

Observatório Nacional

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

TESE DE DOUTORADO

ABUNDÂNCIAS DE ELEMENTOS BIOESSENCIAIS C, O E S E REFRATÁRIOS FE E NI EM ESTRELAS DE TIPO SOLAR HOSPEDEIRAS DE EXOPLANETAS UTILIZANDO ESPECTROS HARPS SUL E NORTE

ELLEN COSTA DE ALMEIDA

RIO DE JANEIRO
2026

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Observatório Nacional
Programa de Pós-Graduação

Tese de Doutorado

ABUNDÂNCIAS DE ELEMENTOS BIOESSENCIAIS C, O E S E REFRATÁRIOS FE E NI EM ESTRELAS DE TIPO SOLAR HOSPEDEIRAS DE EXOPLANETAS UTILIZANDO ESPECTROS HARPS SUL E NORTE

por

Ellen Costa de Almeida

Tese submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-graduação em Astronomia do Observatório Nacional, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutora em Astronomia.

Orientador: Prof. Dr. Luan Ghezzi Ferreira Pinho

Coorientadora: Profa. Dra. Katia Maria Leite da Cunha

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Agosto de 2026

C837 Costa de Almeida, Ellen
Abundâncias de Elementos Bioessenciais C, O e S e Refratários Fe e Ni em Estrelas de Tipo Solar Hospedeiras de Exoplanetas utilizando Espectros HARPS Sul e Norte [Rio de Janeiro] 2026.
xxviii, 261 p. 29,7 cm: graf. il. tab.

Tese (doutorado) - Observatório Nacional - Rio de Janeiro, 2026.

1. Parâmetros fundamentais de estrelas. 2. Abundâncias químicas. 3. Espectroscopia. 4. Exoplanetas. I. Observatório Nacional. II. Título.

CDU 000.000.000

"ABUNDÂNCIAS DE ELEMENTOS BIOESSENCIAIS C, O E S E REFRATÁRIOS FE E NI EM ESTRELAS DE TIPO SOLAR HOSPEDEIRAS DE EXOPLANETAS UTILIZANDO ESPECTROS HARPS SUL E NORTE"

ELLEN COSTA DE ALMEIDA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM ASTRONOMIA.

Aprovada por:

Prof. Dr. Luan Ghezzi Ferreira Pinho – Observatório do Valongo/UFRJ
(Orientador)

Profa. Dra. Katia Maria Leite da Cunha – Observatório Nacional e Steward Observatory/ASU
(Coorientadora)

Dra. Simone Daflon dos Santos – Observatório Nacional

Dra. Beatriz Leonor Silveira Barbuy – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP

Dr. Gustavo Frederico Porto de Mello – Observatório do Valongo/UFRJ

Dr. Diogo Martins Souto – Universidade Federal de Sergipe

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
26 DE AGOSTO DE 2026

À pequena Ellen que observou o céu noturno e se encantou. Às duas estrelas que iluminam meu céu e preenchem minha memória.

Agradecimentos

Às minhas maiores saudades, minha mãe e meu irmão, os primeiros que acreditaram nesse sonho de me tornar Astrônoma. Gostaria que estivessem presentes para ver a pessoa e profissional que me tornei, mas me alegra imaginar o quanto estariam felizes com este momento.

Ao meu pai, que mesmo falando que sou chata, consegue ser meu maior fã. Obrigada por ter aceitado me apoiar nessa longa jornada. Sem você, nada disso seria possível.

Ao Caio, meu companheiro, que no início do mestrado era apenas um amigo e, agora ao fim do doutorado, é meu marido. Sua presença na minha vida é um grande presente. Obrigada por todos os nossos momentos e por compartilhar sua família que me recebeu com tanto carinho e afeto.

Às minhas irmãs, Elis e Emily, minhas aliadas. Sou muito grata por ter vocês na minha vida e por cada dia estarmos mais próximas e unidas.

À Cacau, minha companheirinha de todos os dias. Mesmo odiando todas as horas que eu fico sentada em frente ao computador ao invés de estar brincando com você, conseguiu ser uma das criaturinhas que me trouxe mais alegria durante a pós-graduação.

Às pessoas que atiçaram em mim a curiosidade pela Astronomia: Matheus Costa, Matheus Coutinho e Luma Cerqueira, que me mostravam as posições dos astros no céu e me acompanhavam nas tentativas quase sempre falhas de ver eclipses ou chuvas de meteoros; Prof. Jocemar Moura Aguiar, meu primeiro professor de física, que me passou um trabalho para explicar como as estrelas se formam; Leonardo Ferreira, que me apresentou o Melodysheep; John D. Boswell, dono do canal Melodysheep, que usa seu talento e criatividade para criar vídeos que me inspiram e emocionam até hoje.

Às amigas e amigos queridos que fiz pelo caminho. Em especial, João Gabriel Macedo, Camila Esperança, Renato Grando, Fernanda Araújo, Mariana Dias, Yanna Martins, Yahira Mendoza, Maria Ubaldo, João Castelo, Matheus Bernini, Igor Nunes e Anna Marmute. Obrigada por tornarem meus dias mais felizes mesmo à distância.

Aos membros da *Lunar Astrobiology Society*, os "lunáticos" Serhat Sevgen, Fatima Li Hau e Paula Prondzinsky. Nossas discussões sobre ciência sempre me deram muito gás para enfrentar as dificuldades do mestrado e doutorado. Espero que continuemos superando todas as dificuldades de conciliar nossos cronogramas com os fusos horários do Canadá, Japão e Rio de Janeiro para nos reunirmos por muitos e muitos anos.

Ao meu orientador, pelo apoio incondicional durante todos estes 6 anos de parceria. Obrigada por aceitar minha ideia mirabolante de estudar somente elementos complicados e por acreditar no sucesso deste projeto do início ao fim. Você é um dos profissionais mais humanos que já conheci, uma verdadeira brisa de ar fresco dentro do ambiente acadêmico.

À minha coorientadora, por ser meu "bote salva-vidas" em momentos críticos. Nossas longas reuniões foram essenciais para a conclusão deste projeto e, também, muito divertidas. Discutir ciência com você sempre é um prazer imenso.

À minha psicóloga, Dominique Carilo, por ser essa profissional incrível que me ajuda a construir um caminho mais confortável de se trilhar.

Aos professores que tive a sorte de conhecer. Alex Arruda, "dono da UFJIT", que me ensinou tudo que sei de matemática; Bira Benício, que fez eu me apaixonar pela biologia; Gustavo Porto de Mello, meu primeiro orientador, quem me deu a oportunidade de ir ao telescópio e aprender a ser uma astrônoma observacional; Luan Ghezzi, por lecionar algumas das melhores matérias que fiz, atmosferas estelares, evolução estelar e exoplanetas; Eduardo Fraga, com os cursos desafiadores de Eletro I e II; Thiago Signorini, pelas divertidas aulas de Astrofísica Geral; João Victor Sales e Katia Cunha, por terem feito eu me apaixonar pela nucleossíntese; Hélio Rocha-Pinto, pelo maravilhoso curso de estrutura e dinâmica da Galáxia.

Ao grupo do *beach tennis*, galera mais maluca que eu poderia encontrar. Em especial, ao meu professor Deivison Chaves e à querida Margaret Melon. Enfrentar a etapa final do doutorado com a companhia de vocês tornou as coisas mil vezes mais fáceis.

Ao Dr. Jonathan Fortney, por ter apoiado financeiramente e aceitado me receber no *Other Worlds Laboratory* (OWL) para aprender sobre formação e estrutura de atmosferas planetárias com ele e com o Dr. Yayaati Chachan. Esta experiência me transformou.

À Dra. Eve Lee, por ter demonstrado interesse e pela disponibilidade de discutir comigo sobre meu projeto de doutorado. Seus comentários ajudaram a encontrar um problema nas abundâncias que, posteriormente, levou a uma reestruturação completa da nossa amostra. Graças a isso, fomos capazes de encontrar diversos resultados interessantes.

Às funcionárias e funcionários do Observatório Nacional que, com todo seu trabalho e esforço, mantêm o instituto funcionando para que nós do corpo docente e discente possamos executar nossas funções de forma fluida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro nos dois primeiros anos de doutorado (código de financiamento 001).

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio financeiro através da bolsa de doutorado nota 10 nos últimos dois anos de doutorado (E-26/203.647/2024).

Ao apoio financeiro do Observatório Nacional, que possibilitou minha participação no *XVII Latin American Regional IAU Meeting.*

Ao *Munich Institute for Astro-, Particle and BioPhysics* (MIAPbP), pelo apoio finan-

ceiro que possibilitou minha participação no *workshop "Habitability: The Astrophysical, Atmospheric, and Geophysical Implications"*.

"That you are here — that life exists and identity,
That the powerful play goes on, and you may contribute a verse."
O Me! O Life! (Walt Whitman)

Ellen Costa de Almeida

ABUNDÂNCIAS DE ELEMENTOS BIOESSENCIAIS C, O E S E REFRATÁRIOS FE E NI EM ESTRELAS DE TIPO SOLAR HOSPEDEIRAS DE EXOPLANETAS UTILIZANDO ESPECTROS HARPS SUL E NORTE

RESUMO

A correlação planeta-metalicidade indica que a formação planetária ocorre através do mecanismo de acreção de núcleo, mas a influência de outros elementos além do Fe neste processo ainda é desconhecida. Assim, expandir estudos de abundâncias estelares, particularmente de elementos bioessenciais como os CHONPS, é crucial para entendermos a composição e formação dos exoplanetas. Neste trabalho, determinamos parâmetros atmosféricos (temperatura efetiva, metalicidade e gravidade superficial) e evolutivos (idade, massa e raio), além de abundâncias químicas de C, O, S, Fe e Ni para 291 estrelas de tipo solar hospedeiras de exoplanetas utilizando espectros de alta resolução do HARPS Sul e Norte, e raios de 373 exoplanetas utilizando profundidades de trânsito do *NASA Exoplanet Archive*. Encontramos que estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes ($R_{pl} > 4\ R_{\oplus}$) têm abundâncias [X/H] elevadas em comparação com aquelas que possuem exoplanetas pequenos para todos os elementos estudados. Considerando apenas exoplanetas com $P_{orb} \leqslant 30$ dias, há uma anti correlação estatisticamente significativa entre a [Fe/H] da estrela hospedeira e o P_{orb} do exoplaneta. Contudo, a [Fe/H] não continua a diminuir à medida que o período orbital aumenta, mas sim sobe mais uma vez para exoplanetas com períodos orbitais mais longos. Estrelas hospedeiras exclusivamente de exoplanetas pequenos quentes ou mornos apresentam diferenças significativas entre as suas distribuições de abundâncias para todos os elementos estudados aqui. As razões C/O das estrelas hospedeiras variam entre 0,17 e 0,95, com o menor valor mediano ($0,43^{+0,02}_{-0,03}$) para hospedeiras de Jupíteres, enquanto as hospedeiras de sub-Netunos $3 - 4\ R_{\oplus}$ têm o maior valor mediano ($0,55^{+0,05}_{-0,01}$). Temos 199 exoplanetas com massas estimadas e, para estes, encontramos correlações entre as abundâncias de [O/H] e [S/H] das estrelas hospedeiras com $\log(M_{pl}/M_{\oplus})$. Ao segregar a amostra em estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, estas tendências são encontradas apenas para os mornos. Se dividirmos a amostra entre estrelas de baixa-[α/Fe] (91 exoplanetas) e alta-[α/Fe] (20 exoplanetas), encontramos tendências entre as abundâncias de [O/H], [S/H], [Fe/H] e [Ni/H] das estrelas hospedeiras e $\log(M_{pl}/M_{\oplus})$ apenas para a população com baixa-[α/Fe]. Estes resultados revelam importantes conexões entre a química estelar e as propriedades dos exoplanetas, trazendo novos elementos para a compreensão dos processos de formação planetária e um contexto valioso para a interpretação das composições atmosféricas dos exoplanetas.

Ellen Costa de Almeida

CHEMICAL ABUNDANCES OF THE BIOESSENTIAL ELEMENTS C, O AND S, AND THE REFRACTORY ELEMENTS FE AND NI, IN SOLAR-TYPE EXOPLANET-HOSTING STARS FROM HARPS NORTH AND SOUTH SPECTRA

ABSTRACT

The well-established planet-metallicity correlation indicates that planets form through the core accretion mechanism, but the influence of other elements besides Fe in this process is still unknown. Thus, expanding stellar abundance studies, particularly for bioessential elements like CHNOPS, is crucial for understanding exoplanet composition and formation. In this study, we determined atmospheric (effective temperature, metallicity and surface gravity) and evolutionary (age, radius and mass) parameters, along with chemical abundances of C, O, S, Fe, and Ni for 291 solar-type exoplanet hosting stars using high-resolution spectra from HARPS South and North, and radii for 373 exoplanets using transit depths from the NASA Exoplanet Archive. We find that stars hosting giant exoplanets ($R_{pl} > 4$ $R_{\oplus}$) show enhanced [X/H] abundances compared to those hosting small exoplanets for all elements analyzed. Considering only exoplanets with $P_{orb} \leqslant 30$ days, we find a statistically significant anticorrelation between host star [Fe/H] and P_{orb}. However, the metallicity does not continue to decline as the orbital period increases, but rises again for exoplanets having larger orbital periods. Stars hosting small hot or warm exoplanets show significant differences between their abundance distributions for all elements studied here. Host star C/O ratios range from 0.17 to 0.95, with Jupiter hosts having the lowest median value ($0.43^{+0.02}_{-0.03}$), while $3-4$ $R_{\oplus}$ sub-Neptune hosts exhibit the highest median value ($0.55^{+0.05}_{-0.01}$). In our sample, 199 exoplanets have masses determined. We find correlations between host star [O/H] and [S/H] and $\log(M_{pl}/M_{\oplus})$. We segregated the sample into hot and warm exoplanet hosts and noted that these trends are only found for warms. When dividing the sample between low-[α/Fe] (91 exoplanets) and high-[α/Fe] (20 exoplanets) stars, we find trends between host star [O/H], [S/H], [Fe/H] and [Ni/H] and $\log(M_{pl}/M_{\oplus})$ only for the low-[α/Fe] sample. These results reveal important links between stellar chemistry and exoplanet properties, offering new constraints on planet formation and valuable context for interpreting the composition of the atmospheres of exoplanets.

Lista de Figuras

1.1 Técnica de velocidade radial. 2
1.2 Técnica de trânsito planetário. 2
1.3 Elementos bioessenciais e o ciclo do carbono na Terra. 6

2.1 Exemplos de espectros com razões sinal-ruído variadas. 11
2.2 Distribuição da razão sinal-ruído dos espectros. 12

3.1 Diagrama de Kiel das 342 estrelas hospedeiras. 15
3.2 Distribuição dos erros associados aos parâmetros atmosféricos. 16
3.3 Comparações entre os parâmetros atmosféricos determinados neste trabalho e os valores compilados no catálogo PASTEL médio. 17
3.4 Isócronas teóricas PARSEC. 19
3.5 Distribuição dos parâmetros evolutivos. 22
3.6 Comparações entre os raios estelares determinados neste trabalho e os da literatura. 23
3.7 Comparações entre os raios dos exoplanetas determinados neste trabalho e os valores da literatura. 24

4.1 Espectro da estrela HD 1397 nas regiões que contemplam as linhas do C I em 5052 Å e 5380 Å. 28
4.2 Espectro da estrela HD 1397 na região que contempla a linha proibida do oxigênio em 6300 Å. 28
4.3 Espectro da estrela HD 1397 na região que contempla as linhas do S I em 6743 Å e 6757 Å. 29
4.4 Linhas telúricas ao redor da linha proibida do oxigênio em 6300 Å. 33
4.5 Exemplos dos melhores ajustes da síntese do oxigênio para estrelas com variadas SNRs. 35
4.6 Melhor ajuste da síntese do oxigênio no espectro solar Ceres 2009-02-08. . . 36
4.7 Tendências entre as abundâncias e a temperatura efetiva. 39
4.8 Diagramas de Tinsley-Wallerstein. 43
4.9 Razões de C/O, C/S e O/S em função da metalicidade. 44
4.10 Distribuição dos elementos-α em função da metalicidade. 45

4.11 Comparações entre as abundâncias de C, Ni e S determinadas neste trabalho e os valores da literatura. 46
4.12 Comparações entre as abundâncias de O determinadas neste trabalho e os valores da literatura. 48
4.13 Comparações entre as nossas abundâncias de oxigênio determinadas com a linha proibida do oxigênio em 6300 Å e com a linha do O I em 6158 Å. . . 49

5.1 Histogramas das distribuições de $\log(R_{\rm pl}/{\rm R}_\oplus)$, $\log(P_{\rm orb}/{\rm dia})$ e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ dos exoplanetas e abundâncias e razões de abundâncias das estrelas hospedeiras. 53
5.2 Distribuição de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos e gigantes. 56
5.3 Distribuição de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos quentes e mornos. 57
5.4 Distribuição de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes quentes e mornos. 58
5.5 Metalicidades das estrelas hospedeiras em função do raio dos exoplanetas. . 59
5.6 Abundâncias de C, O, S e Ni de estrelas hospedeiras em função do raio dos exoplanetas. 63
5.7 Razões C/O, C/S e O/S de estrelas hospedeiras em função do raio dos exoplanetas. 63
5.8 Metalicidades de estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas. 64
5.9 Abundâncias de C, O, S e Ni de estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas. 68
5.10 Razões C/O, C/S e O/S de estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas. 68
5.11 Abundâncias de Fe, Ni, C, O e S das estrelas hospedeiras em função das massas dos exoplanetas. 71
5.12 Razões de abundâncias C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras em função das massas dos exoplanetas. 72
5.13 Abundâncias de Fe, Ni, C, O e S das estrelas hospedeiras em função das massas dos exoplanetas (baixo-α e alto-α). 78
5.14 Razões de abundâncias C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras em função das massas dos exoplanetas (baixo-α e alto-α). 79
5.15 Distribuição das razões C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras em função da do raio e da temperatura de equilíbrio dos exoplanetas. 81
5.16 Distribuição de ΔC/O em função do $R_{\rm pl}$ e da $M_{\rm pl}$ dos exoplanetas. 82

A.1 Página *web* que disponibiliza os dados do HARPS-Sul. 128

A.2 Página *web* que disponibiliza os dados do HARPS-Norte. 130
A.3 Espectro solar Ceres 2009-08-02. 135
A.4 Página *web* do PARAM v1.3. 138

D.1 Extinção A_V do `StarHorse` em função da distância. 257
D.2 Comparação entre as magnitudes V convertidas do sistema Gaia e obtidas no SIMBAD. 257

Lista de Tabelas

2.1 Coordenadas da estrela e instrumento, número, razão sinal-ruído e velocidades dos espectros. 12

3.1 Parâmetros atmosféricos do Sol e das 342 estrelas da amostra. 15
3.2 Parâmetros de entrada e parâmetros evolutivos determinados através do código PARAM v1.3. 21
3.3 Parâmetros dos exoplanetas (versão reduzida). 25

4.1 Abundâncias de C, O, S e Ni do Sol (Ceres 2009-02-08) e das 291 estrelas da amostra. 37

5.1 Diferenças medianas de Fe, C, O, S, Ni, C/O, C/S, e O/S entre estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos$_{(10,30]}$. 69

B.1 Informações das estrelas (versão completa). 176
B.2 Parâmetros atmosféricos e evolutivos das estrelas (versão completa). 193
B.3 Parâmetros dos exoplanetas (versão completa). 211
B.4 Abundâncias das estrelas (versão completa). 229

C.1 Parâmetros atômicos e larguras equivalentes das linhas de Fe I e Fe II do espectro solar Ceres 2009-08-02. 246
C.2 Parâmetros atômicos e larguras equivalentes das linhas de C I e Ni I do espectro solar Ceres 2009-08-02. 251
C.3 Parâmetros atômicos e larguras equivalentes das linhas de S I do espectro solar Ceres 2009-08-02. 252
C.4 Parâmetros atômicos das linhas contidas na região do oxigênio. 253

Lista de Símbolos

$T_{\rm ef}$	Temperatura efetiva	K
[Fe/H]	Metalicidade	
$v_{\rm mic}$	Velocidade de microturbulência	$\mathrm{km\,s^{-1}}$
$\log g$	Logaritmo da gravidade superficial	
λ	Comprimento de onda	Å
Z	Número atômico	
$\chi_{\rm ex}$	Potencial de excitação	eV
$\log gf$	Força de oscilador vezes peso estatístico	
$\mathrm{C_6}$	Constante de amortecimento de Van der Waals	$(4\pi\,\mathrm{s}\,N_{\rm H})^{-1}$
π	Paralaxe	mas
V	Magnitude na banda V (sistema Johnson-Cousins)	mag
G	Magnitude na banda G (sistema Gaia)	mag
$\mathrm{G_{BP}}$	Magnitude na banda $\mathrm{G_{BP}}$ (sistema Gaia)	mag
$\mathrm{G_{RP}}$	Magnitude na banda $\mathrm{G_{RP}}$ (sistema Gaia)	mag
$\mathrm{A_V}$	Extinção interestelar na banda V (sistema Johnson-Cousins)	mag
$\mathrm{R_\odot}$	Raio equatorial do Sol	$6.95 \times 10^5\,\mathrm{km}$
$R_\star$	Raio estelar	$\mathrm{R_\odot}$
$\mathrm{M_\odot}$	Massa do Sol	$1.989 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$
$M_\star$	Massa estelar	$\mathrm{M_\odot}$
$\Delta F/F$	Profundidade de trânsito	
$R_\oplus$	Raio da Terra	6378.1 km

R_{pl}	Raio do exoplaneta	$\mathrm{R}_{\oplus}$
P_{orb}	Período orbital do exoplaneta	dia
$M_{\oplus}$	Massa da Terra	$5.9736 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}$
M_{J}	Massa de Júpiter	$1898.6 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}$
M_{pl}	Massa do exoplaneta	$\mathrm{M}_{\oplus}$
T_{eq}	Temperatura de equilíbrio	K
UA	Unidade Astronômica	$1.49 \times 10^{8}\,\mathrm{km}$
N_{X}	Número de átomos de X	

Lista de Abreviações

ESO ***E****uropean* ***S****outhern* ***O****bservatory*

TESS ***T****ransiting* ***E****xoplanet* ***S****urvey* ***S****atellite*

APOGEE ***A****pache* ***P****oint* ***O****bservatory* ***G****alactic* ***E****volution* ***E****xperiment*

CKS ***C****alifornia-****K****epler* ***S****urvey*

HIRES Espectrômetro *Echelle* de Alta Resolução (do inglês, **Hi**gh **R**esolution **E**chelle **S**pectrometer)

VUES ***V****ilnius* ***U****niversity* ***E****chelle* ***S****pectrograph*

HARPS ***H****igh* ***A****ccuracy* ***R****adial Velocity* ***P****lanet* ***S****earcher*

TNG ***T****elescopio* ***N****azionale* ***G****alileo*

DEC **Dec**linação

RA Ascensão Reta (do inglês, ***R****ight* ***A****scension*)

SNR Razão Sinal-Ruído (do inglês, ***S****ignal-to-****N****oise* ***R****atio*)

STScI ***S****pace* ***T****elescope* ***Sc****ience* ***I****nstitute*

IRAF ***I****mage* ***R****eduction and* ***A****nalysis* ***F****acility*

EW Largura Equivalente (do inglês, ***E****quivalent* ***W****idth*)

ETL **E**quilíbrio **T**ermodinâmico **L**ocal

SFR Taxa de Formação Estelar (do inglês, ***S****tellar* ***F****ormation* ***R****ate*)

IMF Função de Massa Inicial (do inglês, ***I****nitial* ***M****ass* ***F****unction*)

ADQL Linguagem de Busca de Dados Astronômicos (do inglês, ***A****stronomical* ***D****ata* ***Q****uery* ***L****anguage*)

ExoFOP Programa de Observação de Acompanhamento de Exoplanetas (do inglês, *The* ***Exo****planet* ***F****ollow-up* ***O****bserving* ***P****rogram*)

VALD ***V**ienna **A**tomic **L**ine **D**atabase*

MAD Desvio Absoluto ao redor da Mediana (do inglês, ***M**edian **A**bsolute* **D**eviation)

FWHM Largura a Meia Altura (do inglês, ***F**ull **W**idth at **H**alf **M**aximum*)

OLS Regressão Linear Ordinária (do inglês, ***O**rdinary **L**inear **R**egression*)

SPOCS Propriedades Espectroscópicas de Estrelas Frias (do inglês, ***S**pectroscopic **P**roperties **O**f **C**ool **S**tars*)

HST Telescópio Espacial Hubble (do inglês, ***H**ubble **S**pace **T**elescope*)

JWST ***J**ames **W**ebb **S**pace **T**elescope*

IGRINS ***I**mmersion **GR**ating **IN**frared **S**pectrometer*

Sumário

Lista de Figuras xvii

Lista de Tabelas xxi

Lista de Símbolos xxiv

Lista de Abreviações xxv

1 Introdução 1

2 Amostra 9

3 Parâmetros Estelares e Exoplanetários 13
3.1 Parâmetros Atmosféricos Estelares . . . 13
3.2 Parâmetros Evolutivos Estelares . . . 18
3.3 Raios dos Exoplanetas . . . 22

4 Abundâncias Químicas 27
4.1 Linhas Atômicas . . . 27
4.2 Carbono, Enxofre e Níquel . . . 30
4.3 Oxigênio . . . 31
4.4 Incertezas . . . 36
4.5 Tendências com Temperatura Efetiva . . . 37
4.6 Distribuições de Abundâncias Estelares . . . 40
4.7 Comparações com a Literatura . . . 45
4.7.1 Carbono, Níquel e Enxofre . . . 45
4.7.2 Oxigênio . . . 47

5 Resultados 51
5.1 Sistemas com um Exoplaneta *versus* Multiplanetários . . . 52
5.2 Exoplanetas gigantes *versus* pequenos . . . 54
5.2.1 Exoplanetas pequenos: quentes *versus* mornos . . . 55
5.2.2 Exoplanetas gigantes: quentes *versus* mornos . . . 56

5.3 Tendências com o raio dos exoplanetas . . . 57
5.4 Tendências com os períodos orbitais dos exoplanetas . . . 64
5.5 Tendências com a massa dos exoplanetas . . . 70
5.5.1 Sistemas com um exoplaneta e multiplanetários . . . 76
5.5.2 Populações de estrelas com baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe] . . . 76
5.6 Razões de abundâncias: estrelas e exoplanetas . . . 80
5.6.1 Razões C/O . . . 80
5.6.2 Razões C/S e O/S . . . 84

6 Conclusões e Perspectivas Futuras **87**

Referências Bibliográficas **93**

A *Pipelines* Python **127**
A.1 Obtenção dos espectros . . . 127
A.1.1 HARPS-Sul . . . 127
A.1.2 HARPS-Norte . . . 130
A.2 Tratamento dos Espectros . . . 134
A.2.1 Correção Doppler . . . 134
A.3 PARAM v1.3 . . . 137
A.4 Cálculo das larguras equivalentes com o ARES v2 . . . 140
A.5 Determinação das abundâncias . . . 147
A.5.1 Carbono e Níquel (*driver* `abfind`) . . . 148
A.5.2 Enxofre (*driver* `blends`) . . . 153
A.5.3 Oxigênio (*driver* `synth`) . . . 157

B Tabelas **175**

C Listas de linhas **245**
C.1 Fe I e Fe II . . . 246
C.2 C I e Ni I (*driver* `abfind`) . . . 251
C.3 S I (*driver* `blends`) . . . 252
C.4 [O I] (*driver* `synth`) . . . 253

D Testes de robustez dos resultados **255**
D.1 Estrelas com A_V discrepantes . . . 256
D.2 Magnitudes V . . . 256
D.3 $A_V = 0$ para estrelas hospedeiras dentro de um raio de 75 pc . . . 259
D.4 Indicador de qualidade do `StarHorse` . . . 260
D.5 Teste combinado . . . 261

Capítulo 1

Introdução

Desde a descoberta de 51 Pegasi b, o primeiro exoplaneta orbitando uma estrela de tipo solar (Mayor e Queloz 1995), progressos significativos foram feitos por meio de diversas técnicas e instrumentos utilizados para detectar exoplanetas. Consequentemente, ultrapassamos a marca de 6200 exoplanetas detectados (*NASA Exoplanet Archive*[1]). Entre essas técnicas, as responsáveis pela grande maioria das detecções são a de velocidade radial e trânsito planetário.

