador com acesso à Internet para aceder ao software *allesfitter*. Se este passo não for possível, as equipas podem utilizar os parâmetros fornecidos no **Anexo 1** – Trânsito na curva de luz do exoplaneta KELT-3b e **Anexo 2** – Trânsito na curva de luz do exoplaneta TOI-560c
- Ficha de trabalho do aluno impressa para cada grupo, inclui:
  - Mapa de investigação de um exoplaneta
  - Ficheiros para KELT-3b e TOI-560c
  - Informação sobre os planetas do Sistema Solar
  - Guia passo-a-passo sobre o *allesfitter*
- Calculadora (opcional)
- Esta atividade tem também seis vídeos de apoio para orientar as equipas (ver secção *Ligações*):
  - Introdução ao Hack an Exoplanet - torna-te um detetive de exoplanetas
  - *Allesfitter* mini tutorial - guia passo a passo sobre como ajustar o melhor modelo aos dados
  - Como determinar o tamanho de um exoplaneta
  - O período orbital e a distância de um exoplaneta, utilizando a Terceira Lei de Kepler
  - Os exoplanetas podem ser habitáveis?
  - De que são feitos os exoplanetas?

A informação fornecida nos vídeos é também apresentada neste guia do professor.

## Exercício:

Os dados para os dois desafios foram obtidos pelo satélite Cheops da ESA a 22 e 23 de Janeiro de 2023, especificamente para esta atividade educativa. Os dados foram processados por peritos da ESA e estão prontos para serem utilizados pelos estudantes.

Esta atividade pode ser apresentada utilizando um formato guiado ou num formato de aprendizagem baseado em projetos, por exemplo, numa hackathon. O guia do professor apresenta ambas as opções.

Recomendamos a realização desta atividade em equipas de 3 a 4 estudantes. Isto permitirá aos estudantes debater a melhor abordagem para completar cada desafio e discutir os resultados.

**Nota:** se a análise dos dados for demasiado complexa, as equipas também podem completar o ficheiro de cada exoplaneta através da pesquisa online da informação.

## Formato guiado

- Comece por introduzir o tema dos exoplanetas na aula. Sugerimos a utilização deste vídeo introdutório: *Introdução ao Hack an Exoplanet*.
- Dividir a turma em equipas de 3 a 4 alunos.
- Apresentar o desafio aos estudantes. Cada equipa terá de caracterizar as principais propriedades do exoplaneta KELT-3b, completando o ficheiro disponível nas suas folhas de trabalho. As equipas terão de determinar o tamanho, período orbital, distância orbital, temperatura, e composição de KELT-3b, e comparar as suas propriedades com os planetas do nosso Sistema Solar. O mapa de investigação de exoplanetas fornece mais informação para cada propriedade mencionada.
- Distribuir a documentação de apoio às equipas e dar-lhes alguns minutos para a sua análise.
- Estabelecer um tempo para as equipas determinarem cada propriedade do exoplaneta. ***Antes das equipas*** iniciarem o seu trabalho para determinar cada característica, apresentar-lhes o respectivo vídeo de apoio. Os vídeos de apoio incluem informações sobre como determinar cada propriedade e a solução para o exoplaneta KELT-3b.
- Certifique-se de que as equipas compreendem como determinar cada parâmetro antes de passar para o parâmetro seguinte.
- Após determinar todos os parâmetros, as equipas devem apresentar e discutir as suas conclusões com a turma.
- Como passo seguinte as equipas podem completar o *Desafio 2* e determinar as características do exoplaneta TOI-560c.

## Formato baseado num projeto - hackathon

- Dividir a turma em equipas de 3 a 4 alunos.
- Comece por introduzir o conceito de hackathon aos estudantes, utilizando este vídeo introdutório: *Introdução ao Hack an Exoplanet*
- Pode deixar as equipas realizarem os desafios de forma autónoma (por exemplo como trabalho de casa ou como um projeto de sala de aula) ou acompanhando os alunos em sala de aula ou num evento escolar conjunto.
- Se necessário, reforçar o conceito do desafio para os estudantes. Cada equipa terá de caracterizar as principais propriedades do exoplaneta KELT-3b, completando o ficheiro disponível nas suas folhas de trabalho. As equipas terão de determinar o tamanho, período orbital, distância orbital, temperatura, e composição de KELT-3b, e comparar as suas propriedades com os planetas do nosso Sistema Solar. O mapa de investigação de exoplanetas fornece mais informação para cada propriedade mencionada.
- Distribuir a documentação de apoio às equipas e dar-lhes um prazo para completar o desafio na totalidade, sugerimos cerca de 90 minutos para a análise do KELT-3b.
- Para garantir que as equipas tenham um progresso constante, pode definir um prazo para a determinação de cada característica ou mostrar o vídeo de apoio relevante e fornecer dicas em momentos específicos. Os vídeos de apoio incluem informações sobre como determinar cada propriedade e a solução para o exoplaneta KELT-3b.
- Depois de determinar todos os parâmetros, as equipas devem apresentar e discutir as suas conclusões com todo o grupo.
- Como passo seguinte as equipas podem completar o *Desafio 2* e determinar as características do exoplaneta TOI-560c.

