

ANÁLISE ESTATÍSTICA - MISSÃO KEPLER

Distribuição de Tipos Planetários e suas Relações com
Propriedades Estelares

Fernando Augusto Bento

22/10/2025

“Pesquisa voluntária amadora sem fins lucrativos...”

Resumo

O objetivo desta análise é caracterizar a população de exoplanetas detectados pela missão Kepler, buscando padrões entre o tipo de planeta e as propriedades de suas estrelas hospedeiras, usando de análise estatística populacional. O resultado da análise mostrou a propensão de certos tipos de planetas em certos tipos estelares, com base em sua temperatura.

Introdução

Desde o lançamento da missão Kepler pela NASA, em 2009, milhares de candidatos a exoplanetas foram detectados por meio do método do trânsito, permitindo a formação de um catálogo de sistemas planetários extra solares. Esses dados públicos, organizados no Kepler Object of Interest (KOI), oferecem uma base valiosa para análises estatísticas sobre a diversidade e a distribuição dos planetas além do sistema solar.

Populações de exoplanetas, bem como sua relação com as propriedades das estrelas hospedeiras, é essencial para investigar os mecanismos de formação e evolução planetária. Estudos populacionais possibilitam identificar padrões, como a predominância de tipos de planetas em faixas específicas de temperatura estelar, ou ainda a frequência de planetas tipos de estrelas. Tais padrões ajudam a compreender como diferentes condições influenciam a formação e a estrutura dos sistemas.

Aplicando filtragens para considerar apenas planetas confirmados e candidatos, desconsiderando os “Falsos Positivos”. Foram classificados em quatro categorias gerais — rochosos, super-terra, netunianos e gasosos — com base em seu raio estimado e massa. As propriedades das estrelas, em especial a temperatura efetiva (T_{eff}), foram correlacionadas com os tipos planetários.

Metodologia

Esta pesquisa é de caráter quantitativo e exploratório, baseada em dados públicos disponibilizados pela NASA Exoplanet Archive, referentes à missão Kepler. O objetivo metodológico foi caracterizar estatisticamente a população de exoplanetas e investigar possíveis relações entre o tipo de planeta e as propriedades de suas estrelas hospedeiras de forma generalista..

2.1. Base de Dados

Os dados utilizados provêm do catálogo Kepler Objects of Interest (KOI), versão Q1–Q17 DR24, obtido diretamente do NASA Exoplanet Archive.

Cada registro corresponde a um possível trânsito planetário identificado pela missão Kepler. O conjunto de dados contém informações fotométricas, parâmetros orbitais e características estelares inferidas de modelos espectroscópicos e fotométricos.

2.2. Seleção e Filtragem

Inicialmente, o conjunto completo foi filtrado para incluir apenas registros cuja classificação fosse “CONFIRMED” (planetas confirmados) ou “CANDIDATE” (candidatos), conforme o campo “koi disposition”. Campos marcados como “FALSE POSITIVE” foram excluídos, evitando contaminação estatística.

A partir desse subconjunto, foi derivada uma nova coluna denominada “tipo planeta”, com base no raio planetário estimado (koi_prad), expresso em raios terrestres (R_{\oplus}), e na massa estimada do planeta. A classificação seguiu faixas amplamente aceitas na literatura ([WEISS & MARCY, 2014](#); [FULTON et al., 2017](#)):

Raio (koi_prad)	Planet_mass (massa estimada)	Classificação adotada
$> 1,6 R_{\oplus}$	##	Rochoso
$< 1,6 R_{\oplus}$	≥ 10	Super-Terra
$1,6 - 4,0 R_{\oplus}$	17 - 127	Netuniano
$> 4,0 R_{\oplus}$	< 127	Gasoso

2.3. Análises Estatísticas

A análise foi conduzida por meio de estatística descritiva e visualização gráfica, utilizando a linguagem Python (versão 3.x) e as bibliotecas pandas, NumPy e Matplotlib.

