

Modelos para o Interior de Exoplanetas Rochosos

Thaiane Niederauer dos Santos*, José Eduardo da Silveira Costa

*thaianeniederauer@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Introdução

Exoplanetas têm sido um tema cada vez mais estudado nas últimas duas décadas. Na maioria dos casos, sua detecção é feita a partir de técnicas indiretas, como Velocidades Radiais¹ (19%) e Trânsitos Planetários (77%)⁸. No entanto, poucas informações podem ser extraídas dessa forma, como o raio (R) e a massa (M) do planeta. Embora esses dois observáveis possam classificar um planeta por sua densidade, não é possível obter alguma informação direta sobre o seu interior. Contudo, é possível construir modelos teóricos para explorar diversos cenários para a estrutura interna do planeta.²

Objetivo

Utilizar modelos simples baseados no perfil sísmico terrestre (PREM)¹ para o interior de planetas rochosos com massas e diâmetros bem determinados, a fim de obter algum insight sobre algumas de suas características.

Dados

Os dados foram obtidos a partir do banco de dados *NASA Exoplanet Archive*⁵. Foram selecionados 614 exoplanetas detectados com o método de trânsitos planetários e com medidas de massa e raio bem determinadas.

Metodologia

Foram construídos modelos numéricos simples nas linguagens Python e R para o interior planetário. Modelos neste padrão são aplicáveis a exoplanetas rochosos com massas entre 0.1 e 10 M_{\oplus} (massas terrestres) e fração do núcleo entre 10% a 40% da massa total do planeta. Para a estrutura interna, adota-se um modelo planetário simplificado de duas camadas, sendo o núcleo composto por Fe metálico, e o manto composto por perovskita (i.e., $MgSiO_3$, rocha).

Relação empírica

Com o ajuste da lei de potência $R = cM^b$ no gráfico de dispersão $M-R$, observa-se a existência de três regimes: (I) Terras e superterras, ou seja, planetas de composição rochosa de até 10 M_{\oplus} ; (II) Netunos, gigantes gelados compostos por amônia e metano, com massas de até 87,5 M_{\oplus} ; e (III) Júpiteres, gigantes gasosos de H e He . Os parâmetros de ajuste para cada regime podem ser vistos na Tabela 1.