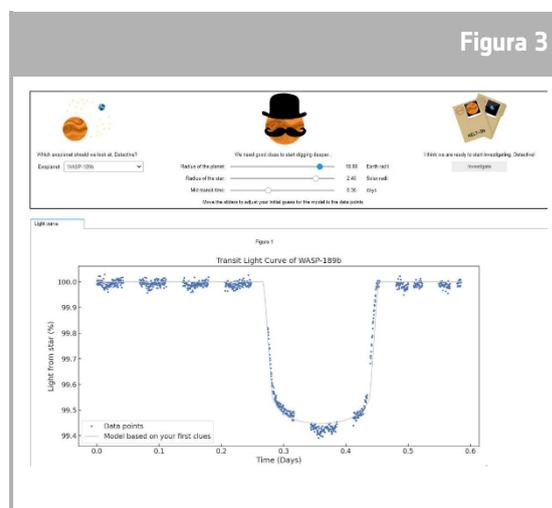
## → Desafio 1 - Análise dos dados KELT-3b

### Acesso aos dados de satélite

Os dados podem ser acedidos seguindo esta ligação: [hackanexoplanet.esa.int/allesfitter](http://hackanexoplanet.esa.int/allesfitter)

Esta versão do *allesfitter* é uma aplicação online que fornece acesso fácil e gratuito aos dados de satélite do Cheops, permitindo que múltiplos exoplanetas sejam modelados a partir de medições do trânsito numa curva de luz. Pode ser acedido a partir de um browser no computador.

Para calcular os parâmetros do modelo que melhor se ajusta aos dados, os estudantes devem seguir o guia passo a passo *allesfitter* na folha de trabalho do estudante ou seguir o tutorial em vídeo. Este guia fornecerá instruções sobre como utilizar a versão educacional baseada da ferramenta *allesfitter*. Esta versão da ferramenta já tem os dados de satélite em memória, e apenas permite a exploração de parâmetros específicos: raio do planeta, raio estelar e tempo de trânsito médio.



↑ Interface *Allesfitter*.

**Nota:** Se este passo não for possível, as equipas podem utilizar os parâmetros fornecidos no **Anexo 1** - Trânsito na curva de luz do exoplaneta KELT-3b e **Anexo 2** - Trânsito na curva de luz do exoplaneta TOI-560c.

## Como determinar o tamanho de um exoplaneta?

Ao utilizar o método da fotometria de trânsito, o telescópio mede a quantidade de luz estelar durante um período de tempo. Os cientistas adaptam modelos aos dados para tentar detetar variações na luz estelar que poderiam ser causadas por um exoplaneta.

Ao utilizar o método da fotometria de trânsito, não detetamos directamente o exoplaneta (excepto em casos muito específicos). Em vez disso, medimos a quantidade de luz estelar que o exoplaneta está a bloquear quando passa entre a estrela e o telescópio.

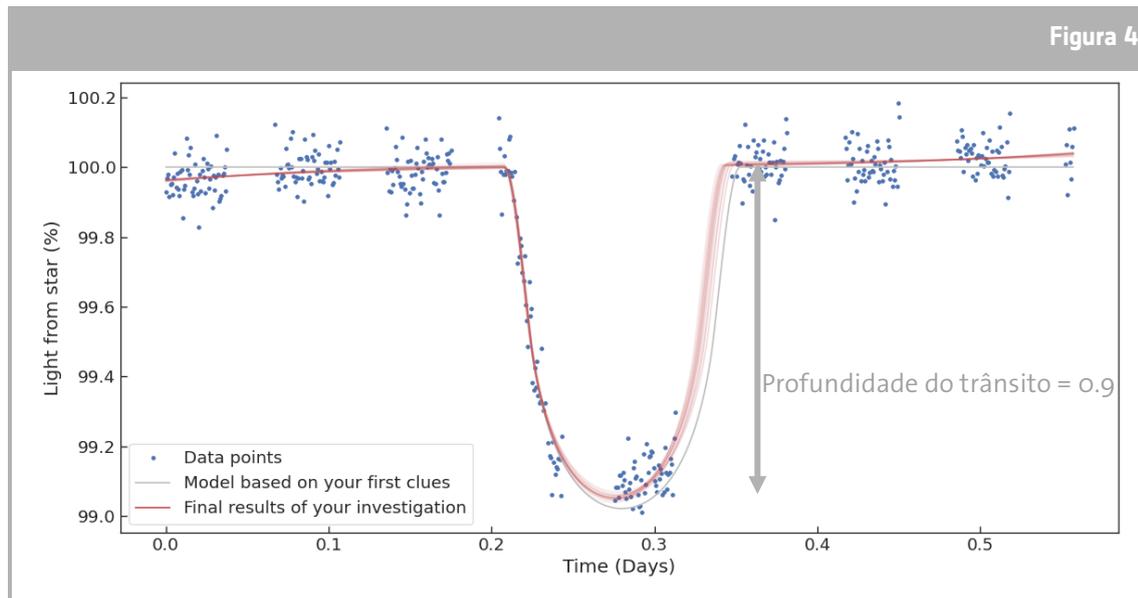
A quantidade de luz da estrela que o exoplaneta bloqueia é normalmente referida como a profundidade do trânsito. E este valor é proporcional à área projectada do exoplaneta.

É possível determinar o raio do exoplaneta ( $R_p$ ) se se conhecer o raio da estrela ( $R_s$ ) e a profundidade do trânsito:

$$\text{profundidade do trânsito (\%)} \approx \frac{\pi \cdot R_p^2}{\pi \cdot R_s^2} \times 100$$

## Exemplo KELT-3b:

Vamos agora analisar os dados de KELT-3b como exemplo.