A técnica de velocidade radial, responsável pela detecção de 51 Pegasi b, consiste em detectar exoplanetas através das variações de velocidade radial da estrela hospedeira. Uma estrela sozinha, como um corpo isolado, tem o centro de massa do seu "sistema" localizado exatamente no seu centro, ou seja, ela gira perfeitamente ao redor de seu centro. Contudo, ao fazer parte de um sistema planetário e possuir corpos em sua órbita, o centro de massa do sistema não está mais perfeitamente posicionado no centro da estrela, mas deslocado. Dessa forma, a estrela orbita o centro de massa deslocado e esse movimento pode ser detectado através da espectroscopia pela análise do desvio Doppler das suas linhas espectrais (ver Figura 1.1). Como a estrela representa quase toda a massa do sistema, este deslocamento é bem pequeno e a amplitude da variação da velocidade radial depende da massa do exoplaneta. Assim, é possível estimar a massa mínima do exoplaneta com esta técnica, $M_{\rm pl}\,\mathrm{sen}\,i$, onde $M_{\rm pl}$ é a massa do exoplaneta e i é a inclinação orbital, visto que a inclinação não é conhecida na maioria dos casos. Como exemplo, os espectrógrafos gêmeos HARPS-Sul (Mayor *et al.* 2003) e HARPS-Norte (Cosentino *et al.* 2012) têm como objetivo exclusivo a busca de exoplanetas através da técnica de velocidade radial.

A técnica de trânsito planetário consiste em observar a redução temporária do brilho da estrela hospedeira causado pela passagem do exoplaneta em frente a ela sob a perspectiva de um observador na Terra (ver Figura 1.2). A diferença entre o brilho da estrela antes do início da passagem do planeta e durante a passagem completa do planeta (quando o fluxo estelar atinge seu mínimo) é chamada de profundidade de trânsito, definida como $\Delta F/F =$

[1] Acessado em Junho de 2026.

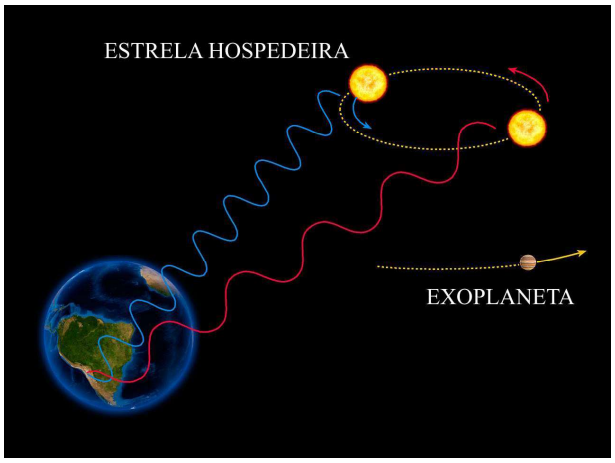


Figura 1.1: Técnica de velocidade radial para detecção de exoplanetas. Fonte: ESO (adaptada).

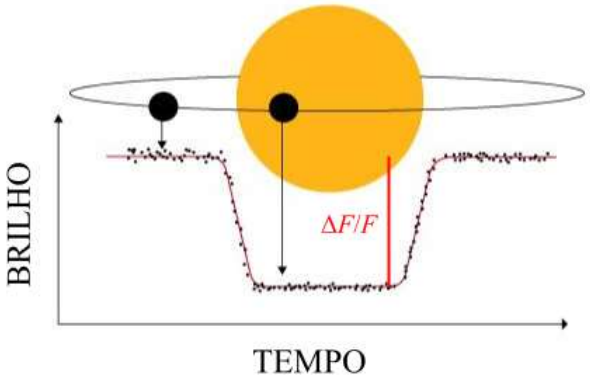


Figura 1.2: Técnica de trânsito planetário para a detecção de exoplanetas. A linha vermelha representa a profundidade de trânsito ($\Delta F/F$). Fonte: OpenLearn (https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=87798&section=_unit5.3.1, acessada em 26 de junho de 2026), adaptada.

$(R_{\rm pl}/R_\star)^2$. Assim, com a observação do trânsito planetário, é possível estimar o raio, o período orbital e a inclinação orbital do exoplaneta. Se houver $M_{\rm pl}\sin i$ determinado para o exoplaneta, podemos determinar sua massa. Como exemplo, as missões Kepler (Borucki *et al.* 2010; Koch *et al.* 2010) e TESS (Ricker *et al.* 2015) têm como o objetivo exclusivo a busca de exoplanetas através da técnica de trânsito planetário. Portanto, a descoberta de uma grande variedade de exoplanetas, associada a uma caracterização detalhada das suas estrelas hospedeiras permite investigações mais profundas acerca da formação, evolução e habitabilidade planetária.

Inicialmente proposta por Gonzalez (1997) e investigada para uma quantidade maior de estrelas hospedeiras, por exemplo, Fischer e Valenti (2005), a correlação planeta-metalicidade[2] aponta que a presença de exoplanetas gigantes de período curto é favorecida

[2]Metalicidade ([Fe/H]) é comumente utilizada como um indicador da abundância de metais da estrela, por mais que ele seja baseado na abundância de ferro ($[{\rm Fe/H}] = \log_{10}(N_{\rm Fe}/N_{\rm H})_\star - \log_{10}(N_{\rm Fe}/N_{\rm H})_\odot$), onde $N_{\rm X}$ é o número de átomos do elemento X.

ao redor de estrelas ricas em metais (por exemplo, Mortier *et al.* 2013; Ghezzi *et al.* 2018). Essa correlação, até hoje, se mantém como a conexão mais marcante entre os exoplanetas e suas estrelas hospedeiras, diretamente impactando nossa visão acerca da formação planetária, fornecendo suporte ao modelo de formação através da acreção de núcleo (por exemplo, Pollack *et al.* 1996; Ida e Lin 2004). Contudo, ainda não se sabe até que ponto esta correlação, que enfraquece com a diminuição do raio do exoplaneta (Teske 2024), é válida para exoplanetas menores – especialmente terrestres (por exemplo, Buchhave *et al.* 2014; Wang e Fischer 2015; Petigura *et al.* 2018b; Adibekyan 2019; Wilson *et al.* 2022; Wanderley *et al.* 2025). Em particular, Petigura *et al.* (2018b) encontraram que a ocorrência de super-Terras mornas ($10 < P_{\rm orb} \leqslant 100$ dias e $1 \leqslant R_{\rm pl} < 1,7\ R_{\oplus}$) permanece aproximadamente constante, 20 para cada 100 estrelas (20%), ao redor de estrelas com metalicidades entre -0,40 e 0,40. Para sub-Netunos mornos ($1,7 \leqslant R_{\rm pl} < 4\ R_{\oplus}$), esse número duplica para 40%. Contudo, para super-Terras quentes ($P_{\rm orb} \leqslant 10$ dias), eles encontraram uma ocorrência de 4% ao redor de estrelas com [Fe/H] entre -0,40 e -0,20, subindo para 10% ao redor de estrelas mais ricas, com [Fe/H] entre 0,20 e 0,40. Ademais, para sub-Netunos quentes, a taxa de ocorrência aumenta de 1% para 8%, respectivamente, para os mesmos intervalos de [Fe/H]. Estes resultados são similares aos de Mulders *et al.* (2016) e Wilson *et al.* (2018), que encontraram que a ocorrência de exoplanetas pequenos quentes ($R_{\rm pl} < 4$ R$_{\oplus}$) ao redor de estrelas com metalicidades acima do valor solar é maior quando comparada à taxa de exoplanetas ao redor de estrelas com metalicidades abaixo do valor solar.

Com o aumento do número de estudos de abundâncias químicas de estrelas devido à crescente disponibilidade de espectros, especialmente através de grandes *surveys* espectroscópicos (por exemplo, GALAH; APOGEE; Gaia-ESO), se torna possível a análise da correlação planeta-metalicidade com uma maior riqueza de detalhes – particularmente para exoplanetas pequenos detectados pelas missões Kepler e TESS. Wilson *et al.* (2022), utilizando abundâncias do *Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment* (APOGEE, Majewski *et al.* 2017), exploraram a conexão estrela-planeta para 10 elementos (C, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Mn, Fe, e Ni). Eles confirmaram os resultados de Petigura *et al.* (2018b) acerca da taxa de ocorrência de exoplanetas com a [Fe/H] e expandiram para outros 9 elementos, encontrando que a taxa de ocorrência de super-Terras e sub-Netunos aumenta em $\sim 20\%$ e $\sim 60\%$, respectivamente, com o aumento de 0,10 em [X/H] das estrelas hospedeiras. Contudo, Wilson *et al.* (2022) acharam taxas de ocorrência menores para exoplanetas mornos. Trazendo outro exemplo, Ghezzi *et al.* (2026) determinaram abundâncias de 13 elementos refratários (Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni e Cu) para 561 estrelas hospedeiras do *California-Kepler Survey* (CKS, Petigura *et al.* 2017) utilizando espectros de alta-resolução do Keck-HIRES (*High Resolution Echelle Spectrometer*, Vogt *et al.* 1994) e encontraram que as abundâncias de [X/H] de Al, Si, Ca, Fe, Co, e Ni de estrelas com apenas exoplanetas quentes são estatis-

ticamente maiores em comparação com estrelas com apenas exoplanetas mornos. Além disso, eles também encontraram que estrelas hospedeiras de exoplanetas exclusivamente gigantes têm abundâncias [X/H] de Al, Si, Sc, Ti, Cr, Fe, e Co significativamente maiores em relação a estrelas hospedeiras de exoplanetas exclusivamente pequenos.

Focando nos resultados para os elementos bioessenciais (C, O e S) em amostras de estrelas hospedeiras de exoplanetas, Brugamyer *et al.* (2011) não encontraram probabilidades significativas de que a taxa de detecção de exoplanetas dependa da abundância de oxigênio da estrela hospedeira ($\sim$ 45%). Costa Silva *et al.* (2020) determinaram abundâncias de enxofre para 719 estrelas FGK da amostra HARPS-GTO e encontraram que exoplanetas de baixa massa (super-Terras e sub-Netunos) são mais frequentemente encontrados ao redor de estrelas com maior [S/Fe][3]. Para a mesma amostra, Delgado Mena *et al.* (2021) não encontraram diferenças significativas entre as distribuições de [C/Fe] de estrelas hospedeiras de exoplanetas com massas acima e abaixo de 30 $M_{\oplus}$. Por fim, Wilson *et al.* (2022) encontraram fortes correlações entre a distribuição de [S/Fe] das estrelas hospedeiras com o raio e o período orbital dos exoplanetas, das quais a correlação com período orbital não segue o comportamento observado com [Fe/H] (anticorrelação).

Razões de abundâncias de elementos podem fornecer informações importantes acerca da distribuição de espécies químicas no disco protoplanetário, servindo como traçadores da localização relativa da formação planetária (por exemplo, Thiabaud *et al.* 2015a, 2015b). Por conta disso, o C/O[4] foi a primeira razão de abundância proposta para traçar a formação de planetas gigantes (por exemplo, Seager *et al.* 2005; Öberg *et al.* 2011), visto que a disponibilidade de C e O no disco protoplanetário dita os locais nos quais o planeta acreta a maior parte da sua massa (por exemplo, Thiabaud *et al.* 2015b). Como exemplo, Teske *et al.* (2014) determinaram razões C/O de 16 estrelas hospedeiras de Jupíteres quentes e não encontraram tendências significativas entre a razão C/O das estrelas hospedeiras e a temperatura de equilíbrio[5] e o raio dos exoplanetas. Suárez-Andrés *et al.* (2018) investigaram a razão C/O das estrelas hospedeiras em função da massa dos exoplanetas para uma amostra de 99 estrelas hospedeiras de tipo solar da amostra HARPS-GTO e encontraram que 86% das estrelas hospedeiras de exoplanetas massivos ($M_{pl} > 30\ M_{\oplus}$) apresentam razões C/O entre 0,40 e 0,80, enquanto 14% delas tinham razões C/O abaixo de 0,40, resultando em uma razão C/O média de 0,46$\pm$0,11 e 0,50$\pm$0,10 para estrelas hospedeiras de exoplanetas de baixa e alta massa, respectivamente. Ademais, Sharma *et al.* (2024) determinou abundâncias de C, N, O, Mg, Si e Fe para uma amostra de 149 anãs FGK hospedeiras de exoplanetas gigantes utilizando espectros de alta-resolução do VUES (*Vilnius University Echelle Spectrograph*, Jurgenson *et al.* 2016) e não encontraram tendências entre [C/Fe], [O/Fe] e C/O das estrelas hospedeiras e as massas dos exoplanetas.

[3] [X/Fe] = [X/H] − [Fe/H].

[4] $C/O = 10^{A(C)-A(O)}$, onde A(X) é a abundância absoluta de X, isto é, $A(X) = \log(N_X)$.

[5] Temperatura de um planeta se este fosse um corpo negro, isto é, se ele emitisse a mesma quantidade de energia que absorve da estrela.

Ainda há um número significativo de estrelas, especialmente hospedeiras de exoplanetas, que não têm determinações de abundâncias para uma grande variedade de elementos além do Fe. Para exemplificar, $\sim$ 24% das estrelas com abundâncias compiladas no Catálogo Hypatia[6] (Hinkel *et al.* 2014) não têm abundâncias de carbono, enquanto $\sim$ 25% e $\sim$ 57% não têm abundâncias de oxigênio e enxofre, respectivamente. Além disso, as estrelas com abundâncias destes elementos possuem, geralmente, grandes incertezas associadas. Tendo em vista que estes elementos são importantes não só para a formação planetária, mas também para a habitabilidade dos exoplanetas, o aumento do número de abundâncias homogêneas consiste em uma contribuição fundamental para a área – especialmente para os elementos biologicamente e geologicamente essenciais para a vida na Terra (elementos bioessenciais).

Os elementos bioessenciais, também conhecidos como CHONPS (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre), são elementos essenciais para a vida como a conhecemos. Biologicamente, estes elementos estão presentes no metabolismo dos seres vivos e constituem as estruturas do ATP (a molécula energética das células, $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$) e do DNA (código genético). Contudo, estes elementos também são importantes para a vida no contexto geológico, uma vez que eles estão presentes em todas as camadas do nosso planeta, com exceção do fósforo na atmosfera (ver Figura 1.3). Além disso, eles fazem parte do ciclo regulador de temperaturas do nosso planeta, o ciclo do carbono, responsável por manter as temperaturas equilibradas e amenas. Este ciclo é tão importante que, em conjunto com a tectônica de placas (capaz de aumentar o fluxo dos CHNOPS pelas camadas do planeta), a sua presença foi associada a um dos possíveis requerimentos universais para termos planetas habitáveis (Ehlmann *et al.* 2016). Portanto, estes elementos podem fornecer informações valiosas acerca da composição interna e atmosférica e, consequentemente, da habitabilidade planetária (por exemplo, Hinkel e Unterborn 2018). O estudo da habitabilidade planetária é atualmente um campo robusto que permeia várias áreas do conhecimento, incorporando modelos de formação e composição planetária (por exemplo, Thiabaud *et al.* 2015a, 2015b), modelos climáticos (por exemplo, Shields 2019), modelos de ecologia (por exemplo, Méndez *et al.* 2021), ciclos geológicos e tectônica de placas (por exemplo, Ehlmann *et al.* 2016). Dessa forma, por conta destes avanços, o próprio conceito de habitabilidade se expandiu, considerando agora não só apenas a presença de água líquida na superfície do planeta, mas também a disponibilidade de elementos essenciais para a vida como a conhecemos (CHONPS) por um longo período de tempo, o suficiente para que a vida surja, sobreviva e evolua (por exemplo, Krijt *et al.* 2022).

Nesta tese, contribuímos para o aumento de abundâncias químicas homogêneas de elementos bioessenciais (C, O e S) e refratários (Ni e Fe) de estrelas hospedeiras de tipo solar. Para isso, utilizamos espectros públicos de alta resolução dos espectrógrafos HARPS-Sul e HARPS-Norte. Nosso foco foi garantir a determinação homogênea dos

[6] hypatiacatalog.com

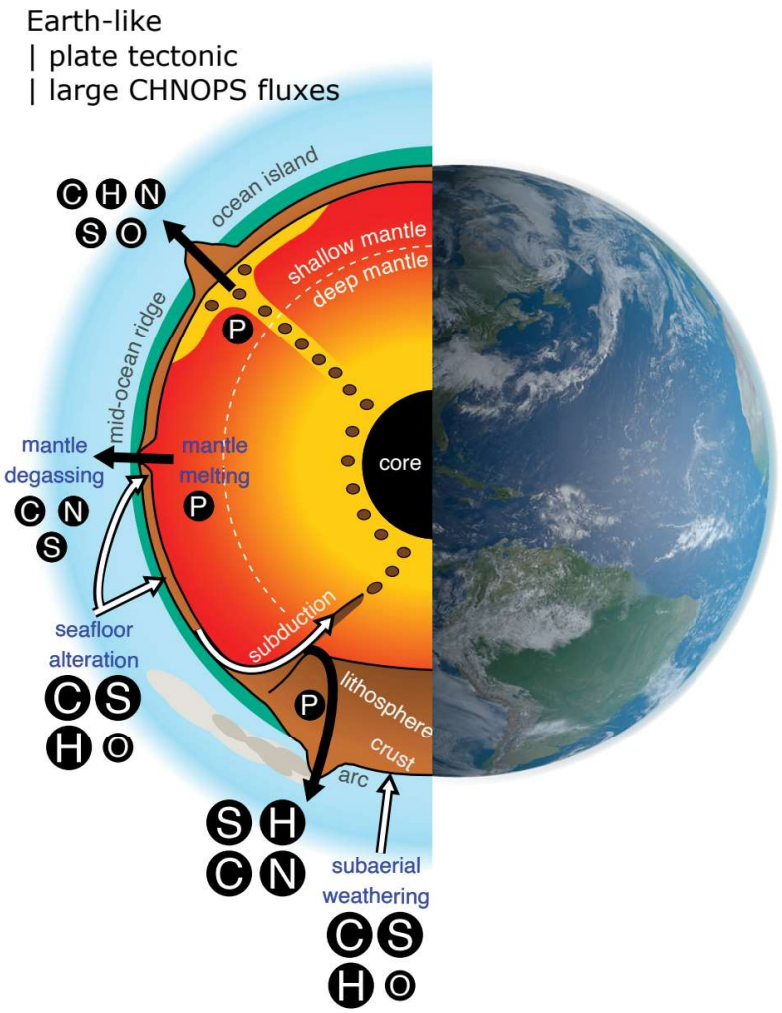


Figura 1.3: Elementos bioessenciais e o ciclo do carbono na Terra. Fonte: Na esquerda, Figura 1 de Krijt *et al.* 2022 e, na direita, Pixabay (`https://pixabay.com/illustrations/earth-world-globe-planet-blue-1755443/`, acessada em 15 de setembro de 2026), ambas editadas.

parâmetros atmosféricos (temperatura efetiva, metalicidade, gravidade superficial e velocidade de microturbulência), evolutivos (idade, raio e massa) e das abundâncias químicas das estrelas hospedeiras – essencial para a minimização das incertezas sistemáticas e discrepâncias introduzidas pela utilização de métodos de análise variados, ajudando assim a preservar a confiabilidade das comparações e das possíveis correlações encontradas. Neste contexto, investigamos a conexão estrela-planeta através da análise das relações entre as abundâncias químicas das estrelas hospedeiras e as propriedades dos exoplanetas, como raio, período orbital e massa. Estas análises contribuem para o aprimoramento das teorias de formação planetária, explorando em profundidade como a distribuição das moléculas evolui ao longo do disco protoplanetário e o quão semelhante é a composição final dos exoplanetas em comparação com suas estrelas hospedeiras. Os resultados aqui expostos foram publicados no *The Astrophysical Journal* (Costa-Almeida *et al.* 2026).

Esta tese está organizada da seguinte forma. A amostra de estrelas hospedeiras está

descrita no Capítulo 2. Os parâmetros atmosféricos e evolutivos estelares e os raios dos exoplanetas são determinados no Capítulo 3. As abundâncias químicas de C, O, S e Ni são determinadas no Capítulo 4. A discussão das conexões estrela-planeta são apresentadas no Capítulo 5. As conclusões e perspectivas futuras são apresentadas no Capítulo 6. As *pipelines* desenvolvidas neste trabalho são apresentadas no Apêndice A. As tabelas listando os parâmetros atmosféricos, evolutivos e as abundâncias das estrelas hospedeiras determinados neste trabalho, além dos raios dos exoplanetas calculados, estão no Apêndice B. As listas de linhas atômicas estão no Apêndice C. Por fim, trazemos alguns testes de robustez dos resultados no Apêndice D.

Capítulo 2

Amostra

O *NASA Exoplanet Archive* (NASA Exoplanet Archive 2025[1]) é uma base de dados de exoplanetas constantemente atualizada. Através dela, fizemos a busca por exoplanetas confirmados e com determinações de profundidade de trânsito ao redor de estrelas com temperatura efetiva ($T_{\rm ef}$) entre 5000 e 6500 K e logaritmo da gravidade superficial ($\log g$) acima de 4,0. Encontramos um total de 1399 estrelas hospedeiras seguindo estes critérios.

Os espectros utilizados neste trabalho são dados públicos de alta-resolução dos espectrógrafos HARPS-Sul (Mayor *et al.* 2003) e HARPS-Norte (Cosentino *et al.* 2012). Os dados do hemisfério sul são disponibilizados através do *ESO Science Archive Facility*[2] e os do norte pelo *Italian Center for Astronomical Archive* (IA2)[3]. Os espectrógrafos HARPS (***H**igh **A**ccuracy **R**adial Velocity **P**lanet **S**earcher*) são gêmeos e têm resolução de 115.000, cobrindo um intervalo de comprimento de onda de 3780 Å – 6910 Å. O espectrógrafo HARPS-Sul está instalado no telescópio ESO (*European Southern Observatory*) de 3,6 m em La Silla, Chile, e o HARPS-Norte no TNG (*Telescopio Nazionale Galileo*), telescópio de 3,6 m em La Palma, nas Ilhas Canárias, Espanha.

Devido às limitações de declinação (DEC) dos telescópios, buscamos no HARPS-Sul apenas estrelas com DEC $\leqslant 30^\circ$ e, no HARPS-Norte, com DEC $\geqslant -30^\circ$. Durante a obtenção dos espectros, fizemos a busca pela identificação da estrela (por exemplo, HD 189733) em um intervalo de 2 arcmin ($\sim 0,03^\circ$). Contudo, alguns espectros podem ter a identificação da estrela em questão mas serem de outros objetos – obtidos para a calibração dos dados observacionais. Portanto, utilizamos as coordenadas disponíveis no *NASA Exoplanet Archive* para fazer uma segunda filtragem nos espectros obtidos a partir das coordenadas contidas nos cabeçalhos dos espectros. Tendo em vista as variações observadas na RA (ascensão reta) e na DEC dos espectros, consideramos aceitáveis todos com $|\Delta\text{RA}| < 0,02$ graus e $|\Delta\text{DEC}| < 0,02$ graus (~1,2 arcmin). Para baixar os espec-

[1] Acessado em 12/09/2025 às 08:55, contendo 39778 linhas. Este serviço é disponibilizado pelo *NASA Exoplanet Science Institute* no IPAC, que é operado pelo *California Institute of Technology* sob contrato com a *National Aeronautics and Space Administration*.

[2] https://archive.eso.org/wdb/wdb/adp/phase3_spectral/form

[3] http://archives.ia2.inaf.it/tng/

tros, desenvolvemos *pipelines* em Python[4]. O manual e conteúdo das *pipelines* pode ser encontrado no Apêndice A.1.