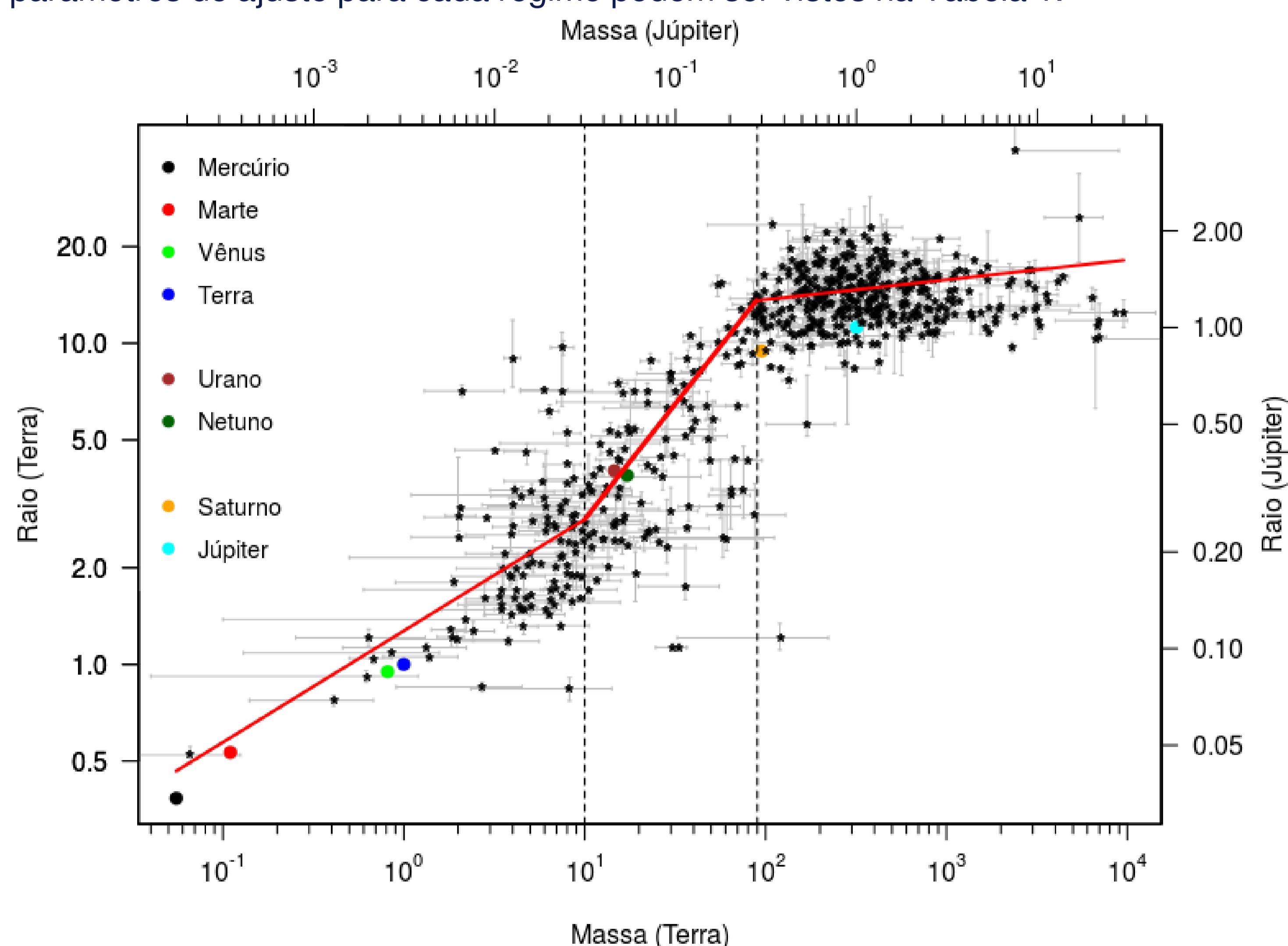


Figura 1: Relação empírica entre massa e raio planetário, em escala logarítmica. Os planetas do Sistema Solar são mostrados como referências.

Regime I	Regime II	Regime III
$c = 1.27$	$c = 2.83$	$c = 13.71$
$b = 0.45$	$b = 1.38$	$b = 0.06$

Tabela 1: Parâmetros das leis de potência ajustadas em cada regime.

Relação teórica

Como teste de qualidade, pode-se comparar a relação massa-raio ($M-R$) calculada pelos modelos com a relação empírica. Foram calculados modelos limites para interiores de 100% Fe e 100% de H_2O , além de modelos com composições intermediárias.²