↑ KELT-3b dados do Cheops com o melhor modelo calculado pelo *allesfitter*.

O raio da estrela KELT-3 é conhecido e fornecido no ficheiro:  $R_s = 1.70 R_{Sol}$

Através da análise dos dados do Cheops podemos medir a profundidade do trânsito em cerca de 0.9% (Figura 4).

$$\text{Usando a equação acima: } R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{profundidade do trânsito}}{100}} = \sqrt{1.70^2 \times \frac{0.9}{100}} = 0.161 R_{Sol}$$

$$\text{Conversão para unidades de raios da Terra: } R_p = 0.161 \times 109 = \mathbf{17.5 R_{Terra}}$$

Quando os estudantes executam o software *allesfitter*, obtêm um valor mais realista para o raio. Este valor pode ser significativamente diferente desta simples estimativa. Nesta versão do *allesfitter*, os estudantes só podem variar três parâmetros, mas o modelo que o software utiliza é mais complexo e ajusta-se aos dados com vários parâmetros escondidos que podem fornecer um ajuste mais completo aos dados.

## Como determinar o período orbital e a distância, usando a Terceira Lei de Kepler

O período orbital,  $T$ , de um planeta é o tempo que o planeta leva para completar uma órbita completa em torno da sua estrela. Este valor pode ser medido encontrando o tempo médio de trânsito (o centro do trânsito) de dois trânsitos consecutivos do mesmo exoplaneta e medindo o intervalo de tempo entre eles.

Para estas observações temos apenas um trânsito, mas podemos extrapolar o período orbital

comparando os dados observacionais actuais com os dados observacionais anteriores encontrados no arquivo de dados.

Após conhecer o período orbital do exoplaneta, podemos usar a Terceira Lei de Kepler para derivar a distância orbital média,  $d$ , entre o planeta e a estrela.

$$T^2 = \left( \frac{4\pi^2}{GM_s} \right) d^3$$

Onde  $G$  é a constante gravitacional e  $M_s$  é a massa da estrela.

### Exemplo KELT-3b:

Vamos agora analisar os dados do KELT-3b como exemplo. Neste exercício, os estudantes devem prestar muita atenção às unidades.

- A constante gravitacional em unidades SI é  $G = 6.67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- A massa da estrela KELT-3 é conhecida:  $M_s = 1.96 M_{Sun}$
- Precisamos de converter a sua massa em unidades SI:  $M_s = 3.90 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Com base no modelo adequado, aprendemos que o período orbital,  $T = 2.70339 \text{ dias}$ . Convertendo o período orbital em segundos:  $T = 233573 \text{ s}$

Temos agora toda a informação necessária para determinar a distância entre a estrela e o exoplaneta.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6.67430 \times 10^{-11} \times 3.90 \times 10^{30}}{4\pi^2} 233573^2} = 7.112 \times 10^9 \text{ m} = \mathbf{0.048 \text{ au}}$$

Vamos agora comparar o período do KELT-3b e a distância orbital média com os planetas do nosso Sistema Solar:

Quadro 1		
Planeta	Período (dias)	Distância orbital média (au)
KELT-3b	2.70339	0.048
Mercúrio	87.97	0.4
Terra	365.25	1
Neptuno	60266.25	30

[↑ Comparação do período e da distância orbital média para KELT-3b e planetas no Sistema Solar](#)

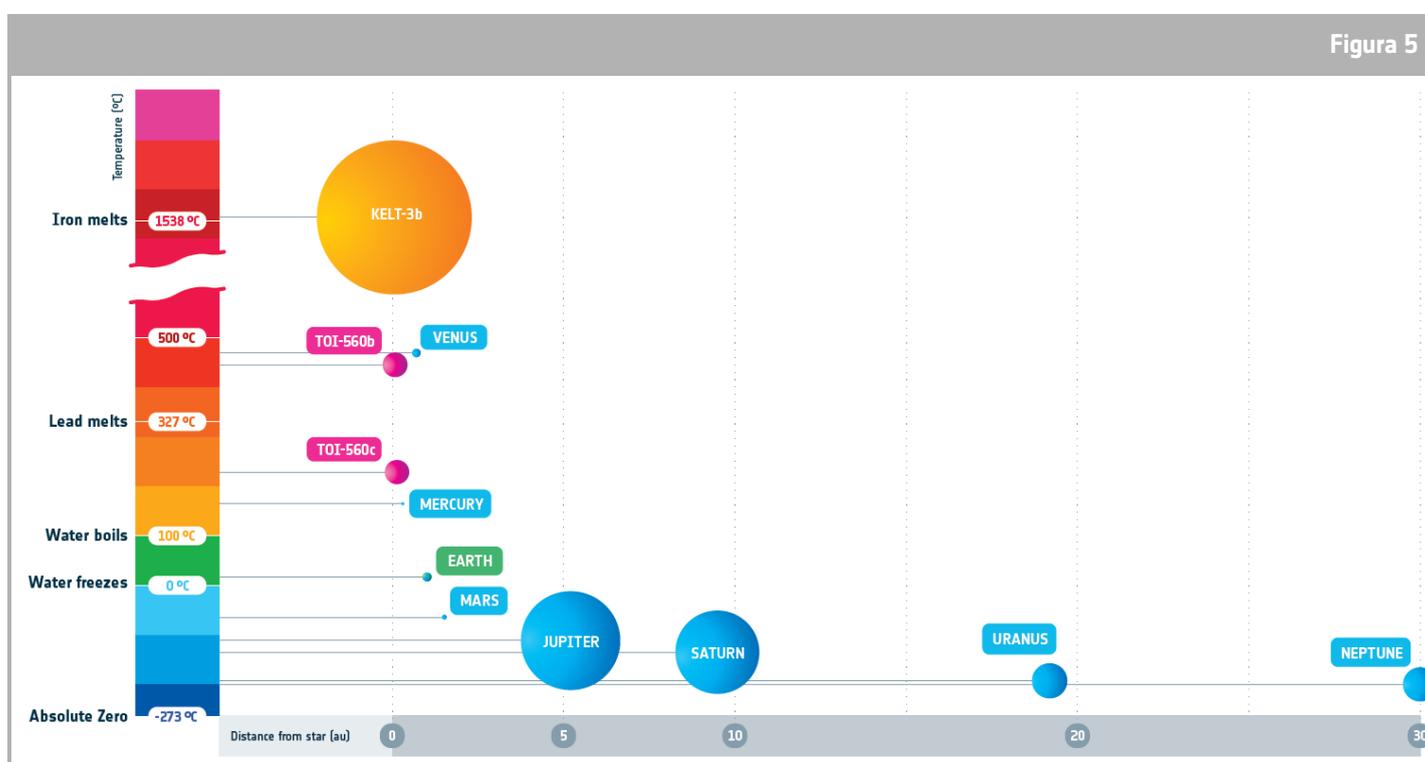
KELT-3b tem um período orbital muito mais curto do que Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol no nosso Sistema Solar, devido à pequena distância do exoplaneta à sua estrela. O método de fotometria de trânsito identifica mais facilmente os planetas nestes tipos de órbitas do que os planetas como os do