Das 1399 estrelas, apenas 410 tinham espectros disponíveis nos *archives* do HARPS. Os cabeçalhos dos espectros contém a razão sinal-ruído (SNR) representativa do espectro, sendo esta calculada a partir da mediana da SNR de cada ordem echelle. A partir destes valores, calculamos a SNR total dos espectros combinados,

$$\mathrm{SNR}_{\mathrm{total}} = \left(\sum_{i=1}^{n} \mathrm{SNR}_i^2 \right)^{1/2}, \tag{2.1}$$

onde n é o número total de espectros de cada estrela. Neste trabalho, mantivemos apenas estrelas com $\mathrm{SNR}_{\mathrm{total}} \geqslant 30$, mesmo valor utilizado por Ghezzi *et al.* (2026). Neste processo, 60 estrelas não passaram no corte, restando 350 estrelas. Dentre elas, obtivemos os espectros da estrela XO-2 S que, por mais que seja hospedeira, não tem determinação de profundidade de trânsito de seu exoplaneta. Isso ocorreu devido ao fato de que ela faz parte do sistema binário XO-2 com sua companheira XO-2 N que, por sua vez, tem medida de profundidade de trânsito.

Os espectros já vêm reduzidos através das *pipelines* dos instrumentos. Portanto, nós utilizamos a função `fxcor` do PyRAF[5] para calcular a velocidade relativa dos espectros em relação ao espectro solar (em repouso no referencial heliocêntrico) Ceres 2009-02-08[6] (daqui em diante, Ceres) e, posteriormente, a função `dopcor` para corrigir o efeito Doppler (ver Apêndice A.2.1). Por fim, utilizamos a função `scombine` para combinar os espectros individuais com o objetivo de aumentar a SNR ($\mathrm{SNR}_{\mathrm{combinado}} = \mathrm{SNR}_{\mathrm{total}}$) e ter apenas um espectro por estrela. A SNR mediana dos espectros combinados é de 145, tendo ∼35% com $\mathrm{SNR} \leqslant 100$, ∼28% com $100 < \mathrm{SNR} \leqslant 200$, ∼13% com $200 < \mathrm{SNR} \leqslant 300$ e ∼24% com $\mathrm{SNR} > 300$. Na Figura 2.1, mostramos exemplos de espectros com SNRs variadas na região entre 6295 Å e 6305 Å, incluindo os espectros com menor (WASP-88, SNR = 30) e maior (TOI-1776, SNR = 496) SNR da nossa amostra. Além disso, na Figura 2.2, mostramos o histograma da distribuição das SNRs dos espectros. Por fim, na Tabela 2.1, apresentamos as informações acerca das 350 estrelas hospedeiras da nossa amostra composta majoritariamente por anãs F e G, com exceção de algumas estrelas de tipo K e subgigantes.

[4]Linguagem de programação. Para mais informações, acesse https://www.python.org/.

[5]PyRAF é uma linguagem de comando para o IRAF baseada na linguagem de programação Python desenvolvida pelo STScI (Space Telescope Science Institute). O IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) é um *software* de redução e análise de dados astronômicos (Tody 1986).

[6]Espectro da luz solar refletida pelo planeta anão Ceres, observado em 8 de Fevereiro de 2009 e obtido da coleção de espectros solares HARPS (https://www.eso.org/sci/facilities/lasilla/instruments/harps/inst/monitoring/sun.html).

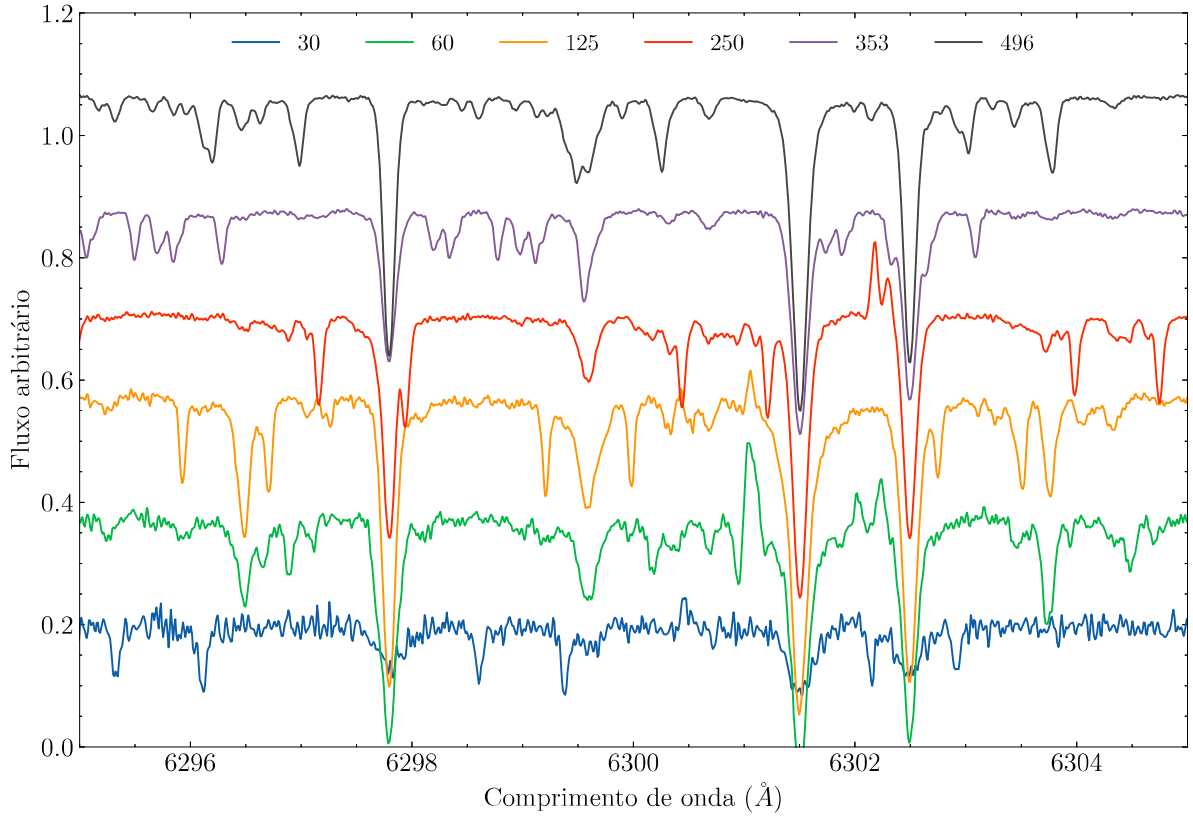


Figura 2.1: Exemplos de espectros com razões sinal-ruído variadas. De baixo para cima, temos as estrelas WASP-88 (SNR = 30), WASP-70A (SNR = 60), K2-105 (SNR = 125), WASP-21 (SNR = 250), K2-167 (SNR = 353) e TOI-1776 (SNR = 496).

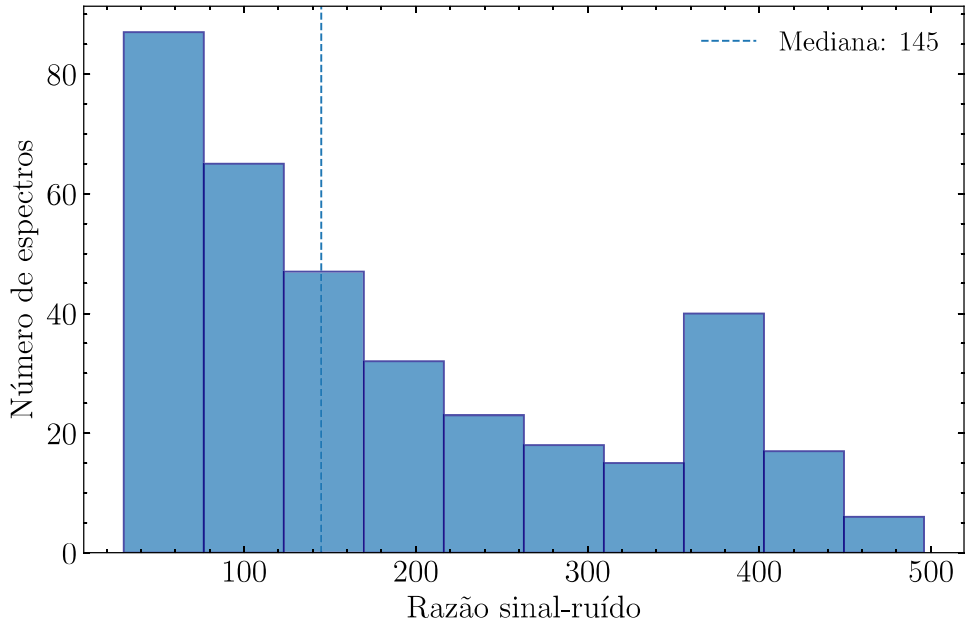


Figura 2.2: Distribuição da razão sinal-ruído dos espectros, onde a linha tracejada indica a SNR mediana.

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	HARPS	$N_{\text{espectros}}$	SNR	VR (km s^{-1})
55 Cnc	133,1468373	28,3298154	N	3	486	27,648±0,106
BD+20 594	53,6511231	20,5990205	S	24	150	-20,094±0,042
CoRoT-1	102,0798591	-3,1021394	S	34	87	23,795±0,158
CoRoT-4	102,1946233	-0,6727861	S	25	75	32,556±0,151

Tabela 2.1: Coordenadas da estrela e instrumento, número e sinal-ruído dos espectros. A coluna 1 contém a identificação da estrela. As colunas 2 e 3 contêm as coordenadas de ascensão reta (RA) e declinação (DEC), respectivamente. A coluna 4 indica de qual instrumento vieram os espectros, HARPS-Sul (S) e/ou HARPS-Norte (N). As colunas 5 e 6 contêm o número de espectros combinados e a razão sinal-ruído total do espectro combinado, respectivamente. A coluna 7 contém a velocidade radial calculada neste trabalho utilizando a função `fxcor` do IRAF. As informações contidas nesta tabela estão disponíveis de forma completa nas Tabelas B.1 e B.2, apenas uma porção está apresentada aqui.

Capítulo 3

Parâmetros Estelares e Exoplanetários

3.1 Parâmetros Atmosféricos Estelares

Determinamos os parâmetros atmosféricos, temperatura efetiva ($T_{\rm ef}$), metalicidade ([Fe/H][1]), gravidade superficial ($\log g$) e velocidade de microturbulência ($v_{\rm mic}$) e suas incertezas associadas utilizando a metodologia descrita em Ghezzi *et al.* (2018, 2021) e aplicada em Martinez *et al.* (2019). Nela, o método espectroscópico clássico (por exemplo, Takeda *et al.* 2002), baseado nos equilíbrios de excitação e ionização das linhas de Fe I e Fe II, é aplicado a partir de uma *pipeline* automatizada desenvolvida na linguagem Python. De forma simplificada, a *pipeline* utiliza:

1. uma estimativa inicial para os parâmetros atmosféricos;
2. modelo de atmosfera;
3. uma lista de linhas contendo os parâmetros atômicos e as larguras equivalentes (EW[2]) do espectro de interesse;
4. *driver* `abfind` do código MOOG.

Para a estimativa inicial, utilizamos os valores de $T_{\rm ef}$, [Fe/H] e $\log g$ disponíveis no *NASA Exoplanet Archive* e 1,000 km s^{-1} para $v_{\rm mic}$. A grade de modelos 1D de atmosfera utilizada pela *pipeline* é a Kurucz ATLAS9 ODFNEW (Castelli e Kurucz 2003), a qual assume equilíbrio termodinâmico local (ETL), equilíbrio hidrostático e geometria plano-paralela. Além disso, a convecção é tratada através da teoria do comprimento de mistura (*mixing-length*) sem *overshooting* convectivo. Ele descreve um total de 72 camadas da atmosfera estelar, desde a base da fotosfera até a superfície, e cobre as faixas de parâmetros atmosféricos: *i*) 3500 K $\leqslant T_{\rm ef} \leqslant$ 50000 K; *ii*) -2,5 $\leqslant$ [Fe/H] $\leqslant$ 0,5; *iii*) 0,0 $\leqslant \log g \leqslant$ 5,0.

[1] A metalicidade é utilizada como um indicador geral da quantidade de metais presente na estrela, mesmo sendo baseado na abundância de Fe. $[{\rm Fe/H}] = \log_{10}(N_{\rm Fe}/N_{\rm H})_\star - \log_{10}(N_{\rm Fe}/N_{\rm H})_\odot$, onde $N_{\rm X}$ é o número de átomos do elemento X.

[2] Do inglês, ***e**quivalent **w**idth*.

A lista de linhas utilizada contém 158 linhas do Fe I e 18 linhas do Fe II entre 5023 Å e 6862 Å (Tabela C.2 de Ghezzi *et al.* 2018). Para calcular as larguras equivalentes (EW) das linhas espectrais, usamos o programa ARES v2 (Sousa *et al.* 2007, 2015) que faz esta tarefa de forma automatizada. Os parâmetros de entrada utilizados foram: *i*) `lambdai` = 4000,0 Å; *ii*) `lambdaf`= 9000,0 Å; *iii*) `smoother`= 4; *iv*) `space`= 2,0 Å; *v*) `rejt`= SNR do espectro; *vi*) `lineresol`= 0,1 Å; *vii*) `miniline`= 5,0 mÅ; *viii*) `plots_flag`= 0. Ademais, apenas utilizamos medidas calculadas com EW $<$ 120 mÅ para evitar linhas saturadas. Na Tabela C.1, apresentamos os parâmetros atômicos e as larguras equivalentes medidas para as linhas de Fe I e Fe II no espectro solar Ceres. Por fim, utilizamos o código MOOG[3] (Sneden 1973). Ele é amplamente utilizado para o estudo de abundâncias químicas através da espectroscopia, tendo como principais *drivers* o `abfind`, que faz uso de larguras equivalentes, e o `synth`, que realiza síntese espectral. A versão utilizada neste trabalho foi a de Fevereiro de 2017 (MOOGFEB2017[4]). Uma extensa descrição do método espectroscópico clássico, da metodologia, da determinação das incertezas, do modelo de atmosfera utilizado e os tutoriais de instalação do ARES v2 e do MOOG podem ser encontrados em Costa de Almeida (2022) (ver Capítulo 4) e nas referências acima. Ademais, a manipulação dos arquivos de entrada e saída do ARES v2 foi totalmente automatizada através de uma *pipeline* desenvolvida na linguagem Python (ver Apêndice A.4).

Das 350 estrelas hospedeiras, a *pipeline* não convergiu para 8 (HAT-P-32, HD 89345, HIP 94235, Kepler-489, Kepler-1622, NGTS-4, WASP-161 e WASP-174) – impossibilitando a determinação dos parâmetros atmosféricos. Trinta e três estrelas resultaram em $v_{\rm mic} \geqslant 1,700$ km s^{-1}, extrapolando o limite de confiabilidade da metodologia (Ghezzi *et al.* 2021). Além disso, encontramos valores de $T_{\rm ef}$ e $\log g$ que estão fora dos limites de seleção (5000 K $\leqslant T_{\rm ef} \leqslant$ 6500 K e $\log g \geqslant 4,00$) para 18 estrelas.

Para verificação de consistência, determinamos os parâmetros atmosféricos do espectro solar Ceres e encontramos $T_{\rm ef} = 5759 \pm 18$ K, $\log g = 4,43 \pm 0,05$, [Fe/H] $= 0,00 \pm 0,01$ (onde A(Fe)$_\odot = 7,50$[5], Asplund *et al.* 2009) e $v_{\rm mic} = 0,936 \pm 0,030$ km s^{-1} – em excelente acordo com os valores solares canônicos. As larguras equivalentes das linhas de Fe I e Fe II medidas para o espectro solar estão listadas na Tabela C.1.

Os parâmetros atmosféricos do Sol e das 342 estrelas da amostra estão expostos na forma de Diagrama de Kiel na Figura 3.1 e listados na Tabela 3.1. Por fim, na Figura 3.2, mostramos a distribuição dos erros associados aos parâmetros atmosféricos das 342 estrelas. Os erros variam entre 5 K e 268 K, 0,01 e 0,86, 0,01 e 0,15 e 0,020 e 1,320 km s^{-1} para $T_{\rm ef}$, $\log g$, [Fe/H] e $v_{\rm mic}$, respectivamente, com valores medianos de 24 K, 0,07, 0,02 e 0,050 km s^{-1}. Notamos que os maiores erros são encontrados em estrelas fora dos limites

[3] https://www.as.utexas.edu/~chris/moog.html
[4] https://www.as.utexas.edu/~chris/MOOGFEB2017.tar.gz
[5] Abundância absoluta de Fe no Sol, A(Fe)$_\odot$, onde A(Fe) $= \log(N_{\rm Fe}/N_{\rm H}) + 12$.

de $T_{\rm ef}$ e $\log g$ da seleção da amostra ("$T_{\rm ef}$ e/ou $\log g$ fora do intervalo") e, também, em estrelas com $v_{\rm mic} \geqslant 1,700$ km s^{-1}. Considerando apenas as 291 estrelas dentro dos limites de $T_{\rm ef}$, $\log g$ e $v_{\rm mic}$, os erros variam entre 5 K e 104 K, 0,01 e 0,29, 0,01 e 0,07 e 0,020 e 0,310 km s^{-1}, com valores medianos de 22 K, 0,06, 0,02 e 0,040 km s^{-1}.

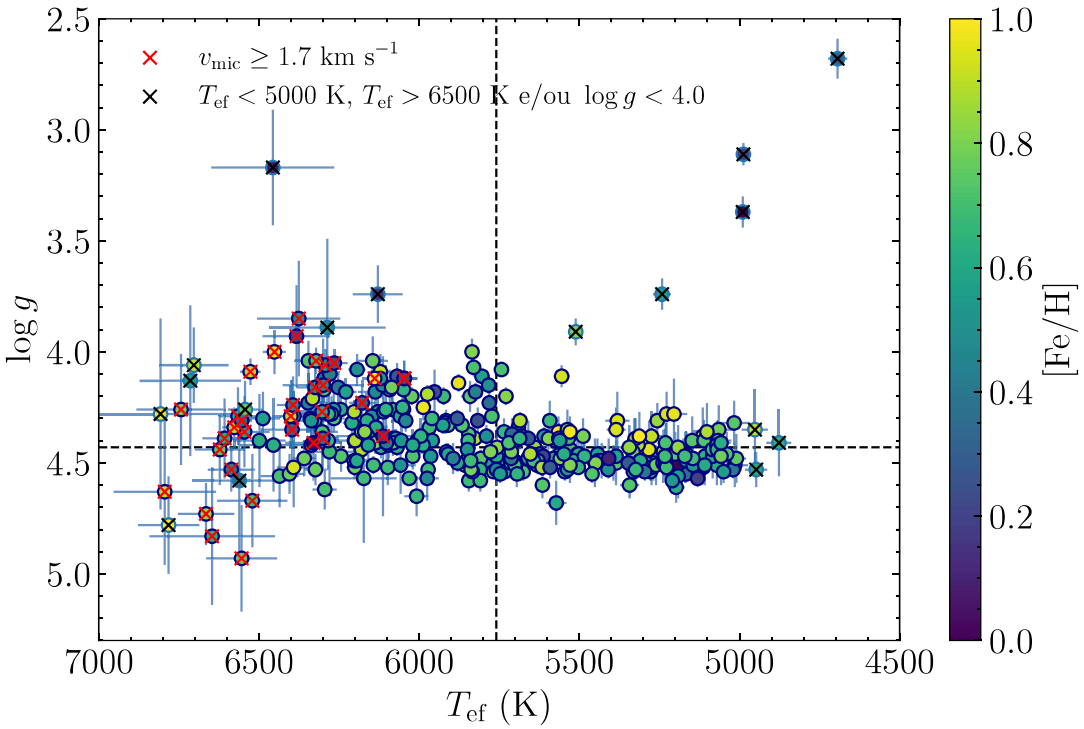


Figura 3.1: Diagrama de Kiel das 342 estrelas hospedeiras. Estrelas com $v_{\rm mic} \geqslant 1.7$ km s^{-1} e $T_{\rm ef}$ e $\log g$ fora dos limites impostos estão indicadas pelos "x" vermelhos e pretos, respectivamente. As linhas tracejadas pretas representam os parâmetros solares calculados a partir do espectro Ceres.

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})
Sol	5759±18	4,43±0,05	0,00±0,01	0,936±0,030
55 Cnc	5283±49	4,44±0,13	0,40±0,03	0,730±0,080
BD+20 594	5690±13	4,34±0,04	-0,16±0,01	0,979±0,030
CoRoT-1	6337±30	4,42±0,06	-0,05±0,02	1,463±0,070
CoRoT-4	6295±38	4,62±0,09	0,11±0,02	1,426±0,070

Tabela 3.1: Parâmetros atmosféricos do Sol (Ceres) e das 342 estrelas da amostra. As colunas 2, 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, temperatura efetiva, gravidade superficial, metalicidade e velocidade de microturbulência – assim como as incertezas associadas. As informações contidas nesta tabela estão disponíveis de forma completa na Tabela B.2, apenas uma porção está apresentada aqui.

Por fim, comparamos nossos parâmetros atmosféricos com os valores disponíveis no catálogo PASTEL médio (do inglês, *mean PASTEL catalog*) (Soubiran *et al.* 2022) – versão média do catálogo PASTEL (Soubiran *et al.* 2016), uma compilação de determinações de

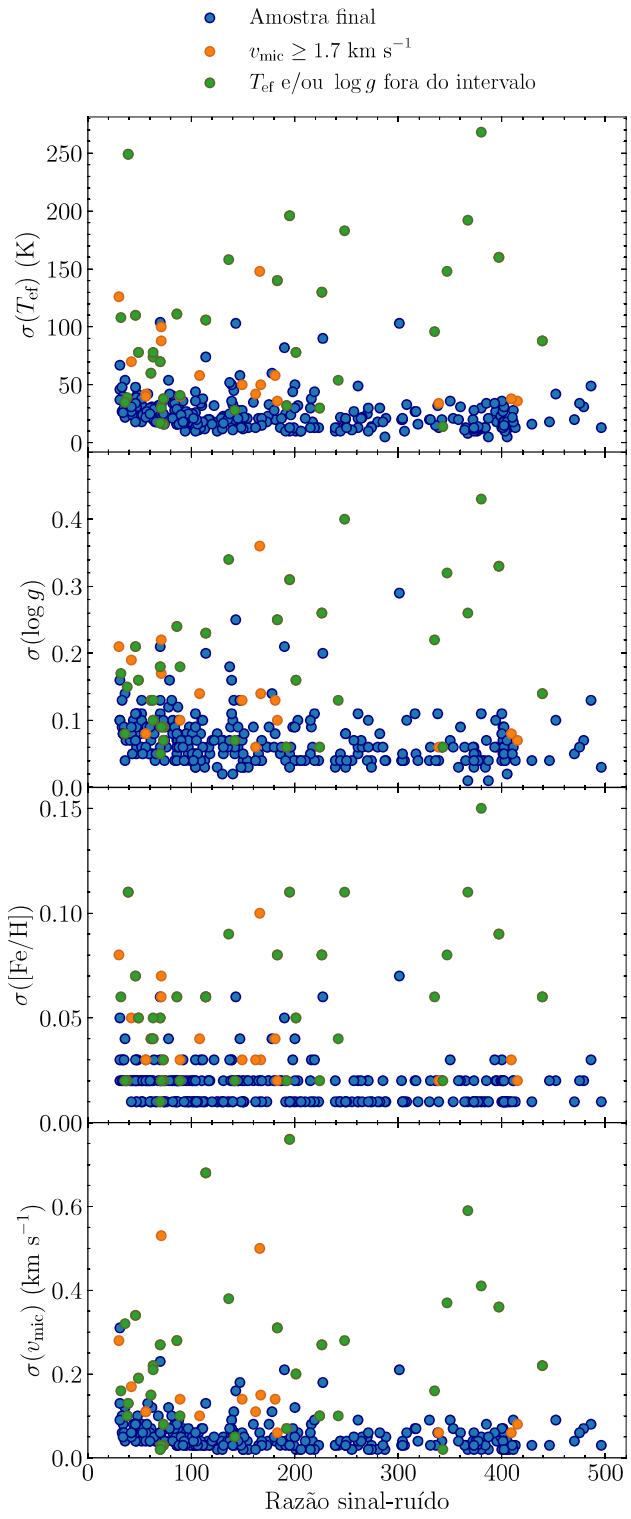


Figura 3.2: Erros associados aos parâmetros atmosféricos $T_{\rm ef}$, $\log g$, [Fe/H] e $v_{\rm mic}$ (de cima para baixo) em função da razão sinal-ruído dos espectros. Em azul, temos as estrelas com 5000 K $\leqslant T_{\rm ef} \leqslant$ 6500 K, $\log g \geqslant 4,00$ e $v_{\rm mic} < 1,700$ km s^{-1} ("amostra final", 291 estrelas). Em laranja, temos as estrelas com $v_{\rm mic} \geqslant 1,700$ km s^{-1} (33 estrelas). Por fim, em verde, temos as estrelas com $T_{\rm ef} <$ 5000 K, $T_{\rm ef} >$ 6500 K e/ou $\log g < 4,00$ ("$T_{\rm ef}$ e/ou $\log g$ fora do intervalo", 18 estrelas).

parâmetros atmosféricos feita a partir de dados de alta resolução. Na Figura 3.3, observamos um excelente acordo para as 75 estrelas em comum com o catálogo, com diferenças medianas de 12 ± 33 K, $-0,01 \pm 0,03$ e $0,02 \pm 0,06$ para $T_{\rm ef}$, [Fe/H] e $\log g$, respectivamente, e valores de R^2 de 0,04, 0,01 e 0,36 para as regressões OLS dos resíduos. O valor de R^2 de $\log g$ está sendo bastante influenciado pelas estrelas com $\log g_{\rm PASTEL} \gtrsim 4,65$ – sem elas, o valor cai para 0,22.