As principais etapas analíticas incluíram:

1. Distribuição dos tipos de planetas na amostra filtrada (gráfico de pizza);
2. Frequência de planetas por estrela hospedeira, derivada pela contagem dos identificadores `kepoi_name`;
3. Relação entre o tipo de planeta e a temperatura efetiva da estrela (`koi_steff`), através de faixas de 1000 K e gráficos de barras empilhadas;

2.4. Ferramentas Computacionais

Todo o tratamento e a visualização dos dados foram realizados em ambiente Python, com o seguinte fluxo:

```
import pandas as pd  
import numpy as np  
import matplotlib.pyplot as plt
```

O código completo de análise inclui funções específicas para cada gráfico e cálculo, garantindo reprodutibilidade e transparência nos resultados.

2.5. Limitações

Esta metodologia não incorpora modelos de detecção de vieses instrumentais nem estimativas de incompletude do catálogo.

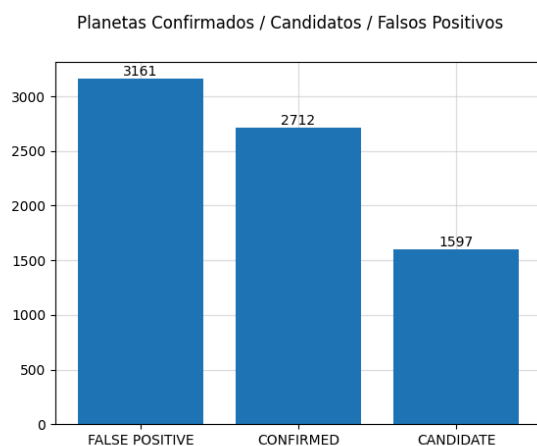
As classificações adotadas (Rochoso Netuniano, Gasoso) são simplificadas para fins de análise populacional ampla, não distinguindo subclasses como Super-Terras ou Mini-Netunos.

Resultados e Discussão

A análise dos dados permitiu caracterizar estatisticamente a população de exoplanetas observada pela missão. Segue abaixo, os resultados principais:

3.1. Distribuição de Detecções do Catálogo Kepler

O primeiro gráfico apresenta a quantidade de planetas confirmados, candidatos e falsos positivos listados no catálogo analisado, antes da filtragem.

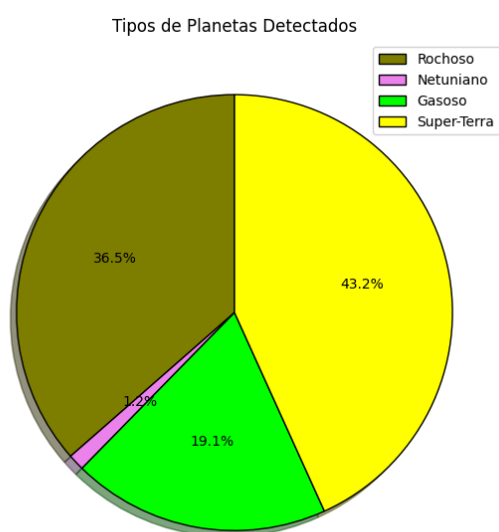


A análise mostra que uma fração significativa dos objetos identificados pela missão Kepler permanece classificada como candidatos, refletindo a natureza contínua do processo de validação de trânsitos planetários. Os planetas confirmados representam a parcela mais robusta da amostra, enquanto os falsos positivos destacam o desafio

inerente à detecção indireta por fotometria de trânsito, frequentemente associada à binárias eclipsantes ou ruídos instrumentais. Essa divisão reforça a importância do tratamento estatístico cuidadoso, uma vez que apenas os planetas confirmados e candidatos foram considerados nas análises seguintes.

3.2. Distribuição dos tipos de planetas

O segundo gráfico ilustra a quantidade de planetas de determinados tipos, em porcentagem, coletados pelo catálogo todo. Classificados com base no seu raio (*koi_prad*) e massa. As categorias de separação são: Rochosos, Super-Terras, Netunianos e Gasosos.