nosso Sistema Solar.

## Como sabemos se um exoplaneta pode ser habitável?

Até hoje, a Terra é o único lugar no universo que é conhecido com vida. Também é desconhecido se a vida poderia desenvolver-se e existir em condições muito diferentes das que existem no nosso planeta. Ao examinar os exoplanetas e ao definir as possíveis condições de habitabilidade, os cientistas tentam identificar condições semelhantes à Terra, como por exemplo a temperatura.

Um factor importante a ser considerado para a habitabilidade é a temperatura. A temperatura de um planeta é sobretudo definida pela sua distância à sua estrela. Quando um planeta orbita uma estrela a uma distância onde **água líquida** pode estar presente na sua superfície, o planeta está na **zona habitável** da sua estrela hospedeira.



↑ Diagrama apresentando o tamanho e temperatura dos planetas versus a distância à sua estrela hospedeira. O tamanho e a distância dos planetas são representados com duas escalas diferentes.

### Vénus: a exceção no Sistema Solar

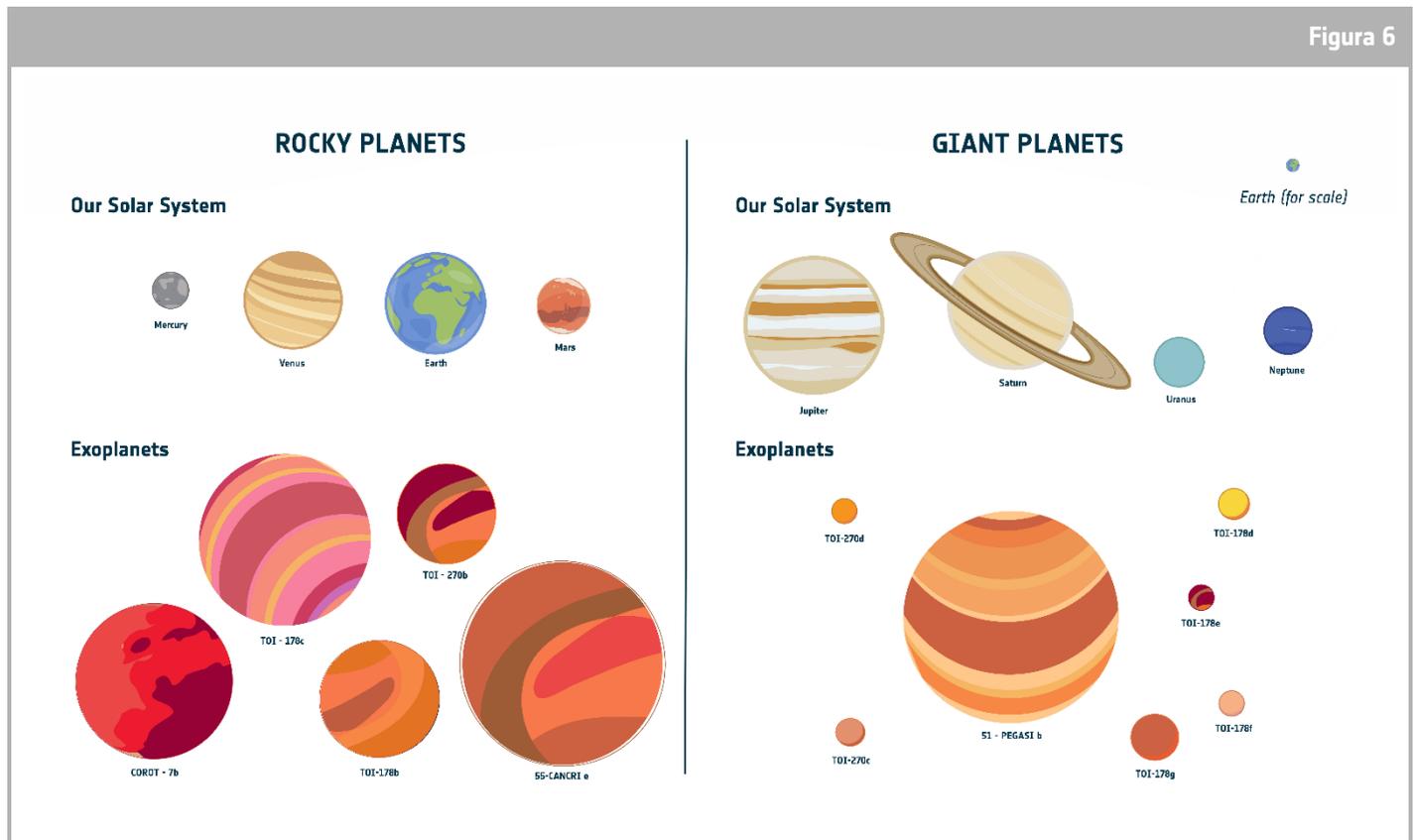
A temperatura medida na superfície de um planeta é também afectada pela sua atmosfera. No Sistema Solar, Vénus é um exemplo extremo. A sua atmosfera espessa funciona como uma estufa e aquece a superfície a uma temperatura mais elevada que o ponto de fusão do chumbo, tornando-o um planeta mais quente do que Mercúrio, apesar de estar mais afastado do Sol.