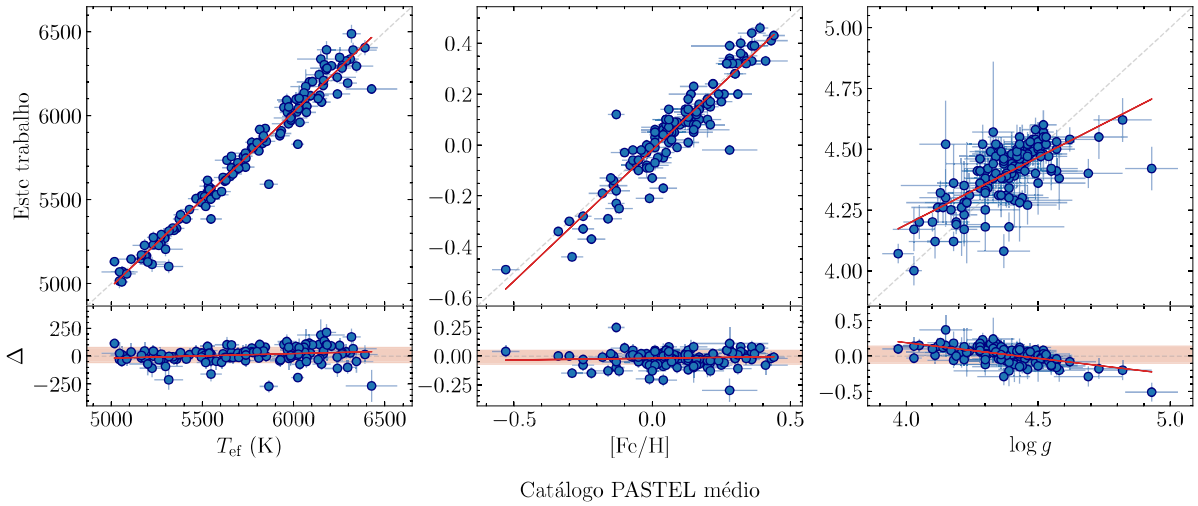


Figura 3.3: Comparações entre os parâmetros atmosféricos determinados neste trabalho e os valores compilados no catálogo PASTEL médio (Soubiran *et al.* 2022). Nos painéis superiores, apresentamos temperatura efetiva (painel esquerdo), metalicidade (painel do meio) e gravidade superficial (painel direito). Nos painéis inferiores, apresentamos os resíduos, nos quais $\Delta{\rm par} = {\rm par}_{\rm este\ trabalho} - {\rm par}_{\rm literatura}$. As linhas tracejadas cinzas representam igualdade (1:1) e, as vermelhas, as regressões OLS calculadas. As regiões coloridas de vermelho são os intervalos ±2MAD ao redor das diferenças medianas.

Aqui, destacamos algumas estrelas com as maiores diferenças encontradas – por mais que ainda sejam diferenças aceitáveis. Para $T_{\rm ef}$, destacamos Kepler-1300, WASP-32, WASP-42, WASP-70 A e XO-2 S. Kepler-1300, para a qual determinamos $T_{\rm ef,\ este\ trabalho} = 5830 \pm 21$ K, tem $T_{\rm ef}$ média de 6023 ± 25 K no PASTEL, valor este que é baseado em três determinações 6021 ± 60 K (Petigura *et al.* 2017), 6027 ± 28 K (Brewer e Fischer 2018) e 6014 ± 100 K (Furlan *et al.* 2018). Contudo, encontramos uma determinação mais compatível com a nossa na literatura, de 5874 K (McQuillan *et al.* 2013). Para WASP-32 ($T_{\rm ef,\ este\ trabalho} = 6159 \pm 21$ K), o PASTEL só tem uma determinação de 6427 ± 141 K (Mortier *et al.* 2013), mas encontramos 6111 ± 51 (Magrini *et al.* 2022) na literatura. Para WASP-42, $T_{\rm ef,\ este\ trabalho} = 5102 \pm 41$ K, e o PASTEL só tem uma determinação de 5315 ± 79 K (Mortier *et al.* 2013), mas encontramos 5031 ± 80 K (Magrini *et al.* 2022) e 5115 K (Matsuno *et al.* 2024) na literatura. Para XO-2 S ($T_{\rm ef,\ este\ trabalho} = 5385 \pm 30$ K), o PASTEL só tem uma determinação de 5547 ± 59 K (Teske *et al.* 2013), mas encontramos 5374 K (Espinoza-Rojas *et al.* 2021) na literatura. A maioria dos autores apresenta parâmetros atmosféricos para o sistema XO-2, mas não diferenciam as estrelas XO-2 N e

XO-2 S. Contudo, elas têm diferenças em $T_{\rm ef}$, [Fe/H] e $\log g$ de ~ 150 K, $\sim 0,10$ e $\sim 0,25$, respectivamente (Teske *et al.* 2013). PASTEL tem outras quatro determinações nas quais os componentes estelares (S ou N) não são identificados, com valores entre 5267 K e 5547 K. Para [Fe/H], destacamos as estrelas Kepler-1300 e WASP-32. Para Kepler-1300 ($[{\rm Fe/H}]_{\rm este\ trabalho} = 0,12 \pm 0,02$), PASTEL tem um valor mediano de $-0,13 \pm 0,03$. Para WASP-32 ($[{\rm Fe/H}]_{\rm este\ trabalho} = 0,02 \pm 0,02$), PASTEL tem apenas um valor de $0,28 \pm 0,10$ (Mortier *et al.* 2013), mas encontramos valores mais compatíveis com os nossos na literatura – 0,03 (Boettner *et al.* 2024) e 0,02 (Ye *et al.* 2025). Finalmente, para $\log g$, destacamos WASP-32 e WASP-71. Para WASP-32 ($\log g_{\rm este\ trabalho} = 4,42 \pm 0,09$), PASTEL tem um valor médio de $4,93 \pm 0,10$, mas encontramos 4,40 (Chen *et al.* 2021) e 4,38 (de Laverny *et al.* 2025) na literatura.

3.2 Parâmetros Evolutivos Estelares

Determinamos os parâmetros evolutivos, idade, massa ($M_\star$) e raio ($R_\star$), utilizando o código PARAM v1.3[6] (da Silva *et al.* 2006). A metodologia implementada pelo código consiste em comparar a posição das estrelas em um diagrama cor-magnitude com uma grade de isócronas teóricas PARSEC de Bressan *et al.* (2012) através de estimativas Bayesianas assumindo uma taxa de formação estelar (SFR[7]) constante e um intervalo de idades entre 0,1 e 12 Gano. O método de isócronas se baseia no Teorema de Vogt-Russell, no qual a massa e a composição química de uma estrela definem sua estrutura interna[8], raio, luminosidade e evolução – uma vez que estes dependem das reações nucleares. Na Figura 3.4, temos o exemplo do melhor ajuste encontrado para descrever o aglomerado M67 (painel esquerdo), visto que esta isócrona descreve bem a sequência principal, o ponto de desligamento, o ramo das gigantes vermelhas e o agrupamento vermelho deste aglomerado – fases evolutivas indicadas na Figura. Ademais, os *priors* da análise Bayesiana são funções de massa inicial (IMF[9]) log-normal de Chabrier (2001).

O uso do código é feito através da interface *web*, digitando os parâmetros de entrada de cada estrela, sendo estes: *i*) Temperatura Efetiva (K); *ii*) Metalicidade; *iii*) Paralaxe (milissegundo de arco, mas); *iv*) Magnitude na banda V (mag). A $T_{\rm ef}$ e a [Fe/H] foram determinadas neste trabalho através do método espectroscópico clássico (ver Seção 3.1). As paralaxes (π), magnitudes G e cores $G_{BP} - G_{RP}$ foram obtidas dos dados do Gaia

[6]A interface *web* do PARAM é mantida por Léo Girardi no Observatorio Astronomico di Padova (`https://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/param_1.3`)

[7]Do inglês, ***s**tellar **f**ormation **r**ate*. A SFR define a quantidade de gás que é transformado em estrelas por unidade de tempo.

[8]Efeitos secundários como rotação, campo magnético e estar em um sistema binário também influenciam.

[9]Do inglês, ***i**nitial **m**ass **f**unction*. A IMF define o número de estrelas formadas em uma população estelar com massas entre M e $M + dM$, ou seja, a quantidade de material disponível para a formação de estrelas de alta e baixa massa que, por vez, têm tempos de vida diferentes e produzem diferentes tipos de elementos (por exemplo, elementos do pico do Fe, elementos-α).

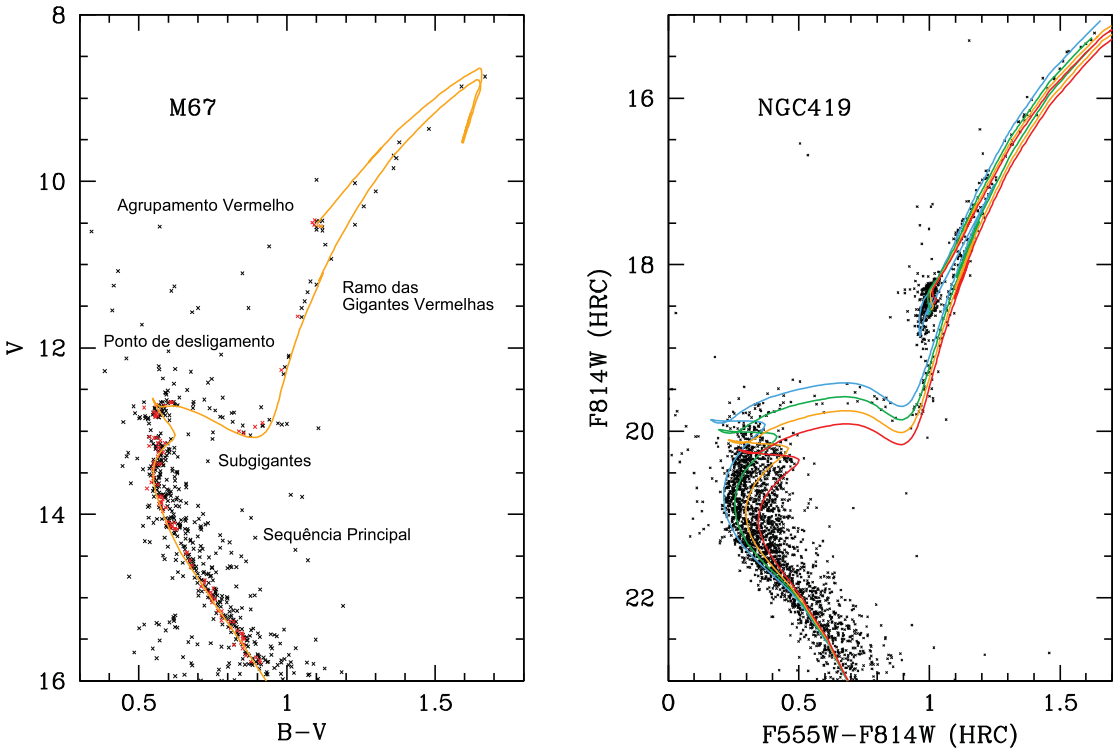


Figura 3.4: Isócronas teóricas PARSEC (linhas coloridas) sobrepostas à distribuição de estrelas de dois aglomerados estelares de massa intermediária, M67 (painel esquerdo) e NGC419 (painel direito). A isócrona que melhor representa M67 tem $Z = 0,014$ (metalicidade total), log(idade) $= 9,6$, módulo da distância $V - M_{\rm V} = 9,75$ e excesso de cor $E(B-V) = 0,03$. As isócronas para NGC419 têm $Z = 0,004$, log(idade) $= 9,15$, $9,20$, $9,25$ e $9,30$ (do azul ao vermelho), módulo da distância F814W−MF814W= $18,96$ e excesso de cor EF55W−F814W= $0,09$. Fonte: Figura 17 de Bressan *et al.* (2012) adaptada.

DR2 (Gaia Collaboration *et al.* 2018) e EDR3 (Gaia Collaboration *et al.* 2021). Contudo, como a magnitude utilizada pelo código é a V, utilizamos as relações fotométricas entre os sistemas Gaia e Johnson-Cousins do Gaia DR2 Documentation Release 1.2[10] e Gaia DR3 Documentation Release 1.3[11]. Para o Gaia DR2 (ver Capítulo 5.3.7, Tabela 5.8),

$$\text{G-V} = -0,017600 - 0,006860(\text{G}_{\rm BP} - \text{G}_{\rm RP}) - 0,173200(\text{G}_{\rm BP} - \text{G}_{\rm RP})^2, \qquad (3.1)$$

com uma incerteza associada à calibração de 0,045858 mag. Portanto, a incerteza final associada a V é

$$\sigma_{\rm V} = \sqrt{(\sigma_{\rm G})^2 + ((0,006860 + 0,346400(\text{G}_{\rm BP} - \text{G}_{\rm RP}))\sigma_{\text{G}_{\rm BP}-\text{G}_{\rm RP}})^2 + 0,045858^2}. \qquad (3.2)$$

[10] https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR2/
[11] https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR3/

Para o Gaia DR3 (ver Capítulo 5.5.1, Tabela 5.9),

$$\text{G-V} = -0,02704 + 0,01424(\text{G}_{\text{BP}} - \text{G}_{\text{RP}}) - 0,2156(\text{G}_{\text{BP}} - \text{G}_{\text{RP}})^2 + 0,01426(\text{G}_{\text{BP}} - \text{G}_{\text{RP}})^3, \tag{3.3}$$

com uma incerteza associada à calibração de 0,03017 mag. Portanto, a incerteza final associada a V é

$$\sigma_{\text{V}} = \sqrt{(\sigma_{\text{G}})^2 + ((-0,01424 + 0,4312(\text{G}_{\text{BP}} - \text{G}_{\text{RP}}) - 0,04278(\text{G}_{\text{BP}} - \text{G}_{\text{RP}})^2)\sigma_{\text{G}_{\text{BP}}-\text{G}_{\text{RP}}})^2} + \sqrt{+0,03017^2}. \tag{3.4}$$

Corrigimos as magnitudes V calculadas pela extinção do meio interestelar na banda V (A_{V}) utilizando valores de A_{V} calculados com o código `StarHorse` (Queiroz *et al.* 2018), onde $\text{V}_{\text{corrigida}} = \text{V} - \text{A}_{\text{V}}$. Utilizamos extinções determinadas através das versões atualizadas do código para os dados do Gaia DR2 (Anders *et al.* 2019) e Gaia EDR3 (Anders *et al.* 2022) e obtivemos os valores de A_{V} através de buscas ADQL[12] no Gaia@AIP[13]. Dentre as 342 estrelas, 5 não tinham valores de A_{V} disponíveis em nenhuma versão do `StarHorse`, então não prosseguimos com a determinação dos seus parâmetros evolutivos (HATS-58 A, Kepler-372, Kepler-449, Kepler-477 e TOI-238). Ademais, utilizamos dados Gaia DR2 para 11 estrelas já que estas não tinham A_{V} disponível para o Gaia EDR3 no `StarHorse` (55 Cnc, HD 39091, HD 136352, K2-29, TOI-1248, TOI-1472, TOI-4994, TrES-2, WASP-24, WASP-73 e WASP-140). Finalmente, para determinar os parâmetros evolutivos, desenvolvemos uma *pipeline* escrita na linguagem Python para automatizar a interação com a página *web* do PARAM v1.3 (ver Apêndice A.3). Para 5 estrelas, K2-173, K2-180, Kepler-444, Kepler-990 e TOI-561, o código PARAM v1.3 não convergiu e, portanto, os parâmetros evolutivos não foram determinados. Na Tabela 3.2, listamos os parâmetros evolutivos determinados para as estrelas, assim como suas magnitudes G e V, a cor $\text{G}_{\text{BP}-\text{RP}}$, A_{V} e as suas paralaxes (π). Na Figura 3.5, apresentamos os parâmetros evolutivos determinados. Os erros medianos dos parâmetros evolutivos das 332 estrelas são 0,61 Ga, 2% e 1% para idade, $R_\star$ e $M_\star$, respectivamente. Das 291 estrelas dentro dos limites de T_{ef}, $\log g$ e v_{mic}, 1 não tinha A_{V} disponível no `StarHorse` (TOI-238) e 4 não convergiram no PARAM v1.3 (K2-173, K2-180, Kepler-444 e TOI-238). Dessa forma, os erros medianos de idade, $R_\star$ e $M_\star$ para estas 286 estrelas são 0,64 Ga, 2% e 1%, respectivamente.

Por fim, comparamos nossos raios estelares com os valores de Stassun *et al.* (2017), Petigura *et al.* (2018a), Kruse *et al.* (2019) e Loaiza-Tacuri *et al.* (2024). Stassun *et al.* (2017) utilizou valores de T_{ef}, [Fe/H] e $\log g$ do catálogo PASTEL (Soubiran *et al.* 2016), dados fotométricos de banda larga de catálogos de céu inteiro (do inglês, *all-sky*) e paralaxes do Gaia DR1 (Gaia Collaboration *et al.* 2016) para calcular fluxos estelares bolométricos

[12]Linguagem de busca de dados astronômicos (do inglês, *Astronomical Data Query Language*).
[13]`https://gaia.aip.de/query`

Estrela	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
55 Cnc	5,7144±0,0028	1,0135±0,0048	79,4274±0,0777	5,9169±0,0460	0,4184	2
BD+20 594	10,8665±0,0028	0,8733±0,0047	5,6384±0,0143	11,0361±0,0303	0,2418	E3
CoRoT-1	13,4454±0,0028	0,7692±0,0049	1,3000±0,0167	13,5825±0,0303	0,3345	E3
CoRoT-4	13,5490±0,0028	0,7600±0,0049	1,3623±0,0157	13,6835±0,0303	0,1365	E3

Idade (Ga)	$R_\star$ ($R_\odot$)	$M_\star$ ($M_\odot$)
10,638±0,930	1,091±0,015	0,946±0,013
11,085±0,517	1,134±0,023	0,913±0,006
2,325±0,408	1,263±0,024	1,191±0,016
0,288±0,147	1,123±0,026	1,205±0,009

Tabela 3.2: Parâmetros de entrada e parâmetros evolutivos determinados através do código PARAM v1.3. As colunas 2, 3 e 4 apresentam a magnitude na banda G, a cor G_{BP-RP} e a paralaxe, respectivamente. A coluna 5 apresenta a magnitude V calculada a partir das relações fotométricas. A coluna 6 apresenta o valor de extinção calculado pelo `StarHorse`. A coluna 7 indica o *data release* do Gaia do qual foram tirados os valores de G, G_{BP-RP}, π e A_V. As colunas 8, 9 e 10 apresentam os parâmetros evolutivos determinados com o PARAM v1.3, idade, raio e massa da estrela, respectivamente. As informações contidas nesta tabela estão disponíveis de forma completa nas Tabelas B.1 e B.2, apenas uma porção está apresentada aqui.

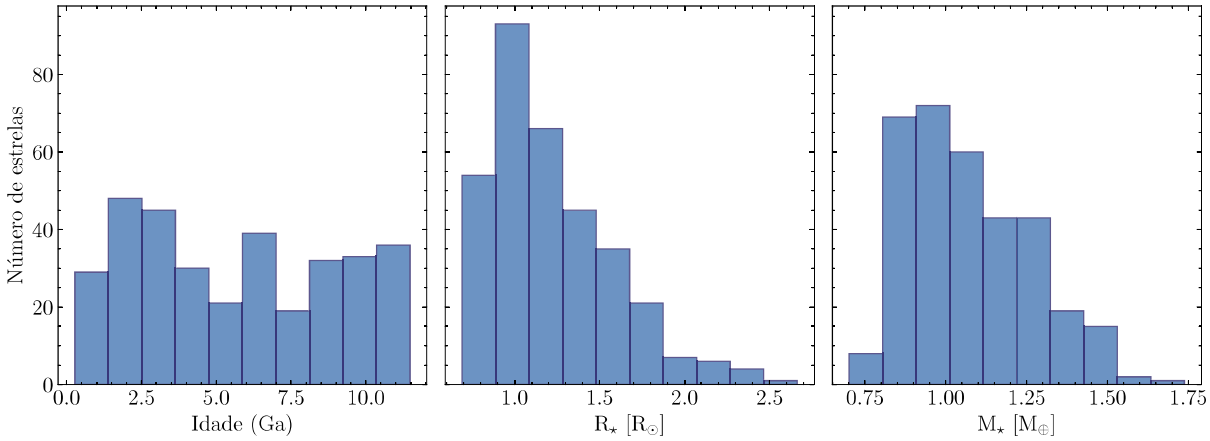


Figura 3.5: Distribuição dos parâmetros evolutivos idade, $R_\star$ e $M_\star$, respectivamente.

e raios angulares – determinando os raios estelares com a lei de Stefan-Boltzmann. Petigura *et al.* (2018a) utilizou espectros HIRES para determinar parâmetros atmosféricos de estrelas hospedeiras de exoplanetas e o pacote `isoclassify` (Huber *et al.* 2017) do Python para determinar massas e raios estelares. Kruse *et al.* (2019) utilizaram raios estelares do Gaia DR2 (Gaia Collaboration *et al.* 2018). Por fim, Loaiza-Tacuri *et al.* (2024) utilizou espectros HIRES de estrelas do K2, observadas das campanhas 0 até 8 (C0-8), para determinar parâmetros atmosféricos de estrelas hospedeiras de exoplanetas através do código q^2 (Ramírez *et al.* 2014). Posteriormente, utilizou o código PARAM v1.3 (da Silva *et al.* 2006), o mesmo utilizado no nosso trabalho, magnitudes V e paralaxes do Gaia DR2 (Gaia Collaboration *et al.* 2021) para determinar os raios estelares.

Na Figura 3.6, podemos ver um excelente acordo entre os raios estelares deste trabalho e os da literatura. Encontramos diferenças medianas de $0,04 \pm 0,04$ $R_\odot$, $0,00 \pm 0,02$ $R_\odot$, $0,00 \pm 0,02$ $R_\odot$ e $0,05 \pm 0,05$ $R_\odot$ para 58, 18, 23 e 11 estrelas em comum com Stassun *et al.* (2017), Petigura *et al.* (2018a), Kruse *et al.* (2019) e Loaiza-Tacuri *et al.* (2024), respectivamente, e valores de R^2 de 0,05, 0,04, 0,30 e 0,00 para os resíduos. O valor elevado de R^2 para os resíduos com Kruse *et al.* (2019) pode estar associado com o fato de termos poucas estrelas em comum (estatística de poucos números) ou às duas estrelas mais distantes do acordo 1:1 – uma vez que podemos visualmente ver um bom acordo.

3.3 Raios dos Exoplanetas

Utilizamos o *NASA Exoplanet Archive* para obter os valores de profundidade de trânsito ($\Delta F/F$[14]) de cada um dos 373 exoplanetas da nossa amostra – todos exoplanetas confirmados. Dessa forma, para o cálculo dos raios dos exoplanetas, utilizamos a relação de

[14]Representa a fração máxima de fluxo estelar que é bloqueado na nossa linha de visada durante o trânsito do exoplaneta.

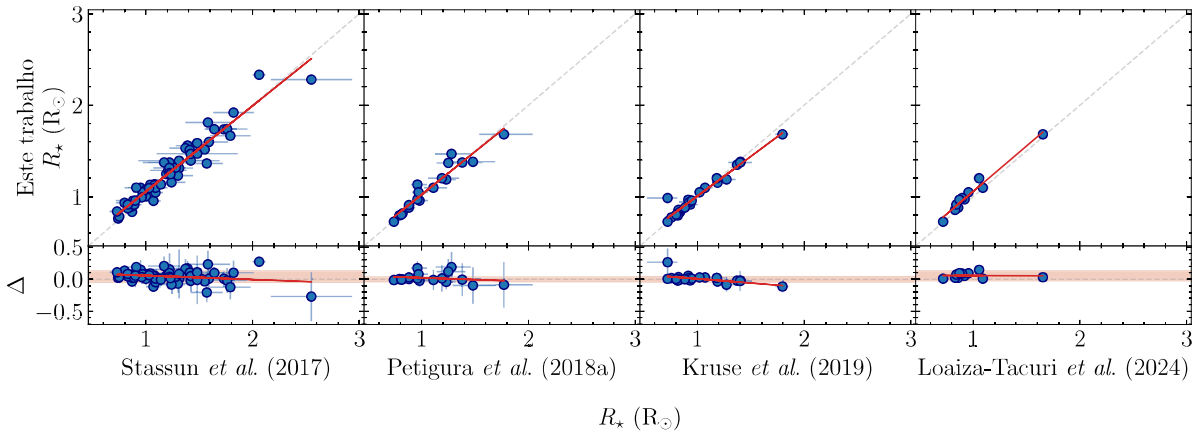


Figura 3.6: Comparações entre os raios estelares determinados neste trabalho e os valores de Stassun *et al.* (2017), Petigura *et al.* (2018a), Kruse *et al.* (2019) e Loaiza-Tacuri *et al.* (2024) (da esquerda para a direita). As descrições dos painéis, linhas, símbolos e regiões coloridas são as mesmas da Figura 3.3.

Seager e Mallén-Ornelas (2003):

$$R_{\rm pl} = 109,1979 \times \sqrt{\frac{\Delta F}{F} \times 10^{-6}} \times R_\star, \tag{3.5}$$

onde $R_{\rm pl}$ é o raio do exoplaneta em $R_\oplus$, $\Delta F/F$ é a profundidade de trânsito em ppm (partes por milhão) e $R_\star$ é o raio da estrela em $R_\odot$ (ver Seção 3.2). As incertezas foram calculadas a partir da propagação de erros da Equação 3.5, ou seja,

$$\sigma_{R_{\rm pl}} = 0,1091979 \sqrt{\left(\frac{R_\star^2}{4\Delta F/F}\right)\sigma^2_{\Delta F/F} + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)\sigma^2_{R_\star}}, \tag{3.6}$$

sendo $\sigma_{R_{\rm pl}}$, $\sigma_{\Delta F/F}$ e $\sigma_{R_\star}$ as incertezas associadas ao raio do exoplaneta, à profundidade de trânsito do exoplaneta e ao raio estelar, respectivamente.

As profundidades de trânsito dos 373 exoplanetas são referentes aos trabalhos de Bordé *et al.* (2010) (1 exoplaneta), Deeg *et al.* (2010) (1 exoplaneta), Mullally *et al.* (2015) (5 exoplanetas), Addison *et al.* (2016) (1 exoplaneta), Barros *et al.* (2016) (1 exoplaneta), Pope *et al.* (2016) (2 exoplanetas), Vanderburg *et al.* (2016) (5 exoplanetas), Christiansen *et al.* (2017) (2 exoplanetas), Stassun *et al.* (2017) (56 exoplanetas), Boufleur *et al.* (2018) (1 exoplaneta), Livingston *et al.* (2018) (7 exoplanetas), Thompson *et al.* (2018) (44 exoplanetas), Yu *et al.* (2018) (2 exoplanetas), Becker *et al.* (2019) (1 exoplaneta), Kruse *et al.* (2019) (32 exoplanetas), Vanderburg *et al.* (2019) (3 exoplanetas), Bonfanti *et al.* (2021) (1 exoplaneta), Azevedo Silva *et al.* (2022) (1 exoplaneta) e Vivien *et al.* (2024) (3 exoplanetas). Para os 204 exoplanetas restantes, utilizamos valores do ExoFOP[15].