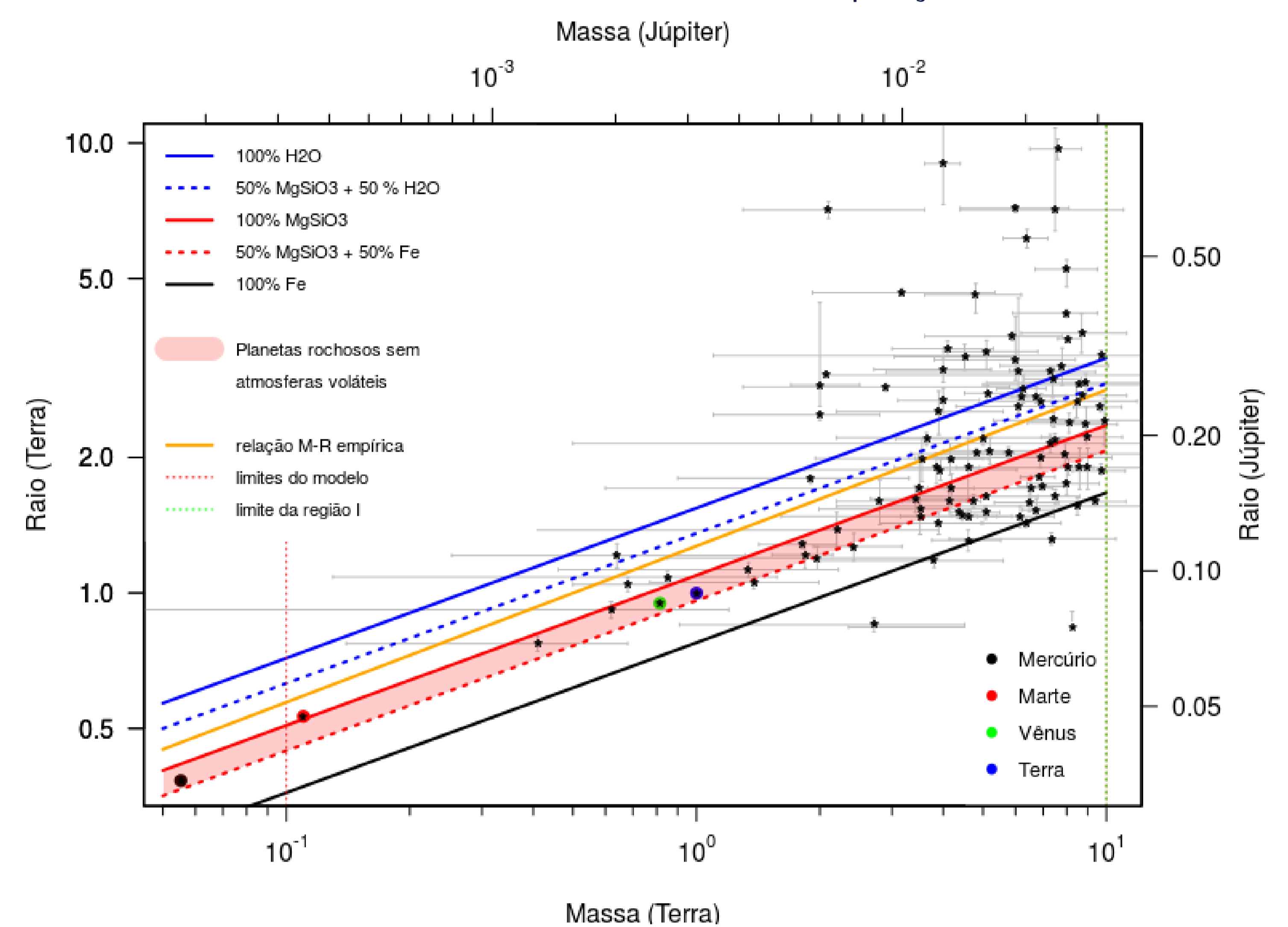


Figura 2: Relação $M-R$ teórica para exoplanetas rochosos.

Estudo de caso: TRAPPIST-1g

Como estudo de caso, esse modelo é aplicado ao planeta TRAPPIST-1 g (1.34 M_{\oplus} , 1.127 R_{\oplus})⁵.