Observa-se que as Super-Terras constituem a classe mais numerosa da amostra, seguidas pelos planetas rochosos. Em menor quantidade aparecem os planetas gasosos, enquanto os Netunianos representam a menor fração.

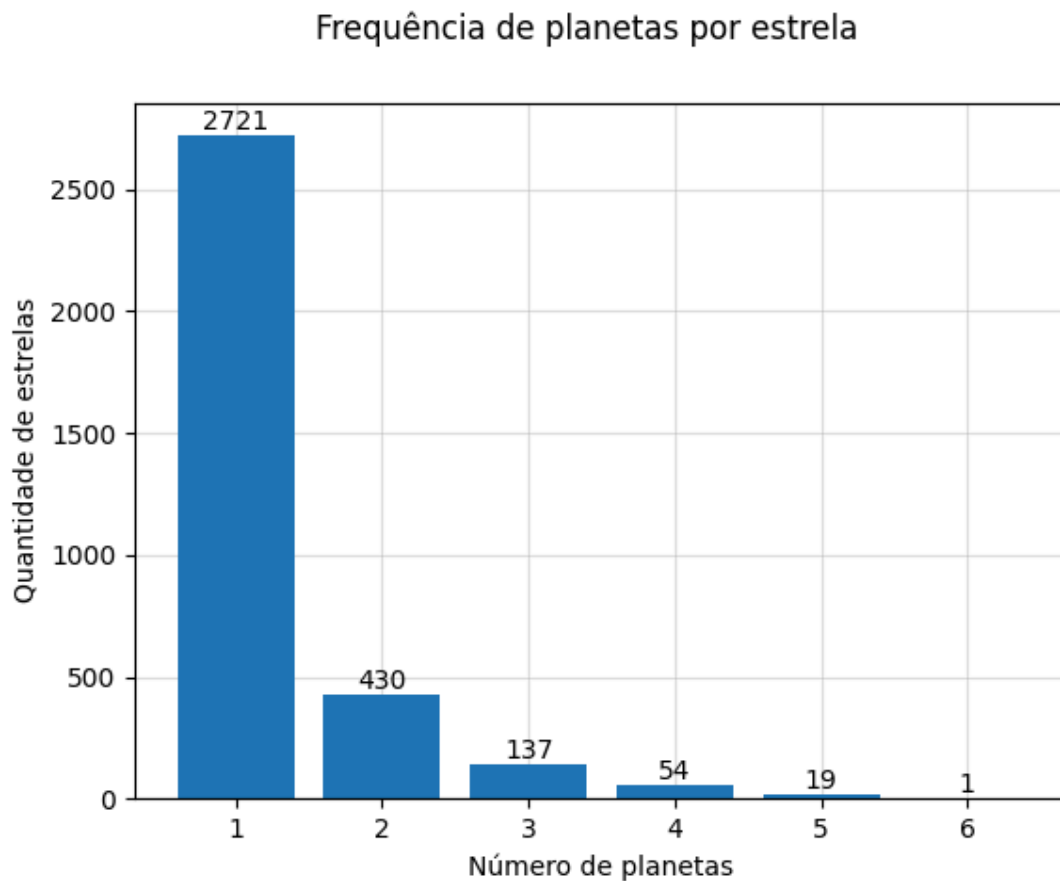
Essa distribuição sugere alguns pontos importantes:

A predominância de Super-Terras pode refletir a maior sensibilidade do método de trânsito para planetas com raios ligeiramente superiores ao terrestre, aumentando sua detecção. A presença

significativa de planetas rochosos indica que mundos de porte terrestre continuam sendo comuns, mas muitas vezes sub-representados nas amostras devido a limites instrumentais. A menor frequência de Gasosos e Netunianos pode estar associada a fatores de observação, como maior período orbital e menor probabilidade de trânsito durante a janela de observação do Kepler. Em termos gerais, a análise evidencia que planetas pequenos a médios dominam a amostra observável.