[15]O site do Programa de Observação de Acompanhamento de Exoplanetas (do inglês, *The Exoplanet Follow-up Observing Program*), `https://exofop.ipac.caltech.edu/tess/view_toi.php`, foi projetado para otimizar recursos e facilitar a colaboração em estudos de acompanhamento de candidatos a exoplane-

Junto com os valores de profundidade de trânsito dos exoplanetas, também obtivemos do *NASA Exoplanet Archive* seus períodos orbitais ($P_{\rm orb}$) e, para os 281 exoplanetas que possuíam este parâmetro determinado, suas massas ($M_{\rm pl}$). Estes valores e os raios calculados estão listados na Tabela 3.3. As incertezas medianas dos parâmetros dos exoplanetas são aproximadamente 2% para $\Delta F/F$ e $R_{\rm pl}$, 0,0003% para $P_{\rm orb}$ e 12% para $M_{\rm pl}$.

Por fim, comparamos os raios dos exoplanetas determinados no nosso trabalho com os valores da literatura para os mesmos autores mencionados na Seção 3.2. Utilizando os raios estelares já determinados, Stassun *et al.* (2017) obtiveram os parâmetros exoplanetários do `exoplanets.org` para calcular os raios dos exoplanetas, Petigura *et al.* (2018a) usaram profundidades de trânsito calculadas a partir das curvas de luz das campanhas C5-8 do K2, Kruse *et al.* (2019) usaram profundidades de trânsito calculadas a partir das curvas de luz das campanhas C0-8 do K2 e Loaiza-Tacuri *et al.* (2024) usaram profundidades de trânsito do *NASA Exoplanet Archive*. Na Figura 3.7, vemos um bom acordo entre os raios dos exoplanetas, com diferenças medianas de $0,42 \pm 0,51$ R$_\oplus$, $0,01 \pm 0,26$ R$_\oplus$, $0,21 \pm 0,20$ R$_\oplus$ e $0,15 \pm 0,07$ R$_\oplus$, respectivamente, com Stassun *et al.* (2017), Petigura *et al.* (2018a), Kruse *et al.* (2019) e Loaiza-Tacuri *et al.* (2024) e R^2 de 0,00, 0,14, 0,08 e 0,00 para as regressões OLS dos resíduos para os 56, 17, 31 e 14 exoplanetas em comum.

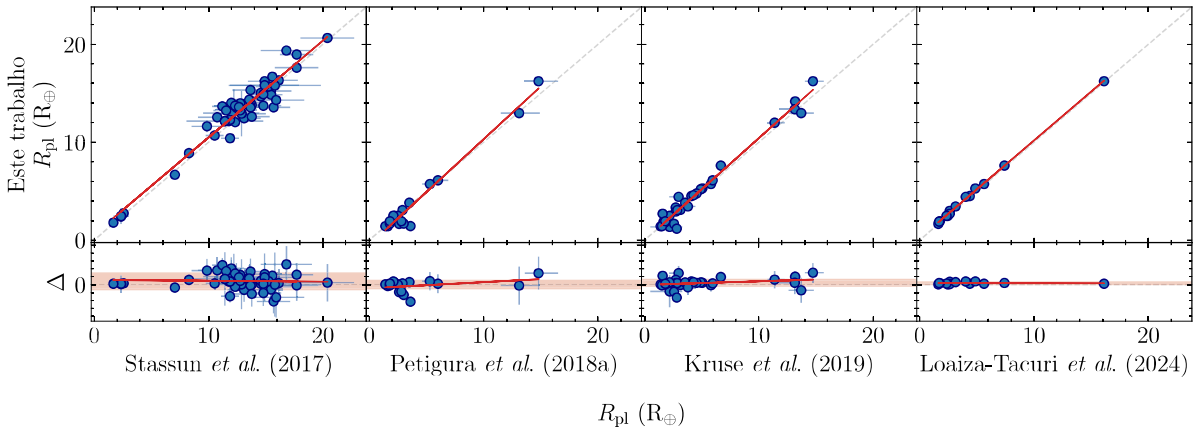


Figura 3.7: Comparações entre os raios dos exoplanetas determinados neste trabalho e os valores de Stassun *et al.* (2017), Petigura *et al.* (2018a), Kruse *et al.* (2019) e Loaiza-Tacuri *et al.* (2024) (da esquerda para a direita). As descrições dos painéis, linhas, símbolos e regiões coloridas são as mesmas da Figura 3.3.

tas. O ExoFOP serve como um repositório de dados coletados por projetos e pela comunidade, permitindo o *upload* e a exibição de dados e de diversos parâmetros astrofísicos. O ExoFOP contém parâmetros estelares do *TESS Input Catalog* (TIC), fornecido pelo *Mikulski Archive for Space Telescope* (MAST), e parâmetros exoplanetários do *NASA Exoplanet Archive*.

Estrela	Letra do exoplaneta	$\Delta F/F$	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Referência $\Delta F/F$ e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Referência $M_{\rm pl}$
55 Cnc	e	0,03847±0,00042	2,33660±0,03063	0,73655±0,00000	ExoFOP	7,99000±0,32000	Bourrier *et al.* (2018)
BD+20 594	b	0,04900±0,00250	2,74110±0,07231	41,68550±0,00300	Stassun *et al.* (2017)	22,24810±9,53490	Stassun *et al.* (2017)
CoRoT-1	b	1,31400±0,00104	15,80940±0,20037	1,50896±0,00001	ExoFOP	327,35000±38,14000	Barge *et al.* (2008)
CoRoT-4	b	1,38123±0,04210	14,41210±0,24967	9,20165±0,00003	ExoFOP	228,83000±25,43000	Moutou *et al.* (2008)
CoRoT-5	b	1,52427±0,11997	16,50163±0,69285	4,03790±0,00001	ExoFOP	148,42000±14,93700	Rauer *et al.* (2009)

Tabela 3.3: Parâmetros dos exoplanetas obtidos no *NASA Exoplanet Archive*, com exceção do raio do exoplaneta – que foi calculado neste trabalho. A coluna 1 apresenta a identificação da estrela hospedeira. A coluna 2 apresenta a letra do exoplaneta. As colunas 3, 4 e 5 apresentam a profundidade de trânsito, raio e período orbital do exoplaneta, respectivamente. A coluna 6 apresenta a fonte dos valores de $P_{\rm orb}$ e $\Delta F/F$. As colunas 7 e 8 apresentam a massa do exoplaneta e a fonte deste valor. As informações contidas nesta tabela estão disponíveis de forma completa na Tabela B.3, apenas uma porção está apresentada aqui.

Capítulo 4

Abundâncias Químicas

Neste capítulo, descrevemos a metodologia utilizada para determinar as abundâncias químicas de carbono, níquel, enxofre e oxigênio das 291 estrelas dentro dos limites 5000 K $\leqslant T_{\rm ef} \leqslant$ 6500 K, $\log g \geqslant 4,00$ e $v_{\rm mic} < 1,700$ km s^{-1}.

4.1 Linhas Atômicas

Os parâmetros atômicos das linhas de C I, Ni I e S I foram obtidos através do Vienna Atomic Line Database [1] (VALD, Ryabchikova *et al.* 2015), com exceção dos valores de $\log gf$ (força de oscilador vezes peso estatístico) – para os quais utilizamos valores de $\log gf$ solares, seguindo Ghezzi *et al.* (2026). O procedimento feito pelos autores consiste em ajustar os valores de $\log gf$ até que as abundâncias determinadas para as linhas sejam iguais as de Asplund *et al.* (2009), isto é, $\mathrm{A(C)}_\odot = 8,43$, $\mathrm{A(S)}_\odot = 7,12$ e $\mathrm{A(Ni)}_\odot = 6,22$. Para isso, os autores utilizaram o atlas solar de Hinkle *et al.* (2000)[2] e o mesmo modelo de atmosfera e código MOOG utilizados neste trabalho, com parâmetros atmosféricos: $T_{\rm ef} = 5777$ K, $\log g = 4,44$, [Fe/H] $= 0,00$ e $v_{\rm mic} = 1,000$ km s^{-1}. Para a região da linha [O I] em 6300 Å, os parâmetros atômicos do [O I] e das linhas próximas foram obtidos do VALD. Contudo, utilizamos $\log gf = -9,717$ de Allende Prieto *et al.* (2001) para a linha do [O I] e, para as 2 linhas de Ni que contaminam fortemente a linha do [O I], utilizamos os valores ponderados de $\log gf$ de Bensby *et al.* (2004), que são baseados nas medições de laboratório de Johansson *et al.* (2003). Listamos os parâmetros atômicos das linhas de C I e Ni I na Tabela C.2, S I na Tabela C.3 e das linhas na região de [O I] na Tabela C.4. Por fim, nas Figuras 4.1, 4.3 e 4.2, mostramos o espectro da estrela HD 1397 nas regiões que contemplam as linhas do C I, S I e [O I], respectivamente.

[1] `http://vald.astro.uu.se/`

[2] Publicado originalmente por Kurucz *et al.* (1984) e corrigido de absorções telúricas por Meléndez *et al.* (2006).

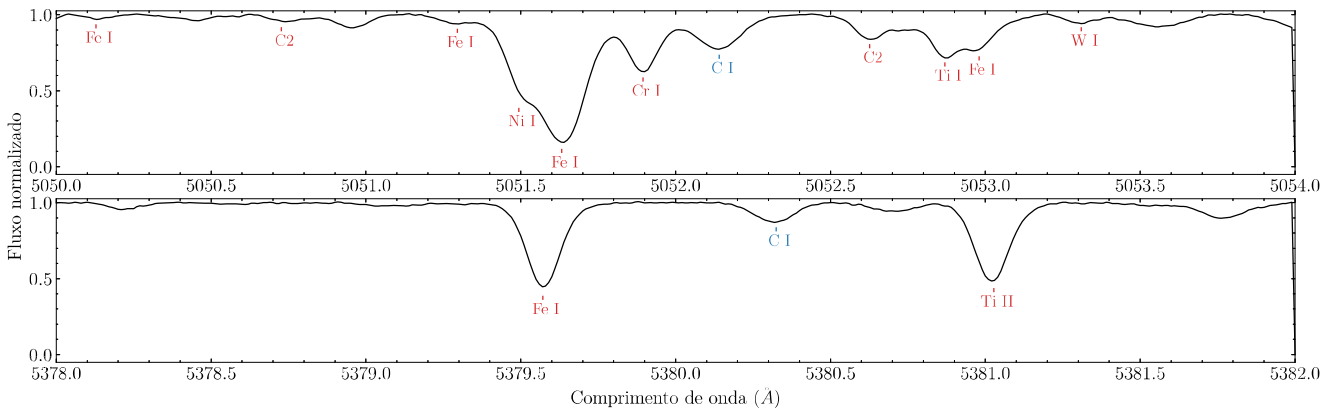


Figura 4.1: Espectro da estrela HD 1397 nas regiões que contemplam as linhas do C I em 5052 Å (painel superior) e 5380 Å (painel inferior). As identificações das linhas espectrais na região foram retiradas de Moore *et al.* (1966) e Malherbe (2024).

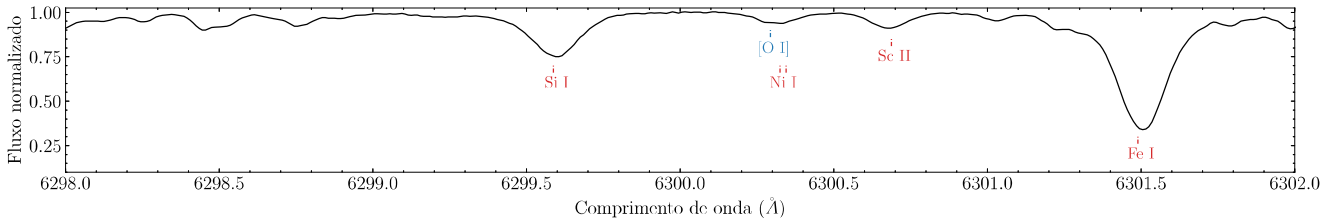


Figura 4.2: Espectro da estrela HD 1397 na região que contempla a linha do [O I] em 6300 Å. As fontes das identificações das linhas espectrais são as mesmas da Figura 4.1.

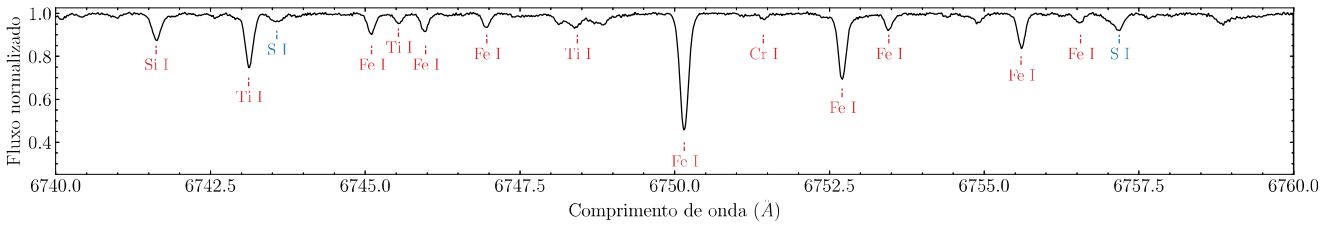


Figura 4.3: Espectro da estrela HD 1397 na região que contempla as linhas do S I em 6743 Å e 6757 Å. As fontes das identificações das linhas espectrais são as mesmas da Figura 4.1.

4.2 Carbono, Enxofre e Níquel

O carbono, o qual tem como isótopo dominante o ^{12}C, é formado principalmente por estrelas durante a fase de queima hidrostática de hélio no núcleo através do processo triplo-α. As estrelas que mais contribuem com o enriquecimento de C são as de massa baixa e intermediária ($0,8\ M_\odot \leqslant M_\star \leqslant 8\ M_\odot$, Matteucci 2016) – visto que as de alta massa consomem uma grande parte do seu C através da reação $^{12}C(\alpha,\gamma)^{16}O$. Os indicadores de C no visível mais utilizados para a determinação de abundâncias em estrelas FGK são as linhas atômicas do C I (por exemplo, 5052 Å, 5280 Å e 6590 Å) e as bandas moleculares do CH em $\sim$ 4300 Å. Contudo, o acordo entre as abundâncias obtidas através das linhas atômicas e das bandas moleculares não é satisfatório. Por exemplo, Delgado Mena *et al.* (2021) encontraram fortes tendências entre Δ[C/H] (linhas atômicas − bandas moleculares) e [Fe/H] e $T_{\rm ef}$. As linhas atômicas listadas acima têm potenciais de excitação altos ($\sim$ 8 eV) e, portanto, se tornam fracas em estrelas frias. Por outro lado, a banda do CH é forte e domina o contínuo local ao seu redor. Neste trabalho, as abundâncias de carbono foram determinadas através de 2 linhas do C I, 5052 Å e 5380 Å (ver Tabela C.2), utilizando o *driver* `abfind` do código MOOG.

O enxofre, o qual tem como isótopo dominante o ^{32}S (compondo 95% de todo o S do Sistema Solar), é formado por estrelas de alta massa durante a queima de oxigênio no núcleo – ocorrendo nos estágios finais da evolução de estrelas massivas (por exemplo, Limongi e Chieffi 2003). Os indicadores de S mais utilizados para determinação de abundâncias são os multipletos do S I em 6046 Å, 6052 Å, 6743 Å, 6757 Å, 8694 Å, 9228 Å e 10456 Å (por exemplo, Caffau *et al.* 2005; Spite *et al.* 2011; Costa Silva *et al.* 2020) e as linhas proibidas do [S I] em 10821 Å (por exemplo, Matrozis *et al.* 2013). Portanto, as determinações de abundâncias de S necessitam de técnicas mais robustas por conta da mistura de suas próprias linhas, no caso dos multipletos, aumentando assim as incertezas associadas à medição. Como resultado, o S é um elemento que foi historicamente negligenciado em estudos de elementos-α, sendo ofuscado pelo Si e Ca (por exemplo, Caffau *et al.* 2005). Assim, abundâncias de S não são facilmente encontradas na literatura, com exceção de trabalhos notáveis como Costa Silva *et al.* (2020) no hemisfério sul e Luck e Heiter (2005) no hemisfério norte. Neste trabalho, as abundâncias de enxofre foram determinadas através de 9 linhas do multipleto 8 do S I[3], entre 6743 Å e 6758 Å (ver Tabela C.3), utilizando o *driver* `blends` do código MOOG.

O níquel é formado, em sua grande maioria, no estágio final da vida de estrelas de baixa massa durante supernovas tipo Ia (por exemplo, Woosley e Weaver 1995; Limongi e Chieffi 2003). Para estas estrelas, antes do colapso do núcleo, ^{56}Fe e ^{56}Ni são formados por sucessivas reações em quase-equilíbrio (captura de partículas α) durante a queima explosiva de Si no núcleo (por exemplo, Arnett 1996). Com a explosão da supernova

[3]Numeração de Moore (1945).

tipo Ia, a nucleossíntese termonuclear explosiva aumenta ainda mais a produção de Fe e Ni, particularmente a de ^{56}Ni que, posteriormente, decai em ^{56}Fe – contribuindo para $\sim$ 2/3 do Fe total da Galáxia (por exemplo, Mishurov e Tkachenko 2019). Os isótopos dominantes do Fe e Ni são ^{56}Fe e ^{58}Ni. Ademais, por terem caminhos nucleossintéticos similares, a evolução dos elementos do pico do Fe (por exemplo, Ni, V, Cr, Mn e Co) segue a do próprio Fe. Os indicadores de Ni mais utilizados para a determinação de abundâncias são as linhas atômicas de Ni I na região do visível (por exemplo, Adibekyan *et al.* 2012b; Ghezzi *et al.* 2026; Kirby *et al.* 2018). Neste trabalho, as abundâncias de níquel foram determinadas através de 39 linhas do Ni I (Ghezzi *et al.* 2026), entre 5010 Å e 6843 Å (ver Tabela C.2), utilizando *driver* `abfind` do código MOOG. Pela grande quantidade de linhas atômicas, fizemos 2 rodadas de *MAD-clipping*[4] por estrela. Por fim, as abundâncias de Ni foram determinadas por serem necessárias para a determinação das abundâncias de oxigênio (ver Seção 4.3).

As medidas de larguras equivalentes das linhas de C I, S I e Ni I foram feitas utilizando o código ARES v2 com os mesmos parâmetros das linhas de Fe I e Fe II (ver Capítulo 3.1), exceto `lineresol` e `rejt`. Para as linhas de C I, usamos `lineresol` = 0,2 Å – uma vez que as EWs eram mais consistentes com as medidas manuais. Para o C I e o S I, o `rejt` utilizado é a SNR da ordem echelle que inclui cada linha espectral[5]. No caso do C I, a linha centralizada em 5052,167 Å está localizada nas ordens 121 e 38 dos espectros HARPS-Sul e HARPS-Norte, respectivamente, e a 5380,337 Å nas ordens 114 e 44. Ademais, todas as linhas do S I estão localizadas nas ordens 91 e 67. Finalmente, para algumas estrelas, as EWs do ARES v2 estavam resultando em abundâncias irreais. Nesses casos, as EWs eram medidas de forma manual utilizando a função `splot` do PyRAF. Caso isso ainda não resolvesse o problema, as linhas eram removidas. Por fim, a manipulação dos arquivos de entrada e saída do ARES v2 foi totalmente automatizada através de uma *pipeline* escrita na linguagem Python (ver Apêndice A.4).

4.3 Oxigênio

O oxigênio, o qual tem como isótopo dominante o ^{16}O, é formado por estrelas de alta massa durante a queima hidrostática de hélio no núcleo, via reação $^{12}\mathrm{C}(\alpha,\gamma)^{16}\mathrm{O}$, e é ejetado no meio interestelar por explosões de supernova tipo II. Os indicadores de O mais utilizados para a determinação de abundâncias em estrelas FGK são as linhas atômicas de O I em 6158 Å (por exemplo, Bertran de Lis *et al.* 2015), as linhas proibidas de [O I] em 6300 Å e 6363 Å (por exemplo, Allende Prieto *et al.* 2001; Bertran de Lis *et al.*

[4]Remoção de linhas com abundâncias abaixo ou acima de 2 MAD da mediana da distribuição, onde MAD é o desvio absoluto ao redor da mediana (do inglês, *median absolute deviation*).

[5]O intervalo de comprimento de onda de cada ordem echelle dos espectros HARPS-Sul estão disponíveis em https://www.eso.org/sci/facilities/lasilla/instruments/harps/inst/spec_form.html e, para o HARPS-Norte, em https://www.tng.iac.es/instruments/harps/data/usermanv3.1.pdf

2015) e o tripleto do O I em 7774 Å (por exemplo, Steffen *et al.* 2015; Amarsi *et al.* 2019; Bergemann *et al.* 2021). Contudo, todos os indicadores de O são desafiadores. As linhas do O I em 6158 Å e as linhas proibidas do [O I] em 6300 Å e 6363 Å são fracas, isto é, têm larguras equivalentes baixas – sendo o pior caso encontrado na [O I] em 6363 Å. Além disso, a linha do O I em 6158 Å se encontra na asa vermelha de uma linha forte de Fe I em 6157 Å e a linha proibida [O I] em 6300 Å é altamente contaminada por duas linhas do Ni I. O tripleto do O I sofre desvios de não-ETL significativos (por exemplo, Amarsi *et al.* 2019; Bergemann *et al.* 2021). Ademais, as linhas do O I em 6158 Å e 7774 Å têm altos potenciais de excitação, $\sim 10,7$ eV e $\sim 9,2$ eV, respectivamente, isto é, se tornam fracas em estrelas frias. Por fim, assim como o carbono, há discrepâncias entre as abundâncias determinadas com diferentes indicadores (por exemplo, Allende Prieto *et al.* 2001; Ecuvillon *et al.* 2006; Bertran de Lis *et al.* 2015; Bergemann *et al.* 2021). Até mesmo para o Sol, encontramos discrepâncias entre diferentes metodologias e, por consequência, as abundâncias de oxigênio determinadas mudaram consideravelmente nos últimos 50 anos: 8,92 por Lambert (1978); 8,66 ± 0,05 por Asplund *et al.* (2004); 8,76 ± 0,07 por Caffau *et al.* (2008); 8,69 ± 0,05 por Asplund *et al.* (2009); 8,80 ± 0,03 por Cubas Armas *et al.* (2020); 8,75 ± 0,03 por Bergemann *et al.* (2021); 8,69 ± 0,04 por Asplund *et al.* (2021).

As abundâncias de oxigênio foram determinadas através da linha proibida do [O I], em 6300,304 Å, usando o *driver* `synth` do código MOOG com *damping* = 1 e alargamento Gaussiano (opção "*g*"). Existem muitas linhas telúricas ao redor da linha do [O I], portanto, para evitar possíveis contaminações, determinamos a posição das linhas telúricas de cada espectro individualizado utilizando o espectro telúrico de Wallace *et al.* (2011) antes de combiná-los. Para alinhar o espectro telúrico com o espectro observado, o corrigimos pelo desvio Doppler (calculado neste trabalho, ver Capítulo 2) e pela velocidade radial baricêntrica da Terra do espectro observado (disponível no cabeçalho dos espectros). Assim, utilizamos apenas espectros que tinham uma região de 0,15 Å ao redor do centro da linha do [O I] livre de linhas telúricas. Na Figura 4.4, apresentamos um exemplo deste procedimento. Para a estrela HD 220197, vemos a contaminação das regiões que representam a linha do [O I] (em azul) pelas linhas telúricas (em rosa) nos três painéis superiores. Portanto, estes três espectros não foram utilizados para a determinação das abundâncias de oxigênio. Para os espectros limpos de contaminação telúrica (três painéis inferiores), fizemos uma segunda verificação para remover manualmente os espectros contendo qualquer outra contaminação, como raios cósmicos e/ou deformações. Por fim, os espectros considerados aptos para a análise do oxigênio são combinados, para aumentar a SNR, e normalizados ao redor da região contendo a linha do [O I], entre 6295 Å e 6305 Å, e, também, entre 6235 Å e 6245 Å. Esta segunda região normalizada contém uma linha do Fe I em 6240,646 Å que é utilizada para a determinação da FWHM[6] (largura a meia

[6]Do inglês, ***F**ull **W**idth **H**alf **M**aximum.*

altura) das linhas espectrais.