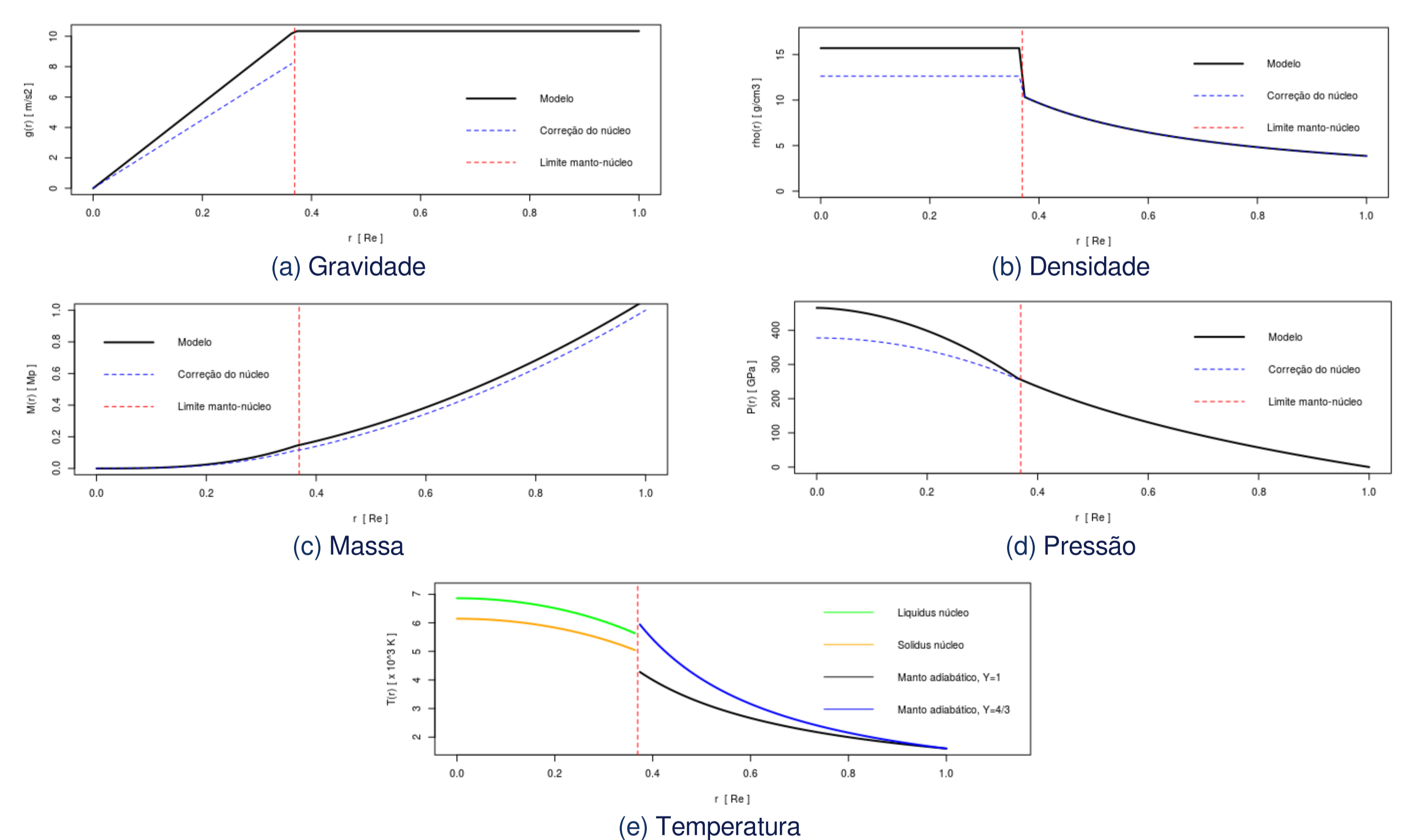


Figura 3: Perfis numéricos de (a) gravidade; (b) densidade; (c) massa; (d) pressão; e (f) temperatura; de TRAPPIST-1g, calculados a partir da relação empírica e comparados com o modelo PREM. Escala horizontal em R_{\oplus} .

Conclusão e discussão

Modelos da estrutura interna de outros planetas, extremamente importantes para entender o processo de diferenciação planetária, são fortemente influenciados pelo que sabemos da Terra. Apesar de aproximados, esses modelos indicam os limites e possibilidades do que o interior de um planeta pode ser.

Referências

- [1] Li Zeng and Stein B. Jacobsen. 2017. ApJ, 837, 164
- [2] Li Zeng and Stein B. Jacobsen. 2016, ApJ, 829, 18
- [3] Ma, Qi; Ghosh, Sujit K. 2019 AJ, 158, 86
- [4] Mayor, M., Queloz, D. 1995, Nature, 378, 355
- [5] NASA. Exoplanet Archive. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>
- [6] Seager, S.; Kuchner, M.; Hier-Majumder, C. A.; Militzer, B. 2007 ApJ, 669, 1279
- [7] Sohl, F., Wagner, F.W., Rauer, H. 2012 ApJ, 744, 59
- [8] Southworth, J. 2014. arXiv 1411.5517S

Acknowledgement

This research has made use of the NASA Exoplanet Archive, which is operated by the California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration under the Exoplanet Exploration Program.