3.3. Frequência de planetas por estrelas

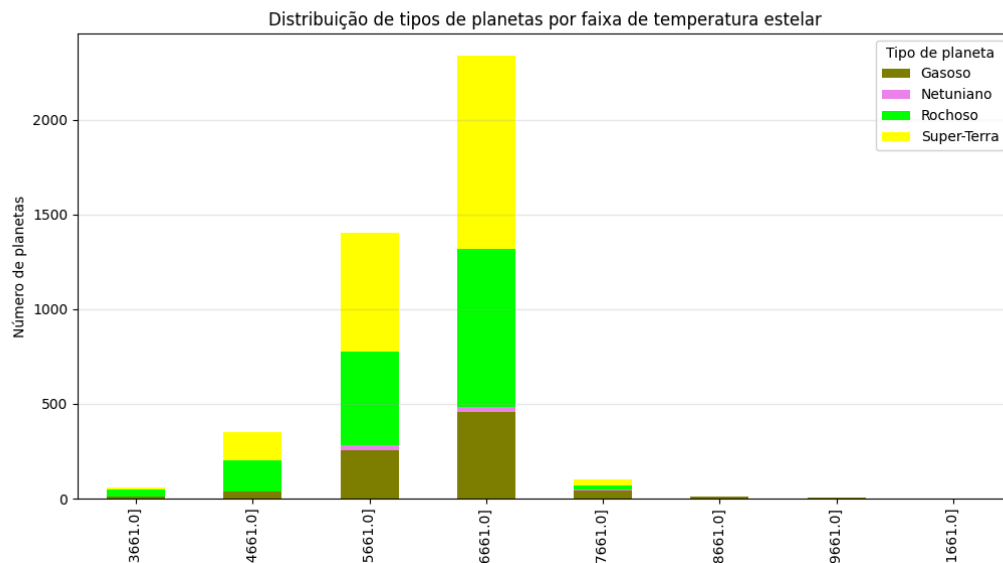
O terceiro gráfico ilustra a distribuição da quantidade de estrelas em função do número de planetas detectados ao seu redor.



A distribuição mostra que a maioria das estrelas possui apenas um planeta detectado, enquanto sistemas com dois ou mais planetas são progressivamente menos comuns. Entretanto, a presença de sistemas multiplanetários (como Kepler-11 e Kepler-90) evidencia a capacidade do Kepler de identificar sistemas complexos quando a geometria orbital é favorável. Esse comportamento é consistente com os achados de Lissauer et al. (2014), que mostraram que cerca de 20% dos sistemas Kepler apresentam múltiplos planetas em trânsito observável.

3.4. Relação entre Tipo de Planeta e Temperatura Estelar

A análise da distribuição dos tipos de planetas em função da temperatura efetiva das estrelas hospedeiras revela padrões significativos que podem fornecer insights sobre os processos de formação planetária e as condições ambientais favoráveis para diferentes classes de exoplanetas.



A amostra analisada indica que:

- Super-Terras e planetas rochosos são mais prevalentes em estrelas com temperaturas efetivas em torno de 6661 K e 5661 K, sugerindo que essas condições estelares podem ser mais propícias para a formação ou detecção desses tipos de planetas.
- Planetas gasosos apresentam uma distribuição mais uniforme, mas com uma leve predominância em estrelas com temperaturas próximas a 6661 K, indicando uma possível relação entre a temperatura estelar e a formação de planetas gasosos.
- Netunianos são raros, especialmente em estrelas com temperaturas abaixo de 4661 K, e ausentes em estrelas com temperaturas superiores a 8661 K, sugerindo que a formação ou detecção de planetas desse tipo pode ser limitada a faixas específicas de temperatura estelar.

Esses padrões observados podem ser interpretados à luz de modelos de formação planetária. A predominância de Super-Terras e planetas rochosos em estrelas de temperaturas intermediárias pode estar relacionada à maior quantidade de material disponível no disco protoplanetário, facilitando a formação de planetas de tamanhos menores. Por outro lado, a presença de planetas gasosos em estrelas mais quentes pode ser atribuída a condições que favorecem a captura de hidrogênio e hélio, essenciais para a formação de atmosferas gasosas densas.