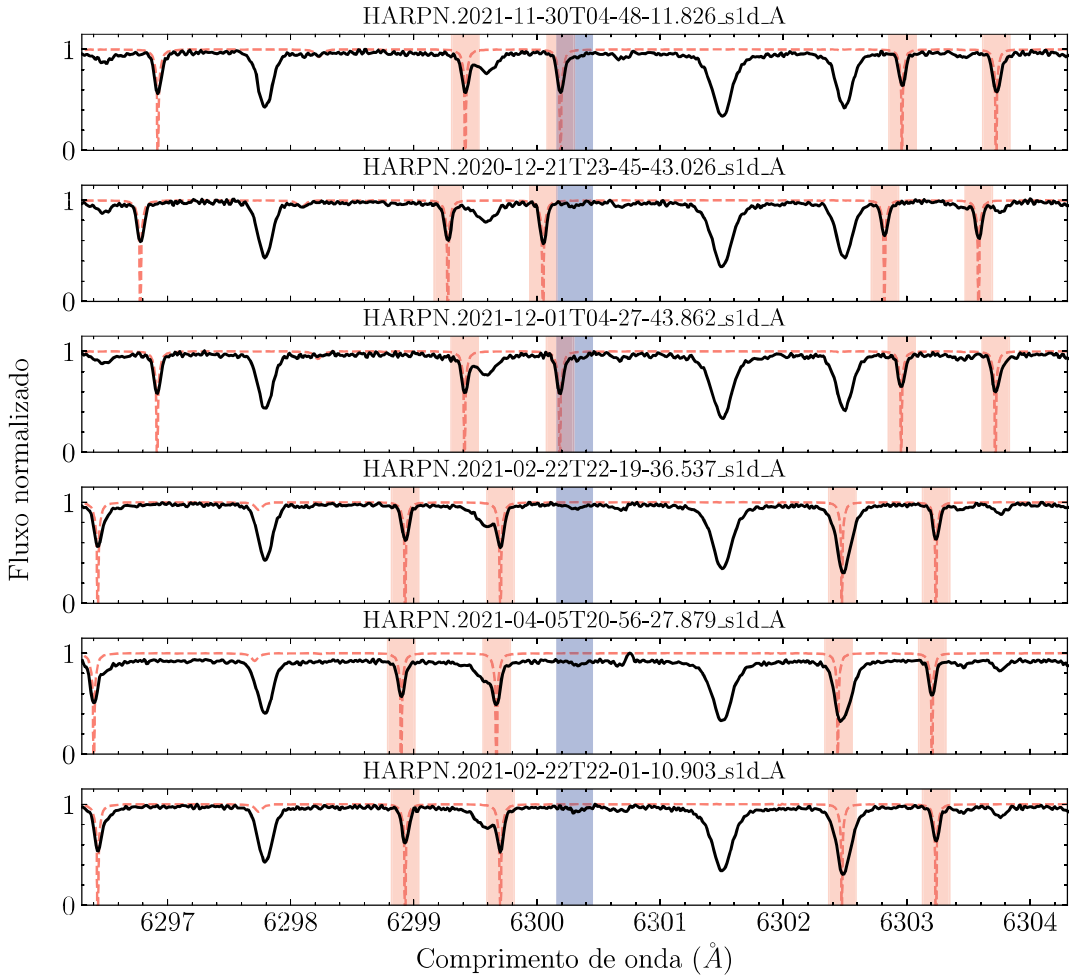


Figura 4.4: Linhas telúricas ao redor da linha proibida do oxigênio em 6300 Å nos espectros da estrela HD 220197. As linhas pretas contínuas e rosas tracejadas representam os espectros observados e telúricos (corrigidos do desvio Doppler e da velocidade radial baricêntrica da Terra), respectivamente. As regiões em azul representam o intervalo de $\pm 0,15$ Å ao redor da linha do [O I] e, em rosa, as regiões contaminadas pelas linhas telúricas. Nos três painéis superiores, mostramos exemplos de contaminação na linha do [O I] e, nos inferiores, não há contaminação.

Uma síntese inicial foi feita utilizando $g = 0,055$ Å – a FWHM correspondente ao alargamento gaussiano base dos espectrógrafos HARPS-Sul e HARPS-Norte com resolução de 115.000[7]. A partir deste espectro sintético, ajustamos o comprimento de onda central das linhas através de deslocamentos feitos em 2 rodadas: *i*) intervalo ao redor do centro da linha de $\pm 0,10$ Å com passos de 0,01 Å; *ii*) intervalo de $w \pm 0,01$ Å com passos de 0,001 Å, onde w é o melhor ajuste encontrado na primeira rodada. O melhor ajuste entre o espectro observado e o espectro sintético é calculado através da minimização de

[7] $R = \lambda/\delta\lambda$, onde $\delta\lambda$ é a menor diferença de comprimento de onda possível de ser resolvida.

χ^2 reduzida (por exemplo, Ghezzi *et al.* 2009, 2010b, 2018),

$$\chi^2_r = \frac{1}{(d-1)} \sum_{i=1}^{n} \frac{(\mathrm{O}_i - \mathrm{S}_i)^2}{\sigma^2}, \tag{4.1}$$

onde d é o número de graus de liberdade – definido como $d = n - p$, sendo n o número de pontos observados e p o número de parâmetros livres –, O_i e S_i são, respectivamente, fluxos do espectro observado normalizado e do espectro sintético nos pontos i e σ é a incerteza do espectro observado, definida como $\sigma = \mathrm{SNR}^{-1}$. Por mais que exista variação do ruído com o comprimento de onda, por utilizarmos a SNR da ordem espectral na qual a linha do [O I] está inserida, a variação esperada é pequena. Para a linha do [O I], consideramos o intervalo 6300,10 – 6300,50 Å para o cálculo do χ^2_r e, para a linha do Fe I, 6240,50 – 6240,78 Å.

Ajustamos o contínuo local ao redor da linha do Fe I através de um procedimento similar ao ajuste de comprimento de onda. Neste caso, deslocamos o contínuo em um intervalo de $\pm 0,050$ ao redor do valor original com passos de 0,001 em apenas uma rodada. Para a linha do [O I], devido à sua baixa profundidade e à presença de linhas próximas (3 linhas de Si I em $\sim 6299,5$ Å e 2 linhas de Fe I em $\sim 6301,6$ Å, ver Figura 4.2), o ruído era um problema. Portanto, suavizamos o espectro observado com a filtragem feita pela média móvel. Ela consiste em expressar os dados como uma série de médias em diferentes seções consecutivas, removendo flutuações ruidosas e mantendo apenas o "sinal verdadeiro". Dessa forma, utilizamos uma janela de 5 pontos para estimar o nível do contínuo. Finalmente, ajustamos o máximo do contínuo local suavizado com o máximo do espectro sintético entre 6300,00 Å e 6300,55 Å.

Determinamos a FWHM das linhas espectrais utilizando a linha do Fe I em 6240,646 Å por ser a linha mais próxima de [O I] que tem intensidade moderada, está isolada e tem um contínuo local limpo. O ajuste da FWHM foi feito em três rodadas utilizando $p = 1$: *i*) FWHM variando entre 0,05 e 0,25 Å com passos de 0,05 Å; *ii*) FWHM variando entre $s \pm 0,05$ Å com passos de 0,01 Å, sendo s o melhor ajuste encontrado na primeira rodada; *iii*) FWHM variando entre $s \pm 0,01$ Å com passos de 0,001 Å, sendo s o melhor ajuste encontrado na segunda rodada. Para todas as rodadas, fixamos a [Fe/H] no valor da abundância de Fe determinada para a linha Fe I em 6240,646 Å durante a determinação dos parâmetros atmosféricos com o *driver* `abfind` do código MOOG (ver Seção 3.1).

A linha do [O I] está misturada com duas linhas do Ni I – podendo atingir até 60% do fluxo na região da linha do [O I] ser atribuído ao Ni (por exemplo, Bertran de Lis *et al.* 2015) – e levemente contaminada por uma linha do CN (considerada irrelevante no espectro solar, por exemplo, Bubar e King 2010) –, além das contaminações telúricas mencionadas anteriormente. Assim, para determinar a abundância de oxigênio, fixamos a abundância de Ni do espectro sintético no valor determinado neste trabalho (ver Seção 4.2) e fizemos duas rodadas: *i*) variamos a abundância de oxigênio em $\pm 0,50$ com

passos de 0,10; *ii*) variamos a abundância de oxigênio em $o \pm 0,10$ com passos de 0,01, sendo o o melhor ajuste da primeira rodada. Ressaltamos que os valores de abundâncias mencionados para as sínteses são os informados no parâmetro *abundances* no arquivo de entrada do código MOOG, no qual o valor final de abundância absoluta para o oxigênio é $\mathrm{A(O)} = 8,69 + o + \mathrm{[Fe/H]}$, sendo 8,69 a abundância absoluta de oxigênio no Sol (Asplund *et al.* 2009) e o o melhor ajuste da segunda rodada. Por fim, todos os melhores ajustes foram inspecionados visualmente e, caso necessário, corrigidos manualmente. Na Figura 4.5, mostramos exemplos dos melhores ajustes para estrelas com variados valores de SNR.

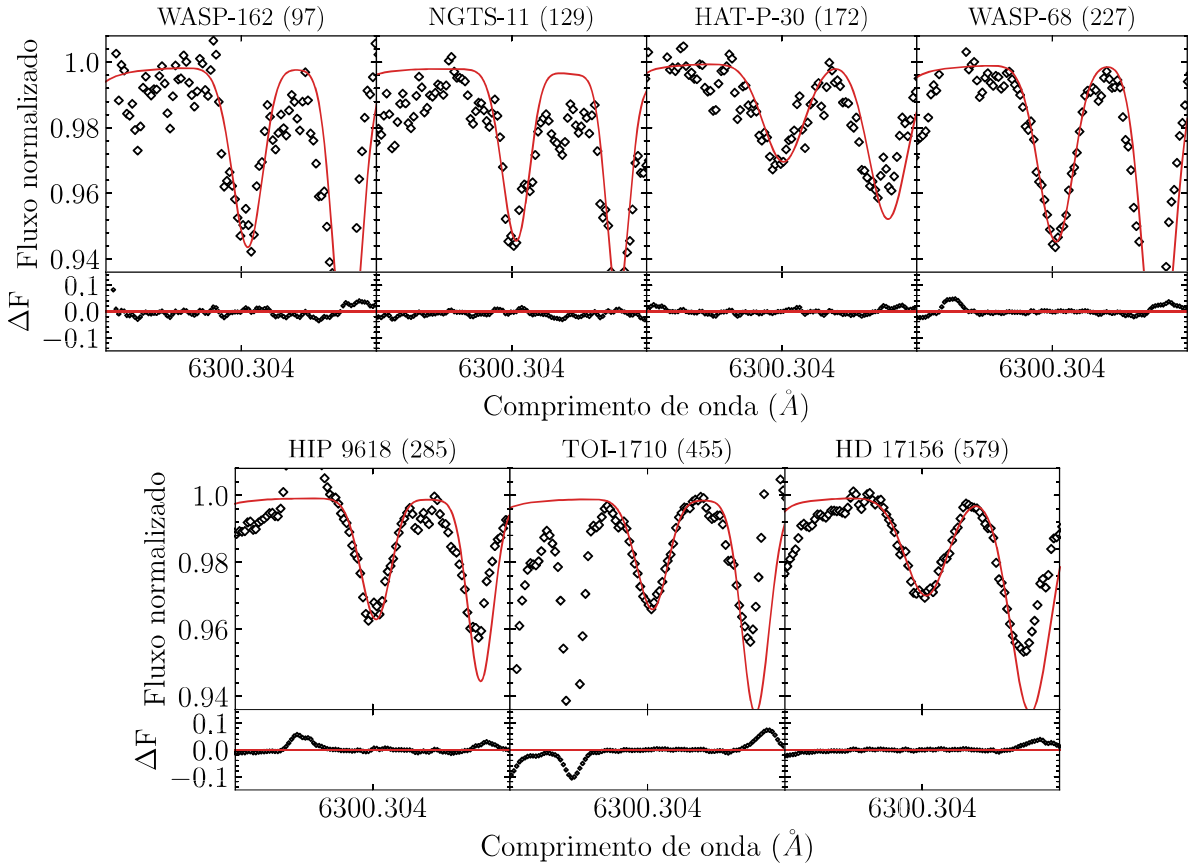


Figura 4.5: Exemplos dos melhores ajustes da síntese do oxigênio para estrelas com variadas SNRs (indicadas ao lado do nome de cada estrela). Os diamantes representam o espectro observado e as linhas vermelhas contínuas representam o espectro sintético. Em cada painel, mostramos os espectros na parte superior e os resíduos na parte inferior ($\Delta\mathrm{F} = \mathrm{F_{observado}} - \mathrm{F_{sintético}}$).

Para verificar a consistência das metodologias, determinamos as abundâncias para o espectro solar Ceres 2009-02-08 e encontramos $\mathrm{A(C)_\odot}$=8,42±0,06, $\mathrm{A(O)_\odot}$=8,70±0,05, $\mathrm{A(S)_\odot}$=7,15±0,02 e $\mathrm{A(Ni)_\odot}$=6,23±0,02 – além de $\mathrm{A(Fe)_\odot}$=7,50±0,01 (ver Seção 3.1). Isso representa um acordo excelente com as abundâncias de Asplund *et al.* (2009), onde $\mathrm{A(C)_\odot}$=8,43±0,05, $\mathrm{A(O)_\odot}$=8,69±0,05, $\mathrm{A(S)_\odot}$=7,12±0,03, $\mathrm{A(Ni)_\odot}$=6,22±0,04 e $\mathrm{A(Fe)_\odot}$=7,50±0,04, e, também, para valores mais recentes de Asplund *et al.* (2021), onde $\mathrm{A(C)_\odot}$=8,46±0,04, $\mathrm{A(O)_\odot}$=8,69±0,04, $\mathrm{A(S)_\odot}$=7,12±0,03, $\mathrm{A(Ni)_\odot}$=6,20±0,04 e

$A(Fe)_{\odot}$=7,46±0,04. Por fim, as larguras equivalentes das linhas de C I, S I e Ni I medidas no espectro solar podem ser encontradas nas Tabelas C.2 e C.3 e, na Figura 4.6, mostramos o melhor ajuste para a síntese do oxigênio.

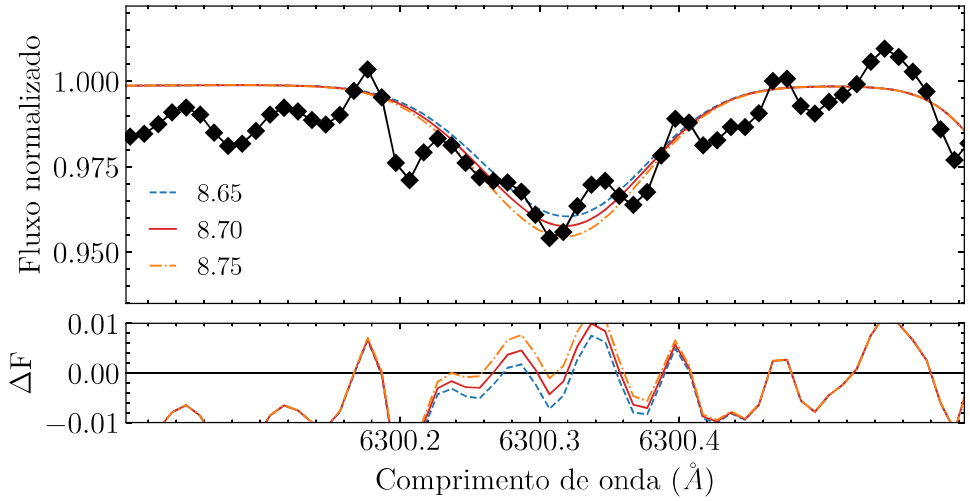


Figura 4.6: Melhor ajuste da síntese do oxigênio no espectro solar Ceres 2009-02-08. A linha preta com diamantes representa o espectro observado. As linhas coloridas representam o espectro sintético para três valores de abundâncias, $A(O) = 8,65$ (azul tracejada), $A(O) = 8,70$ (melhor ajuste, vermelha contínua) e $A(O) = 8,75$ (laranja pontilhada e tracejada). No painel superior, mostramos os espectros e, no inferior, o resíduo ($\Delta F = F_{observado} - F_{sintético}$).

4.4 Incertezas

Dado que os parâmetros atmosféricos possuem incertezas associadas, estimamos o quanto a variação dos parâmetros atmosféricos afeta as determinações das abundâncias. Para isso, variamos cada um dos parâmetros atmosféricos pela sua incerteza associada ($\pm\sigma_{parâmetro}$), determinamos a abundância de cada elemento e calculamos a diferença entre este valor e a abundância base (abundância obtida utilizando os valores centrais dos parâmetros atmosféricos). Assim, assumimos a maior diferença como a incerteza associada àquele parâmetro atmosférico específico. Por fim, calculamos a incerteza final através da soma dos quadrados das incertezas geradas por cada parâmetro atmosférico e, para as abundâncias obtidas através de larguras equivalentes, o desvio padrão da média das abundâncias determinadas com cada linha ($\sigma_{linhas} = \sigma/\sqrt{N_{linhas}}$),

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma^2_{X,Teff} + \sigma^2_{X,[Fe/H]} + \sigma^2_{X,logg} + \sigma^2_{X,vmic} + \sigma^2_{linhas}}. \quad (4.2)$$

Para a abundância obtida através da síntese espectral, substituímos σ_{linhas} pela diferença gerada na abundância de oxigênio causada pela variação da abundância de Ni (incerteza

associada à abundância do Ni),

$$\sigma_{\rm X} = \sqrt{\sigma^2_{\rm X,Teff} + \sigma^2_{\rm X,[Fe/H]} + \sigma^2_{\rm X,logg} + \sigma^2_{\rm X,vmic} + \sigma^2_{\rm O,Ni}}. \quad (4.3)$$

As incertezas de C, O, S e Ni têm valores medianos de 0,04, 0,03, 0,06 e 0,02, respectivamente, tendo aproximadamente 94%, 91%, 83% e 98% das incertezas abaixo de 0,10. Notamos que as estrelas com altas incertezas podem ser divididas em três grupos: *i*) SNR < 85; *ii*) $v_{\sin i} > 10$ km s^{-1}; *iii*) [Fe/H] $> 0,25$. Finalmente, as abundâncias determinadas estão listadas na Tabela 4.1. Ao todo, determinamos abundâncias de C, O, S e Ni para 290, 226, 270 e 291 estrelas, respectivamente. Com base nas abundâncias disponíveis no Vizier[8] e no catálogo Hypatia, acessados em junho de 2026, neste trabalho foram determinadas abundâncias inéditas de carbono para 72 estrelas, de oxigênio para 61, de enxofre para 115 e de níquel para 65. Por fim, a manipulação dos arquivos de entrada e saída do código MOOG para realizar a determinação das abundâncias e de suas incertezas associadas foi automatizada através de *pipelines* escritas na linguagem Python – assim como a identificação das contaminações na linha do [O I] (ver Apêndice A.5).

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)
Sol	8,42±0,06	8,70±0,05	7,15±0,02	6,23±0,02
55 Cnc	8.80±0.07	8.86±0.25	7.47±0.05	6.70±0.04
BD+20 594	8.41±0.03	8.71±0.03	7.06±0.06	6.06±0.02
CoRoT-1	8.34±0.04	-	7.17±0.06	6.10±0.04
CoRoT-4	8.46±0.05	-	7.18±0.04	6.27±0.03

Tabela 4.1: Abundâncias de C, O, S e Ni do Sol (Ceres 2009-02-08) e das 291 estrelas da amostra. As informações contidas nesta tabela estão disponíveis de forma completa na Tabela B.4, apenas uma porção está apresentada aqui.

4.5 Tendências com Temperatura Efetiva

Buscamos por tendências entre as abundâncias determinadas e a temperatura efetiva através de regressões lineares[9]. Assim, encontramos valores de R^2 de 0,129, 0,159, 0,173 e 0,011 para C, O, S e Ni, respectivamente. Para os coeficientes angulares, encontramos valores de *t-values* de -6,546, 6,612, -7,509 e -1,803 e de *p-values* Pearson de $2,8 \times 10^{-10}$, $3,0 \times 10^{-7}$, $8,8 \times 10^{-13}$ e 0,073. Para investigar por possíveis correlações não-lineares, realizamos testes Spearman e obtivemos *p-values* de $3,6 \times 10^{-9}$, $1,8 \times 10^{-7}$, $8,8 \times 10^{-10}$ e 0,035. Além disso, fizemos 1000 reamostragens dos dados através do Bootstrap[10] para

[8]Ferramenta de acesso ao catálogo VizieR, operada no CDS, Estrasburgo, França (https://vizier.cds.unistra.fr).

[9]Os ajustes lineares mencionados neste e nos próximos capítulos foram feitos com a regressão linear ordinária (OLS) do pacote *statsmodels* do Python.

[10]Consiste em criar novas amostras a partir de sorteios de pontos da amostra original, de forma que o número de pontos seja o mesmo.

fazer uma análise estatística mais robusta e, também, para lidar melhor com possíveis flutuações. Assim, realizamos a regressão e os testes para cada amostra Bootstrap e obtivemos valores medianos de R^2 de 0,130, 0,162, 0,171 e 0,011 e, para os coeficientes angulares, *t-values* medianos de -6,581, 6,690, -7,446 e -1,758, *p-values* Pearson medianos de $1,9\times10^{-10}$, $2,5\times10^{-7}$, $1,1\times10^{-12}$ e 0,080 e *p-values* Spearman medianos de $2,1\times10^{-9}$, $1,8\times10^{-7}$, $9,8\times10^{-10}$ e 0,040 para C, O, S e Ni, respectivamente. Neste trabalho, consideramos um resultado estatisticamente significativo para valores de $p\text{-}value < 0,001$ e $|t\text{-}value| > 3$. Portanto, em resumo, há tendência nas distribuições de C, O e S com $T_{\rm ef}$.

Para verificar a localização da transição em $T_{\rm ef}$ a partir da qual as tendências desapareciam, realizamos regressões OLS e testes de Spearman para subamostras com $T_{\rm ef}$ mínima variando entre 5000 K e 5600 K em passos de 1 K. Assim, para C, O e S, a $T_{\rm ef}$ mínima na qual os *p-values* de Pearson e Spearman eram maiores que 0,001 e $|t\text{-}value| < 3$, isto é, não significativos, são 5239 K, 5279 K e 5326 K, respectivamente. Mesmo sem encontrar tendência, realizamos os mesmos testes para o Ni e encontramos *p-values* Pearson e Spearman de 0,073 e 0,035, respectivamente, e *t-value* de -1,813 em 5000 K. Complementando, realizamos os mesmos testes com as 1000 amostras Bootstrap em intervalos de 50 K e as tendências deixaram de ser significativas para subamostras com $T_{\rm ef}$ acima de 5300 K, 5300 K e 5350 K para C, O e S, respectivamente. As distribuições de [X/H] com $T_{\rm ef}$ podem ser encontradas na Figura 4.7, assim como as regressões OLS da amostra completa (linha preta) e da subamostra com restrição de $T_{\rm ef}$ (linhas laranjas). Por fim, uma vez que as tendências são causadas pelas estrelas mais frias, exploramos as limitações em $T_{\rm ef}$ de cada elemento.

Para as linhas do C I, há uma linha forte do Fe I, perto da linha do C I em 5052 Å, que produz asas muito pronunciadas à medida que a $T_{\rm ef}$ diminui – contaminando a linha do C I (por exemplo, Luck e Heiter 2006). No caso da linha do C I em 5380 Å, existe uma contaminação desconhecida que aumenta com a diminuição da $T_{\rm ef}$ (por exemplo, Luck e Heiter 2006). De acordo com Luck e Heiter (2006), abundâncias de carbono se tornam instáveis para $T_{\rm ef} < 5250$ K e $T_{\rm ef} < 5500$ K para as linhas do C I em 5052 Å e 5380 Å, respectivamente. Neste trabalho, encontramos um bom acordo entre as abundâncias obtidas a partir das duas linhas – especialmente para estrelas com $T_{\rm ef} \gtrsim 5200$ K. Para as estrelas com $T_{\rm ef} < 5200$ K, a diferença mediana $A(C)_{5052} - A(C)_{5380}$ é -0,030, enquanto este valor é -0,007 para estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5200$ K. Os resultados dos testes feitos com as regressões lineares para as 1000 amostras Bootstrap apontaram que a tendência entre A(C) e $T_{\rm ef}$ desaparece para estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5239$ K. Portanto, consideramos como confiáveis as abundâncias de carbono para as estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5300$ K, que contemplam 234 estrelas das 290 com abundâncias de carbono determinadas. Ademais, não há tendências entre as abundâncias de carbono e $\log g$, para as quais encontramos valores medianos de $R^2 = 0,006$, $t\text{-}value = -1,140$ e *p-values* Pearson e Spearman de 0,238 e 0,112, respectivamente, para as 1000 amostras Bootstrap.

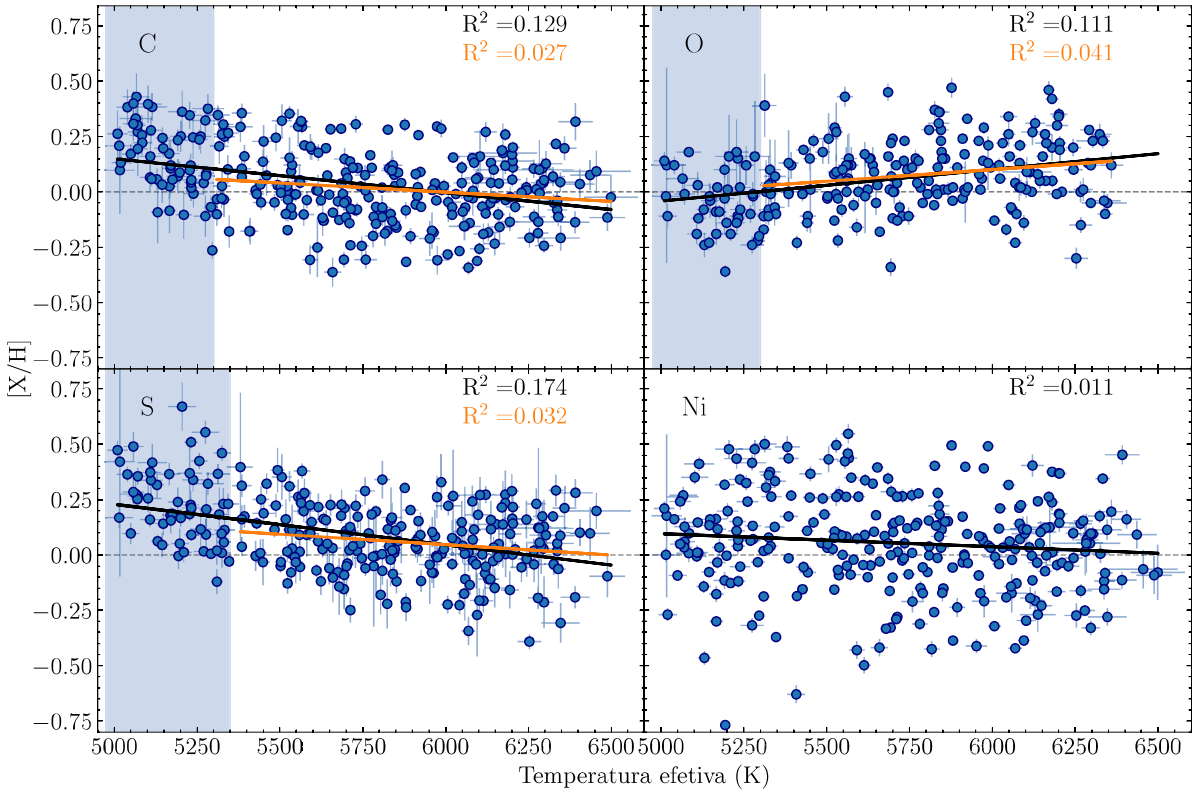


Figura 4.7: Abundâncias em função de $T_{\rm ef}$. As linhas pretas representam as regressões OLS das amostras completas. As linhas laranjas representam a regressão OLS das estrelas localizadas fora da faixa azul. As linhas cinzas pontilhadas representam as abundâncias solares (0,00).