### Exemplo KELT-3b:

Vamos agora discutir o KELT-3b como exemplo. KELT-3b é pouco provável que tenha vida porque está demasiado perto da sua estrela hospedeira, tornando a sua temperatura à superfície muito elevada, acima do ponto de fusão do ferro. A maioria dos aminoácidos, os blocos de construção da vida, não sobreviveriam a temperaturas tão extremas. O planeta é também bombardeado por elevados níveis de radiação devido à sua distância muito próxima da sua estrela.

## De que são feitos os exoplanetas?

No nosso Sistema Solar, os planetas estão normalmente divididos em duas categorias: rochosos e gasosos. No entanto, os exoplanetas podem ser muito diferentes dos planetas vizinhos a que estamos habituados.



↑ Exemplos de ilustrações de exoplanetas verdadeiros que já foram descobertos em órbita de estrelas próximas de nós.

Através do cálculo da **densidade** média de um exoplaneta,  $\rho$ , é possível ter uma ideia sobre a composição do exoplaneta.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Onde  $M$  é a massa do exoplaneta e  $V$  é o volume do exoplaneta.

A massa e volume do exoplaneta são normalmente determinados com um grande erro associado a estes valores. Estes erros são então propagados para o cálculo da densidade do exoplaneta, criando uma incerteza no valor da densidade entre os 10% a 30%.

Uma técnica diferente utilizada para estudar exoplanetas é chamada espectroscopia. Com esta técnica, a luz recebida da estrela ou exoplaneta é dividida em diferentes comprimentos de onda, permitindo a determinação da **composição atmosférica** do exoplaneta ou a cobertura de nuvens.

### Exemplo KELT-3b:

Vamos agora analisar os dados do KELT-3b como exemplo. A massa do KELT-3b é de  $617 M_{\text{Terra}}$ . Este valor não é possível de determinar a partir da fotometria de trânsito. Foi determinado a partir de observações anteriores, utilizando uma técnica diferente chamada velocidade radial.

No primeiro exercício, já determinámos o raio do KELT-3b. Conhecendo o raio, podemos calcular o volume do exoplaneta, assumindo que se trata de uma esfera perfeita:  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ .

$$M_p = 617 M_{\text{Terra}} = 3.685 \times 10^{30} \text{ g}$$

$$R_p^* = 17,5 R_{\text{Terra}} = 1,116 \times 10^{10} \text{ cm}$$

\* Este valor do raio foi estimado a partir do cálculo da profundidade do trânsito, os estudantes também podem utilizar o valor do modelo *allesfitter*.

$$\rho = \frac{M}{V} = 0.63 \text{ g cm}^{-3}$$

Este valor é muito menor do que a densidade média de Júpiter, e mais próximo da densidade de WASP-189b (um conhecido exoplaneta do tipo *Júpiter quente*). A pequena distância à sua estrela e a sua temperatura elevada tornam o exoplaneta 'inchado'.

## KELT-3b sumário

KELT-3b é um *Júpiter quente* que orbita um estrela parecida com o Sol, KELT-3, a aproximadamente 690 anos-luz de distância da Terra.

KELT-3b orbita muito perto da sua estrela, mais de 10 vezes mais perto do que a Terra orbita o Sol. O exoplaneta necessita apenas de 2,7 dias para completar uma órbita completa em torno de KELT-3.

Devido à sua proximidade da estrela hospedeira, a temperatura média do exoplaneta é muito elevada, acima da temperatura de fusão do ferro, tornando-o completamente inabitável.

KELT-3b é composto principalmente por hidrogénio e hélio, semelhante a Júpiter. Devido à alta temperatura do exoplaneta e à sua proximidade da estrela, a sua atmosfera é muito extensa (inchada) e a sua densidade média é muito baixa.