A ausência de Netunianos em estrelas com temperaturas extremas pode indicar que esses planetas não se formam ou não são detectáveis nessas condições, possivelmente devido à falta de material volátil ou à dificuldade de detecção em sistemas estelares com características específicas.

A relação entre o tipo de planeta e a temperatura estelar destaca a complexidade dos processos de formação planetária e a importância das condições ambientais na determinação das características dos exoplanetas.

Conclusão

A presente investigação apresentou uma visão geral da população de exoplanetas detectados pela missão Kepler, focada em padrões entre tipos de planeta (rochosos, super-terras, netunianos e gasosos) e a temperatura efetiva das estrelas hospedeiras. A análise mostrou que planetas de porte menor — especialmente super-terras e rochosos — predominam em estrelas com temperaturas intermediárias (por volta de 5 661 K e 6 661 K). Planetas gasosos aparecem de forma moderada ao longo das faixas de temperatura, com incidência máxima nessa faixa intermediária, enquanto netunianos mostraram baixa predominância ou ausência em faixas mais frias ($< 4\,661\text{ K}$) e nas mais quentes ($\approx 8\,661\text{ K}$).

Esses resultados confirmam tendências amplamente discutidas na literatura. Por exemplo, estudos do catálogo Kepler indicaram que “pequenos planetas são particularmente frequentes” (Borucki et al., 2011) e que a taxa de ocorrência de planetas diminui com o aumento da temperatura e massa estelar. [PubMed+2arXiv+2](#) Além disso, a segmentação do raio planetário em populações distintas (rochosos $< 1,7\text{ R}_{\oplus}$; intermediários $\sim 1,7\text{--}3,9\text{ R}_{\oplus}$; gigantes $> 3,9\text{ R}_{\oplus}$) proposta por Buchhave et al. (2014) apoia a classificação simplificada adotada na presente análise. [PubMed](#)

A predominância de planetas menores em estrelas de temperaturas moderadas pode refletir condições de formação mais favoráveis — discos protoplanetários com massa adequada e menor radiação estelar — bem como vieses observacionais associados ao método de trânsito (planetas menores em estrelas muito grandes ou muito quentes são mais difíceis de detectar). Já a menor ocorrência de netunianos e a maior presença de gasosos em estrelas quentes reforçam a hipótese de que a formação de gigantes depende de maior massa estelar, mais material volátil e condições de acreção específicas.

Apesar da simplificação da classificação planetária e da não consideração de vieses de detecção ou incompletude da amostra, os achados oferecem uma contribuição relevante para o entendimento da distribuição geral dos exoplanetas e sua relação com as propriedades estelares. Investigações futuras poderiam incorporar massa planetária, luminosidade estelar, metalicidade e métodos de correção de viés, ampliando a compreensão da arquitetura dos sistemas planetários. Em suma, este estudo atende ao objetivo de fornecer uma visão panorâmica da diversidade planetária na amostra Kepler e destaca a importância de investigar como estrelas de diferentes temperaturas moldam os sistemas planetários que hospedam.

Referências

BORUCKI, W. J. et al. Exploring exoplanet populations with NASA's Kepler Mission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 48, p. 19 156–19 161, 2011. [PubMed](#)

BUCHHAVE, L. A. et al. Three regimes of extrasolar planet radius inferred from host star metallicities. *Nature*, v. 509, p. 593–595, 2014. [PubMed](#)

YANG, J.-Y.; XIE, J.-W.; ZHOU, J.-L. Occurrence and architecture of Kepler planetary systems as functions of stellar mass and effective temperature. *The Astrophysical Journal*, 2020. [arXiv](#)

ZHU, W.; DONG, S. Exoplanet statistics and theoretical implications. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, v. 59, p. 291–336, 2021. [Annual Reviews](#)

YAN, X. Statistical research on characteristics of exoplanets. *International Journal of Cosmology, Astronomy and Astrophysics*, v. 3, n. 1, p. 125–129, 2021. [madridge.org](#)