Para a linha do [O I] em 6300 Å, notamos que as abundâncias de oxigênio diminuíam com a diminuição da $T_{\rm ef}$ para estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \lesssim 5300$ K. Este comportamento também foi observado por Bertran de Lis *et al.* (2015) para estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \lesssim 5600$ K para a linha do [O I] em 6300 Å e, para a linha do O I em 6158 Å, para estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \lesssim 5400$ K – neste caso, as abundâncias aumentam com $T_{\rm ef}$. Os resultados dos testes feitos com as regressões lineares para as 1000 amostras Bootstrap apontaram que a tendência entre A(O) e $T_{\rm ef}$ desaparece para estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \geqslant 5279$ K. Portanto, consideramos como confiáveis as abundâncias de oxigênio para as estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \geqslant 5300$ K, que contemplam 184 estrelas das 226 com abundâncias de oxigênio determinadas. Ademais, não há tendências entre as abundâncias de oxigênio e $\log g$, para as quais encontramos valores medianos de $\mathrm{R}^2 = 0,018$, *t-value* $= -1,790$ e *p-values* Pearson e Spearman de 0,070 e 0,051, respectivamente, para as 1000 amostras Bootstrap.

Para as linhas do S I, observamos que as abundâncias de enxofre aumentavam com a diminuição da $T_{\rm ef}$ para estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \lesssim 5350$ K. Isso se deve ao fato de que, com a queda da $T_{\rm ef}$, a contaminação das linhas de S I por linhas desconhecidas se torna mais substancial (por exemplo, Takeda *et al.* 2016; Takada-Hidai *et al.* 2002). Luck (2015) encontrou uma forte tendência entre [S/Fe] e $T_{\rm ef}$ para estrelas com $\mathrm{T_{ef}} \lesssim 5500$ K. Os

resultados dos testes feitos com as regressões lineares para as 1000 amostras Bootstrap apontaram que a tendência entre A(S) e $T_{\rm ef}$ desaparece para estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5326$ K. Portanto, consideramos como confiáveis as abundâncias de enxofre para as estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5350$ K, que contemplam 225 estrelas das 270 com abundâncias de enxofre determinadas. Ademais, não há tendências entre as abundâncias de enxofre e $\log g$, para as quais encontramos valores medianos de $R^2 = 0,017$, *t-value* $= 1,928$ e *p-values* Pearson e Spearman de 0,055 e 0,220, respectivamente, para as 1000 amostras Bootstrap.

Ressaltamos que possíveis efeitos 3D/NETL não foram considerados durante a determinação das abundâncias deste trabalho. Portanto, as tendências observadas entre as abundâncias de C, O e S podem estar sendo influenciadas por estes efeitos.

Finalmente, as linhas do Ni I não têm nenhuma restrição em relação à $T_{\rm ef}$. Além disso, não há tendências entre as abundâncias de níquel e $\log g$, para as quais encontramos valores medianos de $R^2 = 0,007$, *t-value* $= -1,343$ e *p-values* Pearson e Spearman de 0,158 e 0,017, respectivamente, para as 1000 amostras Bootstrap.

4.6 Distribuições de Abundâncias Estelares

O diagrama de Tinsley-Wallerstein – também conhecido como diagrama canônico da evolução química da Galáxia – é amplamente utilizado como uma ferramenta de visualização dos diferentes *stellar yields*[11] de estrelas de alta e baixa massa ao longo da evolução da Galáxia. Nele, as abundâncias são apresentadas na forma [X/Fe][12] em função da [Fe/H].

Focando nos elementos estudados nesta tese (C, O, S, Fe e Ni), as estrelas de alta massa são as principais responsáveis pelo enriquecimento do meio com elementos-α (O e S, mas também, por exemplo, Mg e Si) através da explosão de supernovas de colapso de núcleo (SN II). Os *yields* dos elementos-α são altamente dependentes da massa dos envelopes das estrelas que, por sua vez, dependem da massa da estrela em si. Ressaltamos que estrelas massivas também produzem elementos do pico do Fe, mas os *yields* do Fe têm uma dependência fraca com a massa da estrela (por exemplo, Kobayashi *et al.* 2006). Como consequência, estrelas mais massivas geram um enriquecimento maior de [α/Fe] ao meio. Ademais, estrelas massivas com $M_\star \gtrsim 37$ $M_\odot$ também contribuem bastante para o enriquecimento de carbono do meio através dos seus fortes ventos estelares (por exemplo, Farmer *et al.* 2021). Contudo, contribuindo para o enriquecimento de C, Fe e Ni do meio, estrelas de alta massa não são as principais fontes destes elementos.

As estrelas de baixa massa e de massa intermediária são as principais responsáveis pelo enriquecimento do meio com C e elementos do pico do Fe (Fe e Ni, mas também, por exemplo, Mn e Co). No caso do C, isso acontece através da perda de massa de estrelas

[11] A contribuição de cada geração de estrelas para o enriquecimento do sistema, na qual a composição inicial e a massa da estrela nos informa quais elementos, sintetizados ou não, foram liberados para o meio interestelar no final da vida da estrela.

[12] [X/Fe] = [X/H] – [Fe/H]

no ramo assintótico das gigantes (em inglês AGB, ***A**symptotic **G**iant **B**ranch*), que é uma fase evolutiva na qual as estrelas experienciam uma grande perda de material através dos ventos – material este que foi processado no núcleo, ou seja, está enriquecido de carbono (por exemplo, Kobayashi 2025). Já para os elementos do pico do Fe, isso se dá através da explosão de supernovas termonucleares (SN Ia) após o fim da vida de estrelas de baixa massa, processo este responsável por 2/3 do Fe total da Galáxia (por exemplo, Mishurov e Tkachenko 2019).

Utilizando os elementos-α como exemplo, tendo em vista que as estrelas de alta massa têm tempos de vida muito mais curtos (máximo de $\sim 3 \times 10^7$ anos) do que as estrelas de baixa massa (acima de 10^9 anos), estrelas de baixa metalicidade usualmente serão mais enriquecidas em elementos-α por serem de uma geração mais antiga oriunda de um material que não foi tão exposto a explosões de SN Ia, tendo altos valores de [α/Fe] (α sendo qualquer elemento-α). Por outro lado, estrelas oriundas de um material mais enriquecido em Fe ([Fe/H] alta) possuem valores baixos de [α/Fe]. As diferenças oriundas de estrelas com tempos de vida diferentes também é conhecida como modelo *time-delay* (Matteucci 2016).

Na Figura 4.8, apresentamos os diagramas de Tinsley-Wallerstein dos elementos C, O, S e Ni. No geral, nossas distribuições reproduzem com sucesso os padrões esperados do modelo *time-delay*, no qual vemos as contribuições de diferentes *stellar yields*. Além disso, nossos resultados têm espalhamento significativamente menor comparado às abundâncias determinadas de forma não-homogênea – como é o caso das abundâncias coletadas pelo catálogo Hypatia (pontos cinzas). O carbono apresenta valores entre $\sim -0,25$ e 0,00 para estrelas com [Fe/H] $\gtrsim -0,20$, o oxigênio e o enxofre têm comportamento típico de elementos-α – [X/Fe] diminuindo com o aumento da [Fe/H] – e o Ni praticamente segue o Fe, sendo basicamente uma linha reta em [Ni/Fe] $= 0,00$. Para as estrelas com abundâncias disponibilizadas no catálogo Hypatia, observamos uma grande quantidade de estrelas com [S/Fe] $\gtrsim 0,40$ entre $-0,30 \lesssim$ [Fe/H] $\lesssim 0,20$. Tendo em vista que as estrelas frias da nossa amostra têm grande contaminação nas linhas do S I, motivo pelo qual definimos como confiáveis abundâncias de S apenas para estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5350$ K (ver Seção 4.5), possivelmente o que estamos observando são abundâncias de enxofre determinadas sem o tratamento apropriado – considerando a profundidade adicionada às linhas de S I pela contaminação de outros elementos. Por conta disso, apresentamos a distribuição de abundâncias de S determinadas por Perdigon *et al.* (2021) (Projeto AMBRE) para uma comparação mais apropriada por ter o comportamento esperado de [S/Fe] em função da [Fe/H].

As distribuições das razões de abundância C/O, C/S e O/S[13] em função da [Fe/H] são apresentadas na Figura 4.9. Observamos um aumento de C/O e C/S com a [Fe/H], o que

[13] $\mathrm{X/Y} = 10^{\mathrm{A(X)}-\mathrm{A(Y)}}$, onde A(X) e A(Y) são as abundâncias absolutas dos elementos X e Y, respectivamente, isto é, $\mathrm{A(X)} = \log(N_{\rm X})$ e $\mathrm{A(Y)} = \log(N_{\rm Y})$.

era esperado pelo comportamento de [C/Fe], [O/Fe] e [S/Fe] com [Fe/H]. Esse aumento moderado de C/O com a [Fe/H] também é observado por Nissen (2013), Teske *et al.* (2014) e Delgado Mena *et al.* (2021). O O/S possui uma fraca anticorrelação com [Fe/H], sendo praticamente constante.

Por fim, as estrelas mais frias ($T_{\rm ef} < 5300$ K para C e O e $T_{\rm ef} < 5350$ K para S) com abundâncias "não-confiáveis" (ver Seção 4.5) estão representadas pelos círculos laranjas. Sistematicamente, elas apresentam maiores [C/Fe], [S/Fe] e C/O e, ao contrário, menores [O/Fe] e O/S, além de aumentar o espalhamento. Para o C/S, elas possuem a mesma distribuição das estrelas representadas pelos círculos azuis.

Na Figura 4.10, apresentamos a distribuição de [α/Fe] em função da [Fe/H] apenas para as estrelas da nossa amostra com abundâncias "confiáveis" (ver Seção 4.5). Seguindo o procedimento descrito por Ghezzi *et al.* (2026), utilizamos a separação estimada da Figura 1 de Adibekyan *et al.* (2011) para dividir as estrelas entre as sequências de baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe], na qual: *i*) [α/Fe] $= 0,19$ para [Fe/H] $< -0,60$; *ii*) [α/Fe] $= -0,20\times$[Fe/H]$+0,07$ para $-0,60 \leqslant$ [Fe/H] $\leqslant 0,00$; *iii*) [α/Fe] $= 0,07$ para [Fe/H] $> 0,00$. No trabalho de Adibekyan *et al.* (2011), a medida de [α/Fe] é calculada através da média de [Mg/Fe], [Si/Fe] e [Ti/Fe]. No nosso trabalho, calculamos [α/Fe] a partir da média de [O/Fe] e [S/Fe], os dois elementos-α estudados aqui. Podemos ver que a maioria da nossa amostra pertence à sequência de baixa-[α/Fe]. No total, temos 168 estrelas com abundâncias de oxigênio e enxofre determinadas, para as quais 32 pertencem à sequência de alta-[α/Fe] (correspondendo ao disco espesso) e 136 à sequência de baixa-[α/Fe] (disco fino).

No próximo capítulo, vamos utilizar apenas as abundâncias de estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5300$ K para C e O e $T_{\rm ef} \geqslant 5350$ K para S, por considerarmos confiáveis. Para o Ni, vamos considerar as abundâncias de todas as estrelas já que este elemento não tem nenhuma

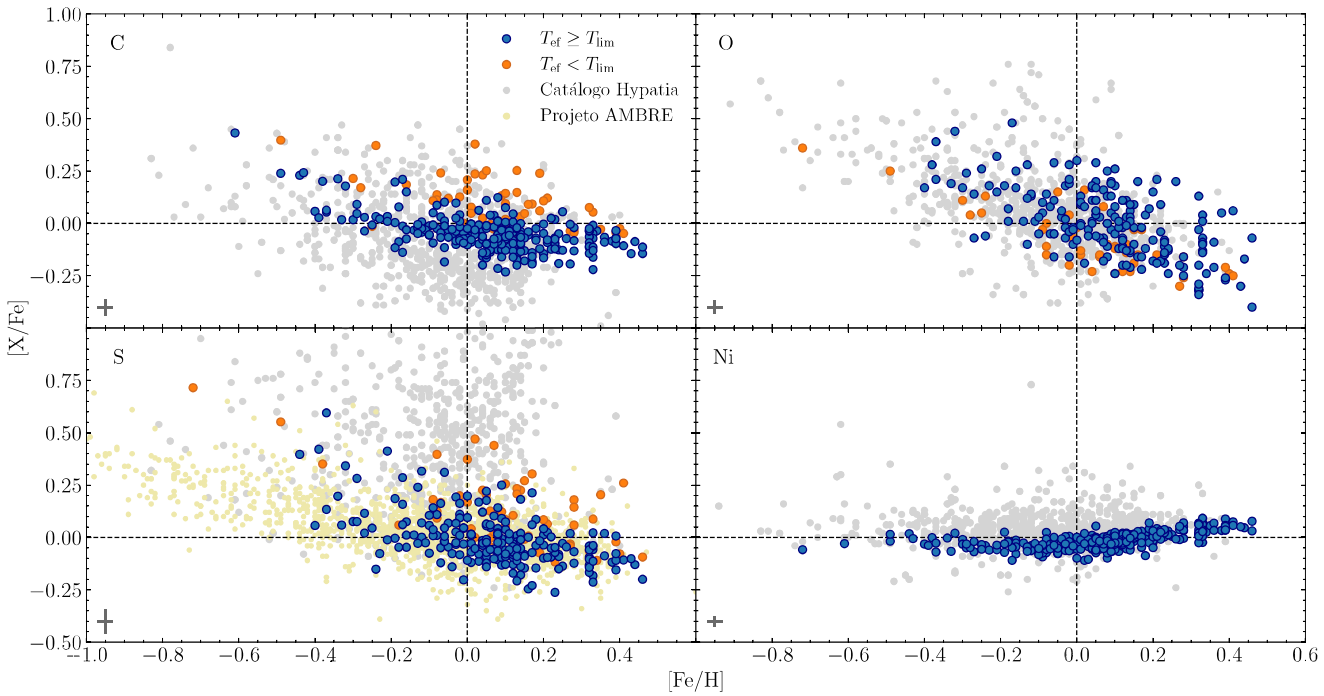


Figura 4.8: Abundâncias de [X/Fe] em função da [Fe/H] para o carbono (painel esquerdo superior), oxigênio (painel direito superior), enxofre (painel esquerdo inferior) e níquel (painel direito inferior). Os círculos azuis e laranjas representam estrelas com $T_{ef} \geqslant T_{lim}$ e $T_{ef} < T_{lim}$, respectivamente, onde T_{lim} é o limite de temperatura efetiva que divide as abundâncias confiáveis das não confiáveis, sendo elas 5300 K para o C e o O e 5350 K para o S (ver Seção 4.5). O Ni não tem restrição em T_{ef}. Os círculos cinzas e amarelos representam as distribuições de abundâncias compiladas no catálogo Hypatia (Hinkel *et al.* 2014) e determinadas pelo Projeto AMBRE (Perdigon *et al.* 2021), respectivamente. As linhas pretas tracejadas representam os valores solares, 0,00. No canto inferior esquerdo de cada painel, apresentamos as incertezas medianas.

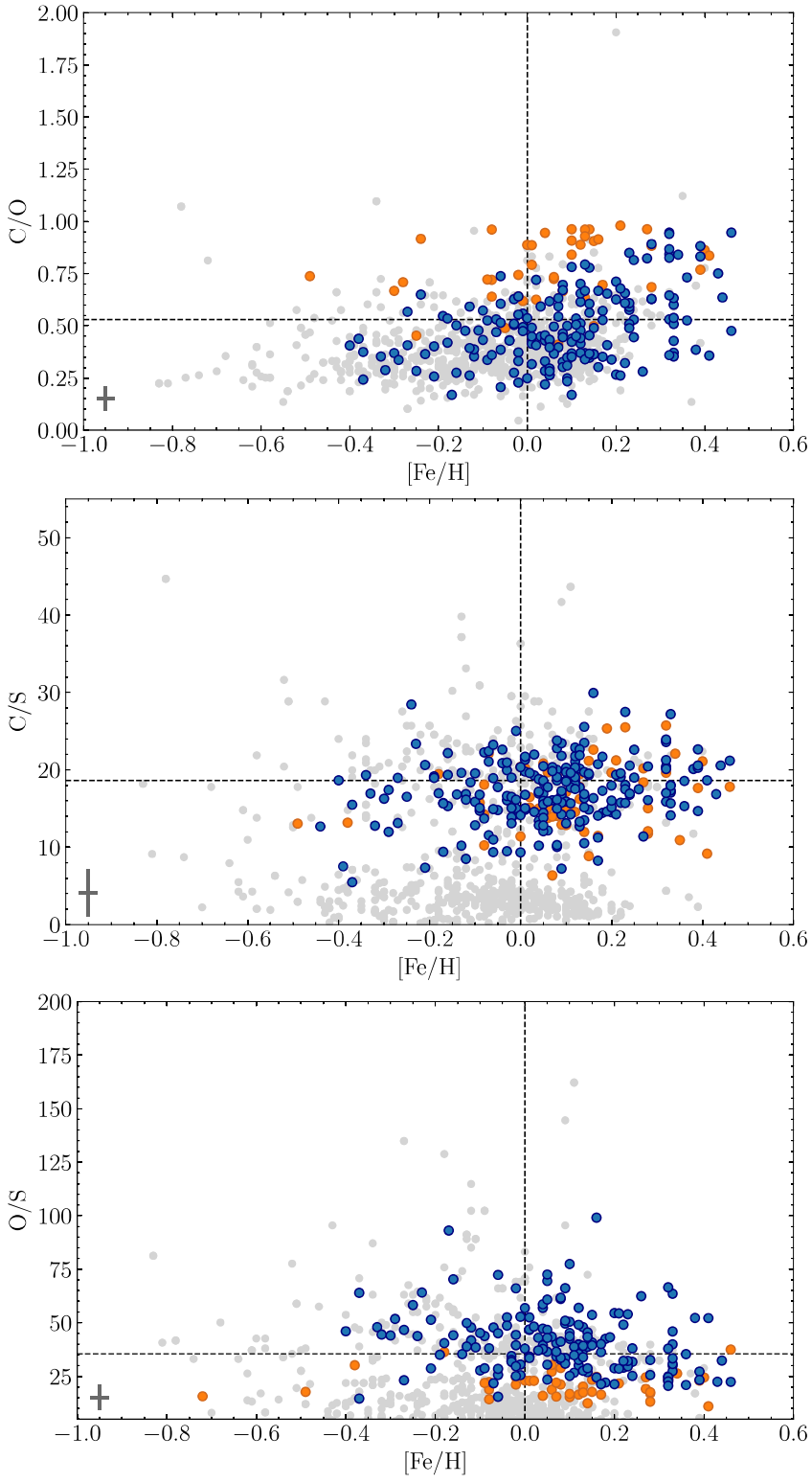


Figura 4.9: Razões de C/O (painel superior), C/S (painel do meio) e O/S (painel inferior) em função da [Fe/H]. Os símbolos e as linhas são os mesmos da Figura 4.8.

limitação com $T_{\rm ef}$ (ver Seção 4.5). Assim, temos 234, 226, 225 e 290 estrelas hospedeiras com abundâncias de C, O, S e Ni, respectivamente, com abundâncias confiáveis.

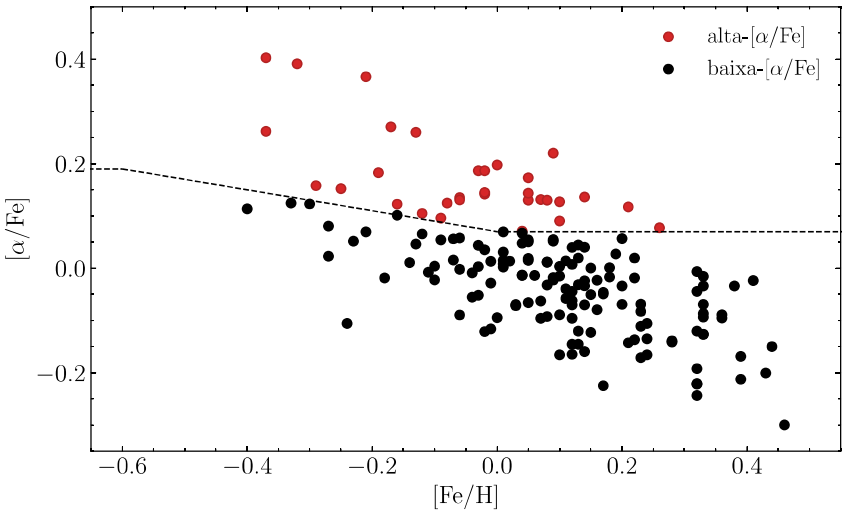


Figura 4.10: Distribuição de [α/Fe] em função da metalicidade. Os círculos pretos e vermelhos representam, respectivamente, estrelas de baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe]. A linha tracejada representa a separação estimada da Figura 1 de Adibekyan *et al.* (2011).

4.7 Comparações com a Literatura

4.7.1 Carbono, Níquel e Enxofre

Comparamos as abundâncias químicas determinadas neste trabalho obtidas utilizando larguras equivalentes, i.e., abundâncias de C, Ni e S, com as abundâncias compiladas no catálogo Hypatia (Hinkel *et al.* 2014) para verificar se nossos valores são compatíveis com a distribuição global destas abundâncias. Além disso, também comparamos nossos resultados de C, Ni e S com os do GAPS (Biazzo *et al.* 2022), trabalho este que utilizou espectros HARPS-Norte, para o C e Ni, com as abundâncias determinadas por Brewer *et al.* (2016) e, para o S, com as de Perdigon *et al.* (2021). Na Figura 4.11, comparamos nossas abundâncias diretamente.

Temos 59 estrelas em comum com o catálogo Hypatia que possuem abundâncias de carbono disponíveis, para as quais encontramos uma diferença mediana de $-0,01 \pm 0,04$ e $R^2 = 0,12$ para a regressão OLS dos resíduos. Contudo, notamos que há incertezas muito altas para os valores de C do catálogo Hypatia, com valor máximo de 0,31 e mediana de 0,09. Isso pode estar associado ao fato de que, além de conter determinações feitas com várias técnicas e metodologias diferentes, estas também utilizam indicadores de carbono diferentes, misturando abundâncias determinadas através de linhas atômicas e bandas moleculares – as quais, no geral, não têm bom acordo na literatura (e.g., Delgado Mena *et al.* 2021). Para o níquel, encontramos um excelente acordo para as 53 estrelas em

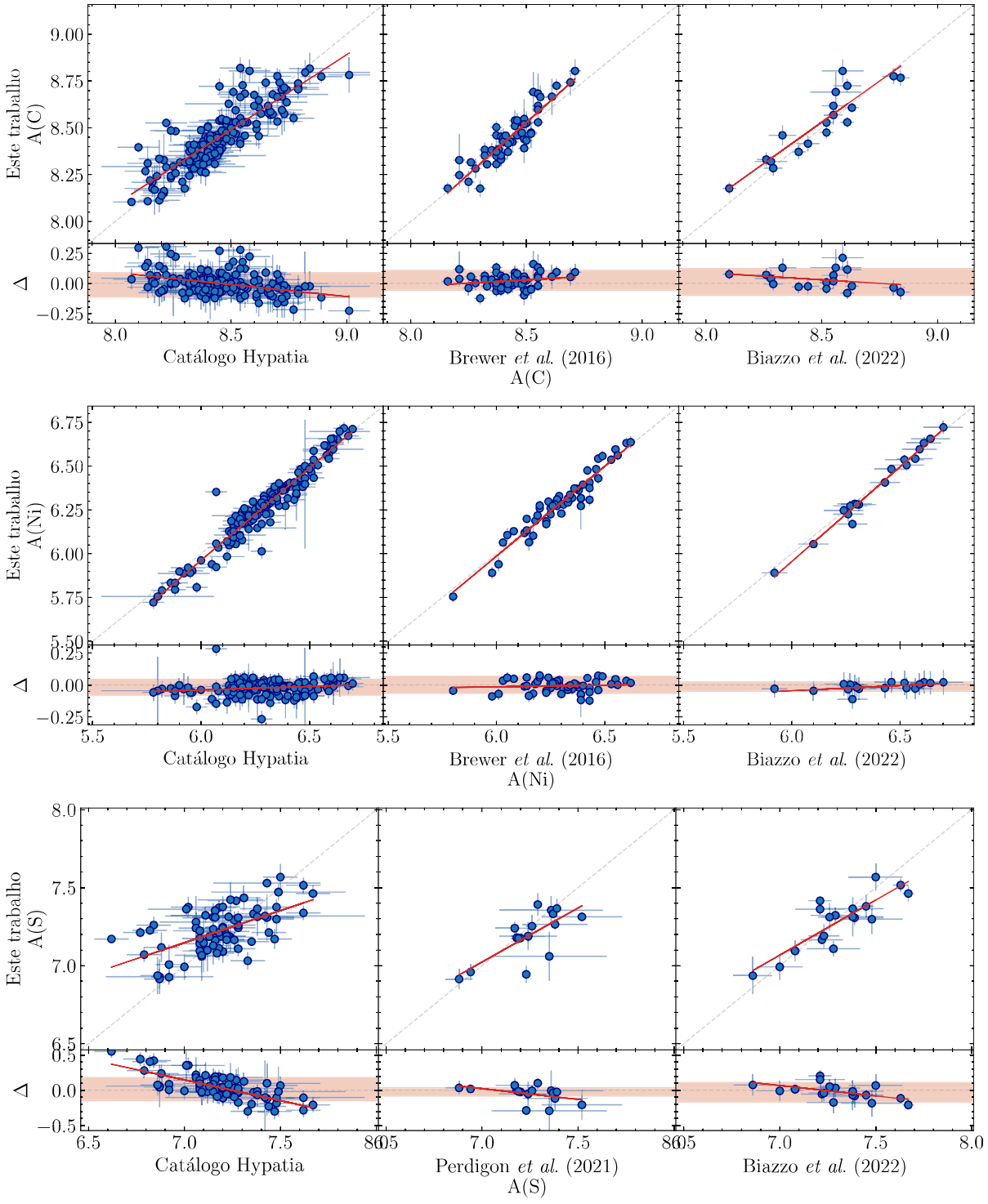


Figura 4.11: Comparações entre as abundâncias de C (linha superior), Ni (linha do meio) e S (linha inferior) determinadas neste trabalho e os valores compilados no catálogo Hypatia (coluna da esquerda, Hinkel *et al.* 2014) e determinados por Brewer *et al.* (2016), Perdigon *et al.* (2021) (coluna do meio) e Biazzo *et al.* (2022) (coluna da direita). As descrições dos painéis, linhas, símbolos e regiões coloridas são as mesmas da Figura 3.3.

comum, com uma diferença mediana de $-0,01 \pm 0,03$ e $R^2 = 0,01$ para os resíduos. Notamos a existência de uma *outlier* nos painéis de C e Ni, a Kepler-1300. Esta estrela

tem A(C) = $8,53 \pm 0,03$ e A(Ni) = $6,35 \pm 0,03$. No catálogo, seus valores são baseados nas determinações de Brewer e Fischer (2018), A(C) = $8,22 \pm 0,09$ e A(Ni) = $6,07 \pm 0,05$. Estas diferenças podem estar sendo propagadas das altas diferenças em $T_{\rm ef}$ e [Fe/H], sendo $T_{\rm ef} = 5830 \pm 21$ K e [Fe/H] = $0,12 \pm 0,02$ determinadas neste trabalho e $T_{\rm ef} = 6027$ K e [Fe/H] = $-0,14$ determinadas por Brewer e Fischer (2018). Por último, para o enxofre, encontramos uma diferença mediana de $0,00 \pm 0,07$ e $R^2 = 0,51$ para os resíduos das 77 estrelas em comum, refletindo a presença de uma tendência moderada. Essa dispersão é típica considerando o fato de que as misturas nas linhas dos multipletos do S I diminuem a precisão das suas determinações. Há duas estrelas influenciando bastante as tendências observadas nos resíduos, a K2-188 ($7,07 \pm 0,05$) e TOI-1736 ($7,23 \pm 0,02$), as quais possuem valores de $T_{\rm ef}$ de 5959 K e 5743 K, respectivamente. No catálogo Hypatia, os valores de S de K2-188 e TOI-1736 são baseados em determinações de Plotnikova *et al.* (2024), $7,69 \pm 0,09$ e $6,82 \pm 0,09$, respectivamente.