Quadro 2	
Exoplanet	KELT-3b
Tipo de planeta	Júpiter Quente
Raio ( $R$ ) <sub>Earth</sub>	16,81 (do <i>allesfitter</i> )
	17,5 (a partir da profundidade do trânsito)
Massa ( $M$ ) <sub>Earth</sub>	617 ± 105
Período orbital ( <i>dias</i> )	2.70339
Distância orbital média ( <i>au</i> )	~0.048
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	~0.63
Temperatura média (°C)	~1543

↑ [Resumo de uma estimativa das propriedades do KELT-3b](#)

## Submeta o seu projecto

As equipas podem submeter o projecto *Hack an exoplanet* da sua equipa na plataforma *Hack an Exoplanet* para receberem um certificado de participação. Para submeter o seu projecto visite [hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project](http://hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project).

## → Challenge 2 - Análise dos dados TOI-560c

Após completar a análise do exoplaneta KELT-3b as equipas devem ser capazes de seguir o mesmo processo de análise para os dados do exoplaneta TOI-560c.

Toda a informação necessária está disponível no ficheiro na ficha de trabalho do estudante, e em [hackanexoplanet.esa.int/challenges](https://hackanexoplanet.esa.int/challenges).

As equipas podem submeter o seu projecto de hack an exoplanet na plataforma *Hack an Exoplanet* para receberem um certificado de participação. Para submeter o projecto da sua equipa visite [hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project](https://hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project).

### Prémio de Melhor Projecto:

Para uma oportunidade de ganhar o Prémio de Melhor Projecto, as equipas devem submeter a sua revista de investigação sobre TOI-560c, seguindo o modelo.

A apresentação da sua equipa deve incluir a sua análise dos dados do Cheops para TOI-560c, e deve seguir o formato de um artigo científico incluindo um resumo, análise e resultados, e conclusões.

As equipas vencedoras receberão prémios da ESA, bem como a oportunidade de participar num webinar com o Prémio Nobel da Física Didier Queloz, a 17 de Julho de 2023. O prazo limite para a apresentação de candidaturas é 14 de Junho de 2023.

Para submeter o seu projeto visite [hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project](https://hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project).

## → LINKS

### Recursos de apoio

Hackear um exoplaneta:  
[hackanexoplanet.esa.int](http://hackanexoplanet.esa.int)

Hackear um guia do educador exoplanet para a actividade  
[hackanexoplanet.esa.int/educators-guide](http://hackanexoplanet.esa.int/educators-guide)

AllesFitter versão educacional do software:  
[hackanexoplanet.esa.int/allesfitter](http://hackanexoplanet.esa.int/allesfitter)

Introdução ao Hack an Exoplanet - tornar-se um detective exoplanet  
[hackanexoplanet.esa.int/challenges](http://hackanexoplanet.esa.int/challenges)

*Allesfitter* mini tutorial - guia passo a passo sobre como ajustar o melhor modelo aos dados  
[hackanexoplanet.esa.int/allesfitter-guide](http://hackanexoplanet.esa.int/allesfitter-guide)

Como determinar o tamanho de um exoplaneta  
[hackanexoplanet.esa.int/challenges-size](http://hackanexoplanet.esa.int/challenges-size)

O período orbital e a distância de um exoplaneta, utilizando a Terceira Lei de Kepler  
[hackanexoplanet.esa.int/challenges-orbital-period-and-distance](http://hackanexoplanet.esa.int/challenges-orbital-period-and-distance)

Os exoplanetas podem ser habitáveis?  
[hackanexoplanet.esa.int/challenges-temperature-and-habitability](http://hackanexoplanet.esa.int/challenges-temperature-and-habitability)

De que são feitos os exoplanetas?  
[hackanexoplanet.esa.int/challenges-composition](http://hackanexoplanet.esa.int/challenges-composition)

Referências científicas para KELT-3b  
[exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3](http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3)

### Recursos da ESA

Recursos de sala de aula da ESA  
[esa.int/Education/Classroom\\_resources](http://esa.int/Education/Classroom_resources)

Ensinar com exoplanetas  
[esa.int/Education/Teach\\_with\\_Exoplanets](http://esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets)

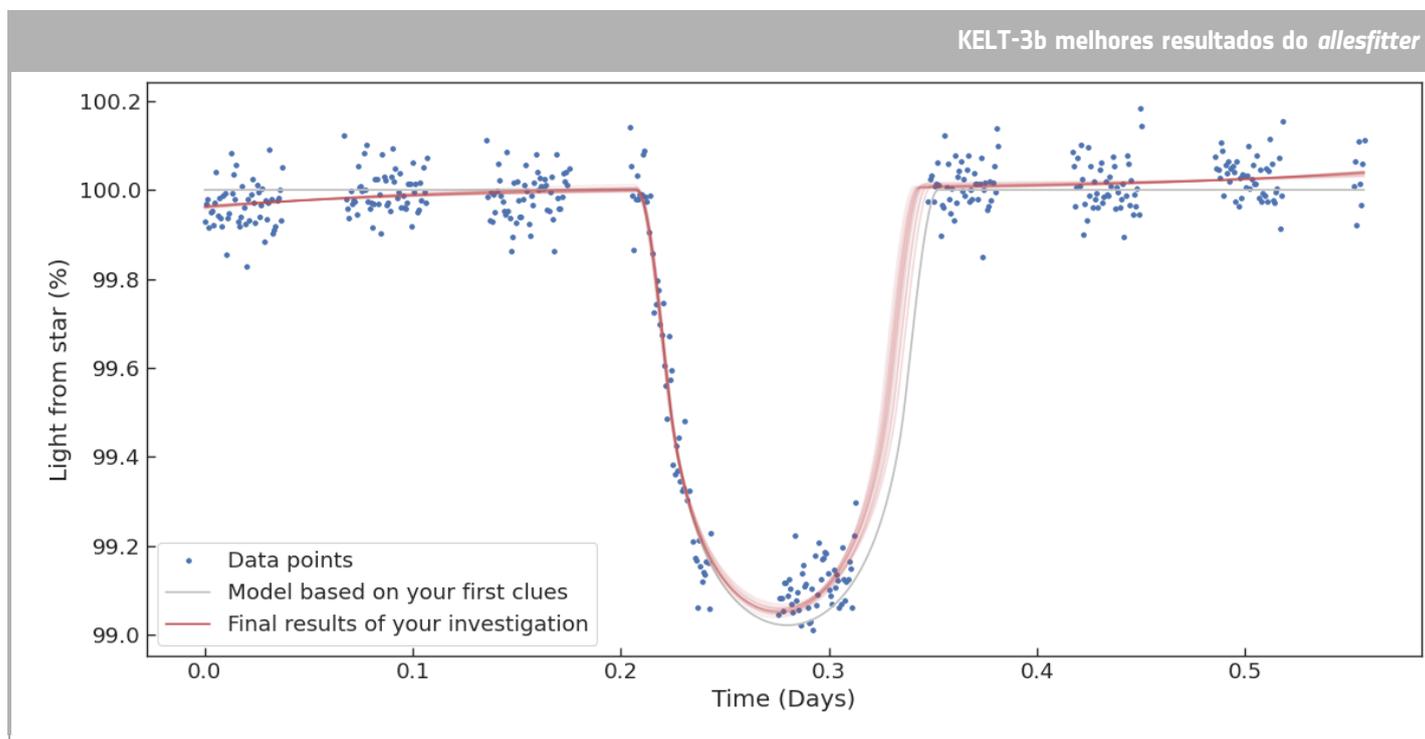
Conheça Cheops: a Caracterização do Satélite Exoplanet  
[esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2019/12/Meet\\_Cheops\\_the\\_Characterising\\_Exoplanet\\_Satellite](http://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite)

### Projectos espaciais da ESA

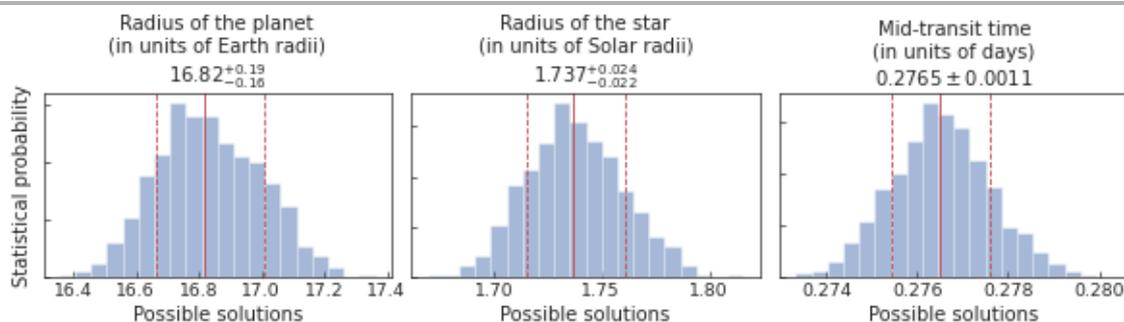
Cheops - CHaracterising ExOPlanet Satellite  
[esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Cheops](http://esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops)

## → Anexo 1

### Trânsito do exoplaneta KELT-3b



↑ Melhor modelo do trânsito na curva de luz.



- Os histogramas mostram a probabilidade de cada parâmetro ter um determinado valor.
- A linha central e sólida mostra o valor mediano de cada parâmetro.
- As linhas tracejadas à esquerda e à direita do mesmo indicam os limites inferior e superior, respectivamente.
- Estas são chamadas as incertezas de 1-sigma. Isto significa, estatisticamente, que podemos ter 68% de certeza de que o verdadeiro valor está dentro delas.
- Note-se que isto significa que é possível que o verdadeiro valor de um parâmetro esteja fora destes limites; são apenas incertezas estatísticas, não limites definidos.

↑ Histograma da probabilidade estatística dos valores dos parâmetros de KELT-3b

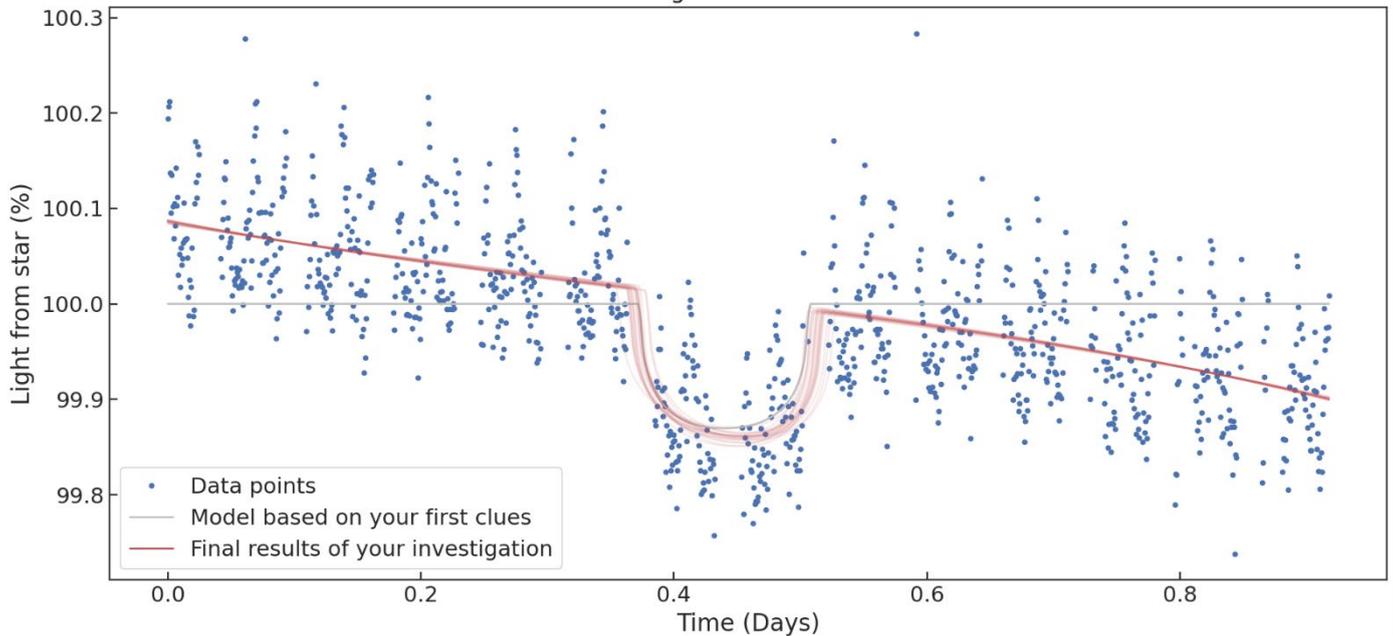
Nome	Valor mediano	Menor erro	Erro superior	Nota de caso
Raio do planeta (em unidades de raios da Terra)	16.82	0.16	0.19	Observações de Cheops
Raio da estrela (em unidades de raios solares)	1.737	0.022	0.024	Observações de Cheops
Tempo médio de trânsito (em unidades de dias)	0.2765	0.0011	0.0011	Observações de Cheops
Período orbital (em unidades de dias)	2.70339			Outras observações do arquivo

↑ Tabela com os parâmetros do melhor modelo.

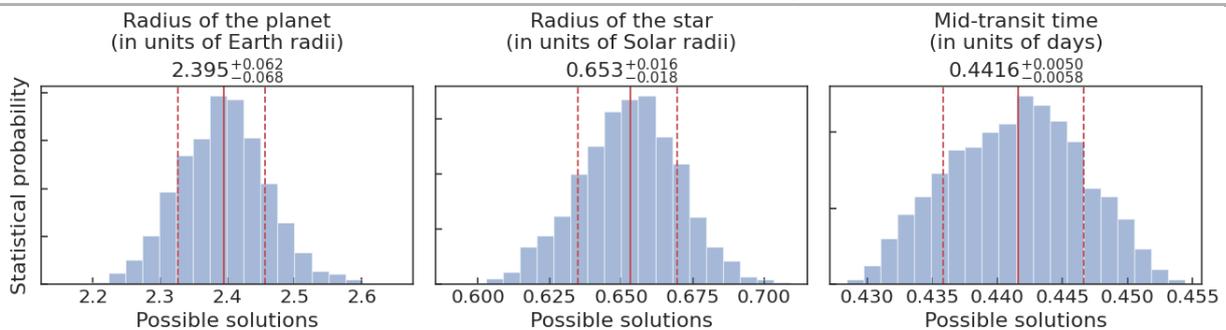
## → Anexo 2

### Trânsito do exoplaneta TOI-560c

TOI-560c melhores resultados do *allesfitter*



↑ Melhor modelo do trânsito na curva de luz.



- Os histogramas mostram a probabilidade de cada parâmetro ter um determinado valor.
- A linha central e sólida mostra o valor mediano de cada parâmetro.
- As linhas tracejadas à esquerda e à direita do mesmo indicam os limites inferior e superior, respectivamente.
- Estas são chamadas as incertezas de 1-sigma. Isto significa, estatisticamente, que podemos ter 68% de certeza de que o verdadeiro valor está dentro delas.
- Note-se que isto significa que é possível que o verdadeiro valor de um parâmetro esteja fora destes limites; são apenas incertezas estatísticas, não limites definidos.

↑ Histograma da probabilidade estatística dos valores dos parâmetros do TOI-560c

Nome	Valor mediano	Menor erro	Erro superior	Nota de caso
Raio do planeta (em unidades de raios da Terra)	2.395	0.068	0.062	Observações de Cheops
Raio da estrela (em unidades de raios solares)	0.653	0.018	0.016	Observações de Cheops
Tempo médio de trânsito (em unidades de dias)	0.4416	0.0058	0.0050	Observações de Cheops
Período orbital (em unidades de dias)	18.8797			Outras observações do arquivo

↑ Tabela com os parâmetros do melhor modelo.