Para as estrelas em comum com Brewer *et al.* (2016), no geral, encontramos um acordo excelente. Para o carbono, temos 43 estrelas em comum, com uma diferença mediana de $0,03 \pm 0,04$ e $R^2 = 0,04$ para os resíduos. Para o níquel, temos 53 estrelas em comum, com uma diferença mediana de $0,00 \pm 0,03$ e $R^2 = 0,01$ para os resíduos. Com Perdigon *et al.* (2021) (enxofre), temos 17 estrelas em comum, com uma diferença mediana de $-0,02 \pm 0,03$ e $R^2 = 0,19$ para os resíduos – refletindo a presença de uma tendência fraca. Finalmente, com Biazzo *et al.* (2022), temos 18 estrelas em comum, com diferenças medianas de $0,01 \pm 0,06$, $-0,01 \pm 0,02$ e $-0,03 \pm 0,07$ para C, Ni e S, respectivamente, e valores de R^2 de 0,08, 0,25 e 0,30 para os resíduos – refletindo a presença de tendências fracas para Ni e S. Contudo, as altas dispersões e R^2 podem estar associados à escassez de estrelas em comum (estatística de poucos números).

4.7.2 Oxigênio

Comparamos nossas abundâncias de oxigênio, determinadas utilizando síntese espectral da linha do [O I] em 6300 Å, com as abundâncias compiladas pelo catálogo Hypatia (Hinkel *et al.* 2014) e determinadas por Brewer *et al.* (2016) e Biazzo *et al.* (2022). As abundâncias de oxigênio disponíveis no catálogo Hypatia vêm de trabalhos que utilizaram, exclusivamente, o tripleto do O I em 7774 Å para fazer as determinações – linhas estas que sofrem efeitos não-ETL (e.g., Amarsi *et al.* 2019). Brewer *et al.* (2016) determinam as abundâncias utilizando síntese espectral do tripleto do O I em 7774 Å e algumas bandas moleculares, incluindo OH. Biazzo *et al.* (2022) utilizaram duas metodologias: *i*) larguras equivalentes das linhas do tripleto do O I em 7774 Å, medidas com a função `splot` do IRAF, o *driver* `blends` do código MOOG e correções não-ETL de Amarsi *et al.* (2015); *ii*) síntese espectral da linha do [O I] em 6300 Å utilizando o *driver* `synth` do código MOOG. A abundância final de cada estrela é a média ponderada dos valores obtidos através dos

dois métodos.

Na Figura 4.12, comparamos nossas abundâncias para 35, 44 e 13 estrelas em comum com o catálogo Hypatia, Brewer *et al.* (2016) e Biazzo *et al.* (2022), respectivamente, para as quais encontramos diferenças medianas de $-0,04 \pm 0,18$, $-0,02 \pm 0,09$ e $0,01 \pm 0,13$ e R^2 de 0,20, 0,06 e 0,22 para as regressões OLS dos resíduos – refletindo a presença de altas dispersões, especialmente com o catálogo Hypatia e Biazzo *et al.* (2022). Na literatura, encontramos exemplos de trabalhos que, mesmo utilizando parâmetros atmosféricos fixados, encontram diferenças entre as abundâncias de oxigênio obtidas através de diferentes indicadores. Ecuvillon *et al.* (2006) determinaram abundâncias de oxigênio para 96 estrelas hospedeiras utilizando três indicadores de oxigênio e encontraram abundâncias médias de oxigênio de $0,10 \pm 0,16$ com as linhas do OH no ultravioleta próximo, $0,12 \pm 0,16$ com a linha do [O I] em 6300 Å e $-0,16 \pm 0,17$ com o tripleto do O I em 7774 Å. Por fim, considerando as discrepâncias entre as abundâncias de oxigênio obtidas com diferentes indicadores, ao considerar também as diferenças nos parâmetros atmosféricos e nas metodologias, as diferenças medianas encontradas aqui representam um bom acordo geral entre nossas abundâncias e os valores da literatura.

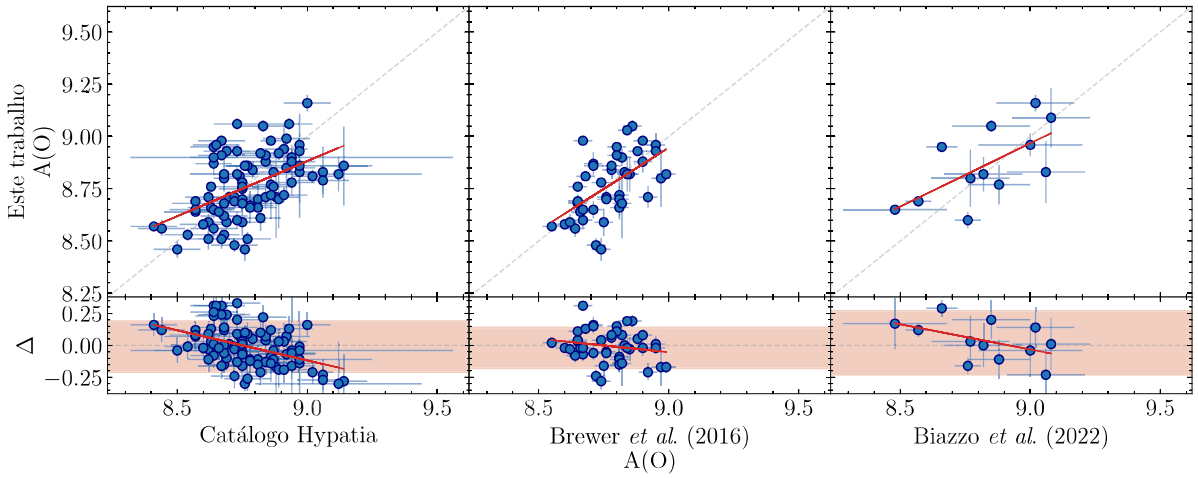


Figura 4.12: Comparações entre as abundâncias de O determinadas neste trabalho e os valores compilados no catálogo Hypatia (painel esquerdo, Hinkel *et al.* 2014) e determinados por Brewer *et al.* (2016) (painel do meio) e Biazzo *et al.* (2022) (painel direito). As descrições dos painéis, linhas, símbolos e regiões coloridas são as mesmas da Figura 3.3.

Até onde sabemos, não há uma amostra grande de estrelas em comum com o nosso trabalho que tem abundâncias de oxigênio determinadas através da linha do O I em 6158 Å. Bertran de Lis *et al.* (2015) têm uma amostra de 1111 anãs FGK, contudo, temos apenas duas estrelas em comum. Por conta disso, determinamos abundâncias de oxigênio com a linha do O I em 6158 Å para 17 estrelas da nossa amostra utilizando a mesma metodologia utilizada para a linha do [O I] em 6300 Å – síntese espectral com o *driver* `synth` do código MOOG (ver Seção 4.3) –, mas de forma manual. Comparando nossas abundâncias obtidas com a linha do [O I] em 6300 Å e as obtidas com a linha do O I em 6158 Å, encontramos

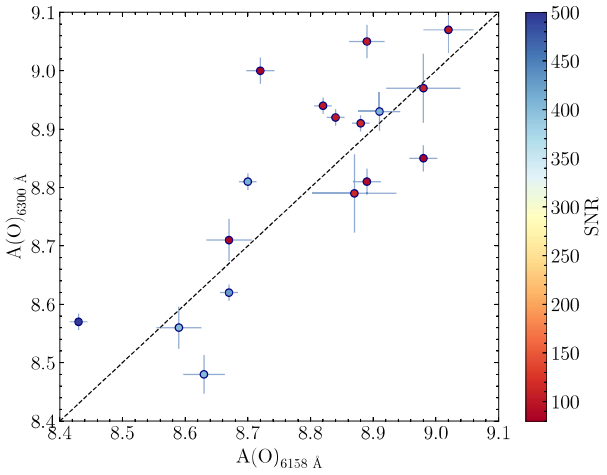


Figura 4.13: Comparações entre as abundâncias obtidas neste trabalho utilizando a linha do [O I] em 6300 Å e a linha do O I em 6158 Å. As cores representam a SNR dos espectros.

um acordo excelente com uma diferença mediana $(\mathrm{A(O)}_{6300} - \mathrm{A(O)}_{6158})$ de $0,03 \pm 0,08$ para a amostra completa, $0,04 \pm 0,08$ para a subamostra com $80 < \mathrm{SNR} < 120$ e $0,00 \pm 0,08$ para a subamostra com $\mathrm{SNR} > 400$ (ver Figura 4.13). Por fim, determinamos $\mathrm{A(O)} = 8.70 \pm 0.05$ para o espectro solar Ceres, i.e., o mesmo valor que obtivemos utilizando a linha do [O I] em 6300 Å.

Capítulo 5

Resultados

Neste capítulo, investigamos as relações entre as abundâncias estelares e os raios dos exoplanetas determinados neste trabalho ($R_{\rm pl}$, ver Seção 3.3) e, também, seus períodos orbitais ($P_{\rm orb}$) e massas ($M_{\rm pl}$) – obtidos do NASA Exoplanet Archive. As abundâncias estão listadas na Tabela B.4 e os parâmetros dos exoplanetas na Tabela B.3. Como mencionado previamente, estamos considerando apenas abundâncias de carbono e oxigênio de estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5300$ K, de enxofre para estrelas com $T_{\rm ef} \geqslant 5350$ K e de níquel para todas as estrelas ($T_{\rm ef} \geqslant 5000$ K) – que representam as abundâncias confiáveis (ver Seção 4.5). Os exoplanetas foram divididos seguindo a classificação de Wilson *et al.* (2022). Em relação às classes de tamanho: *i*) Sub-Terras (sE), $R_{\rm pl} < 1\ R_\oplus$; *ii*) Super-Terras (SE), $1\ R_\oplus \leqslant R_{\rm pl} < 1,9\ R_\oplus$; *iii*) Sub-Netunos (sN), $1,9\ R_\oplus \leqslant R_{\rm pl} < 4\ R_\oplus$; *iv*) Sub-Saturnos (sS), $4\ R_\oplus \leqslant R_{\rm pl} < 8\ R_\oplus$; *v*) Jupíteres (J), $8\ R_\oplus \leqslant R_{\rm pl} < 23\ R_\oplus$. Em relação às classes de período orbital: *i*) quentes, $P_{\rm orb} \leqslant 10$ dias; *ii*) mornos, $10 < P_{\rm orb} \leqslant 100$ dias; *iii*) frios, $100 < P_{\rm orb} \leqslant 300$ dias[1]. Dessa forma, no total, temos 373 exoplanetas com raios e períodos orbitais determinados, sendo 3 sE (quentes), 45 SE (35 quentes, 9 mornas e 1 fria), 124 sN (68 quentes, 54 mornos e 2 frios), 44 sS (23 quentes, 18 mornos, 1 frio e 2 com $P_{\rm orb} > 300$ dias) e 157 J (115 quentes, 32 mornos, 6 frios e 4 com $P_{\rm orb} > 300$ dias). Por fim, tendo em vista que o número de exoplanetas frios e com $P_{\rm orb} > 300$ dias é muito pequeno, eles não serão considerados nas análises deste capítulo, totalizando 357 exoplanetas a serem analisados.

Ao longo deste capítulo, todas as análises estatísticas são feitas para 1000 reamostragens dos dados através do Bootstrap (ver Seção 4.5). Portanto, os resultados dos testes estatísticos são dados em termos de valores medianos e percentuais, onde $\%p_{\rm OLS}$ e $\%t_{\rm OLS}$ representam, respectivamente, os percentuais de p-values $< 0,001$ e $|t\text{-values}| > 3$ calculados através das regressões lineares OLS das 1000 amostras Bootstrap. Da mesma forma, para os testes Kolmogorov-Smirnov biamostral[2], temos $\%p_{\rm KS}$. Neste trabalho, considera-

[1] A denominação quente, morno e frio é um jargão da área de exoplanetas. O período orbital de um exoplaneta não especifica sua temperatura de equilíbrio, sendo esta dependente da $T_{\rm ef}$ e do $R_\star$ da sua estrela hospedeira, do seu albedo e de como o calor é redistribuído em sua atmosfera.

[2] Os testes biamostrais KS (do inglês, *two-sample KS tests*) foram feitos com a função `ks_2samp` do

mos um resultado estatisticamente significativo se p-value $< 0,001$ e $|t\text{-value}| > 3$.

5.1 Sistemas com um Exoplaneta *versus* Multiplanetários

Dividimos nossa amostra em dois grupos, estrelas com apenas um exoplaneta confirmado e tendo mais de um exoplaneta confirmado (multiplanetários). Na primeira linha da Figura 5.1, apresentamos os histogramas das distribuições de $\log(R_{\rm pl}/{\rm R}_\oplus)$, $\log(P_{\rm orb}/{\rm dia})$ e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$. Vemos nos painéis da esquerda e da direita que exoplanetas pequenos e de baixa massa são mais frequentes em sistemas multiplanetários, tendo diferenças medianas (um exoplaneta − multiplanetários) de 0,61 para $\log(R_{\rm pl}/{\rm R}_\oplus)$ e 1,29 para $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$. Para $\log(P_{\rm orb}/{\rm dia})$ (painel do meio), a diferença mediana entre sistemas com um exoplaneta e multiplanetários é de -0,32, isto é, exoplanetas em sistemas multiplanetários tendem a ter períodos orbitais levemente maiores do que exoplanetas em sistemas com apenas um exoplaneta. Realizamos testes K-S entre as distribuições de $\log(R_{\rm pl}/{\rm R}_\oplus)$, $\log(P_{\rm orb}/{\rm dia})$ e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ dos dois grupos, sistemas tendo um exoplaneta e multiplanetários, e encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 100% para os três, indicando que as distribuições de raio, período orbital e massa de exoplanetas em sistemas com um exoplaneta e multiplanetários são significativamente diferentes. Resultados similares foram encontrados para $P_{\rm orb}$ (por exemplo, Wright *et al.* 2009) e $R_{\rm pl}$ (por exemplo, Muresan *et al.* 2026). Muresan *et al.* (2026) também investigaram a distribuição de $R_{\rm pl}$ de exoplanetas em sistemas com um exoplaneta e multiplanetários e encontraram que, ao remover os Jupíteres quentes da amostra, as distribuições de $R_{\rm pl}$ eram indistinguíveis entre si. Para a nossa amostra, nós continuamos encontrando diferenças significativas entre as distribuições de $\log(R_{\rm pl}/{\rm R}_\oplus)$ de exoplanetas em sistemas com um exoplaneta e multiplanetários após a remoção dos Jupíteres quentes ($\%p_{\rm KS} = 70\%$).

Na Figura 5.1, na linha do meio e inferior, apresentamos as distribuições das abundâncias químicas de [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H] e das razões de abundâncias C/O, C/S e O/S[3]. Notamos que as distribuições de abundâncias para sistemas com um exoplaneta e multiplanetários são muito similares para todos os elementos, exceto para C/O – no qual há um excesso de exoplanetas em sistemas com um exoplaneta ao redor de estrelas com C/O $\lesssim 0,50$. Estes resultados para [Fe/H] estão em acordo com outros estudos da literatura (por exemplo, Weiss *et al.* 2018; Ghezzi *et al.* 2021; Loaiza-Tacuri *et al.* 2025). Realizamos testes K-S entre as distribuições de abundâncias dos dois grupos e encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 1%, 0%, 32%, 5%, 3%, 61%, 1% e 9% para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], C/O, C/S e O/S, respectivamente, isto é, há diferenças significativas ape-

pacote `scipy` do Python.

[3] $\mathrm{X/Y} = 10^{\mathrm{A(X)-A(Y)}}$

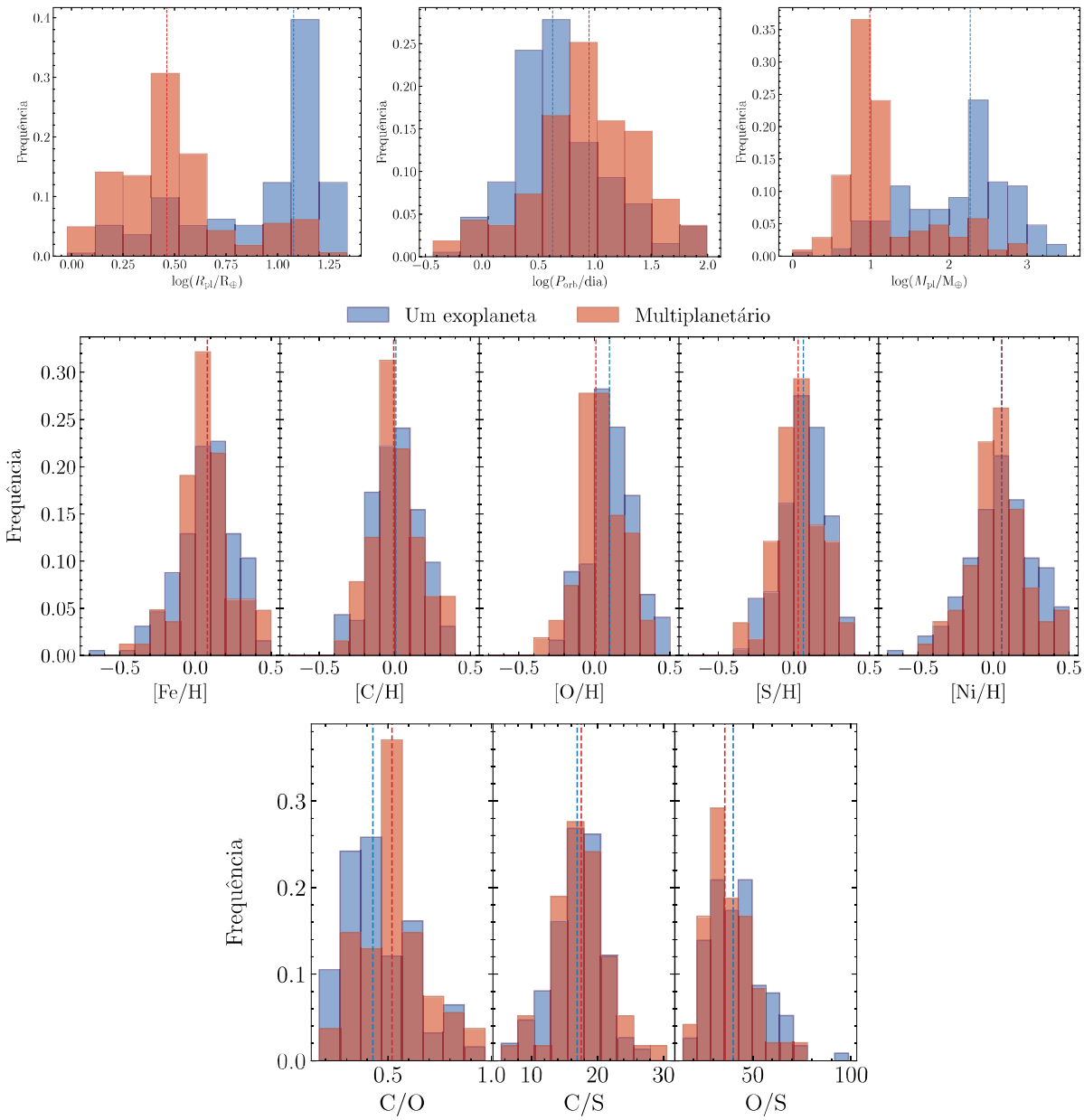


Figura 5.1: Histogramas das distribuições de $\log(R_{\rm pl}/{\rm R}_\oplus)$, $\log(P_{\rm orb}/{\rm dia})$ e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ dos exoplanetas (primeira linha, da esquerda para a direita) e [X/H] (linha do meio) e C/O, C/S e O/S (última linha, da esquerda para a direita) das estrelas hospedeiras. Sistemas com apenas um exoplaneta confirmado são apresentados em azul e, com mais de um exoplaneta confirmado (multiplanetário), em vermelho. As linhas tracejadas indicam os valores medianos de cada parâmetro e as cores seguem as dos histogramas. As diferenças medianas (um exoplaneta − multiplanetários) são de 0,00, 0,01, 0,09, 0,03, 0,00, -0,09 ($(\Delta{\rm C/O})/({\rm C/O}_{\rm singles}) \sim 21\%$), -0,62 ($\sim 4\%$) e 4,15 ($\sim 10\%$) para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], C/O, C/S e O/S, respectivamente.

nas entre as distribuições de C/O das estrelas hospedeiras de sistemas com um exoplaneta e multiplanetários.

A escassez de exoplanetas massivos em sistemas multiplanetários pode ser resultado das instabilidades dinâmicas provocadas pela presença deles, aumentando assim a fre-

quência de colisões, ejeções e espalhamento planeta-planeta – possivelmente reduzindo o número de exoplanetas no sistema (por exemplo, Izidoro *et al.* 2017; Pan *et al.* 2025). Adicionalmente, exoplanetas massivos são mais frequentes ao redor de estrelas ricas em metais (por exemplo, Fischer e Valenti 2005; Sousa *et al.* 2011; Mortier *et al.* 2013; Ghezzi *et al.* 2018), como será discutido na próxima seção. Pan *et al.* (2025) realizaram simulações de sistemas multiplanetários e classificou o estado final dos sistemas "observados" como tendo apenas um exoplaneta ou multiplanetários. Eles encontraram que a excentricidade e inclinação média das órbitas planetárias aumenta significativamente com a [Fe/H] da estrela hospedeira. Por mais que mais de um planeta possa sobreviver neste ambiente dinamicamente aquecido, suas órbitas finais são altamente desalinhadas e seus sistemas podem ser observados como tendo apenas um exoplaneta nas observações de trânsito planetário. Em comparação, sistemas planetários ao redor de estrelas de baixa metalicidade podem ter planetas que mantêm suas órbitas praticamente circulares e coplanares (ver Figura 4 de Pan *et al.* 2025).

5.2 Exoplanetas gigantes *versus* pequenos

Estudos recentes têm encontrado que a distribuição de metalicidade de estrelas hospedeiras de sub-Saturnos e Jupíteres é diferente da observada para estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos, como sub-Terras, super-Terras e sub-Netunos. Há uma dependência da taxa de ocorrência de exoplanetas gigantes com a metalicidade da estrela hospedeira (por exemplo, Fischer e Valenti 2005; Sousa *et al.* 2011; Mortier *et al.* 2013; Wilson *et al.* 2022). Entretanto, isso não é observado para estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos, para as quais um intervalo maior de metalicidades é observado (por exemplo, Udry *et al.* 2006; Buchhave *et al.* 2012; Adibekyan *et al.* 2012b, 2019; Ghezzi *et al.* 2010a, 2021, 2026) – com exceção de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos e quentes (por exemplo, Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2022; Mulders *et al.* 2016; Wanderley *et al.* 2025; Ghezzi *et al.* 2026).

Para investigar estas diferenças, dividimos as estrelas da nossa amostra em dois grupos, hospedeiras de exoplanetas gigantes (sS ou J) e de exoplanetas pequenos (sE, SE ou sN). Caso a estrela hospede os dois tipos, ela é classificada como hospedeira de exoplanetas gigantes. Ou seja, independente do número de exoplanetas que a estrela hospede, ela é tratada individualmente. Na primeira linha da Figura 5.2, observamos que, para todos os elementos, as distribuições de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos (histogramas laranjas) têm [X/H] medianas menores do que as das estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes (histogramas azuis). Além disso, vemos que há um excesso de estrelas mais ricas em metais hospedeiras de exoplanetas gigantes. As diferenças medianas de [X/H] (gigantes – pequenos) são 0,09, 0,04, 0,12, 0,10 e 0,09 para Fe,

C, O, S e Ni, respectivamente, isto é, significativas[4] para todos os elementos, exceto C e S. Por fim, resultados similares foram encontrados na literatura para o Fe (por exemplo, Sousa *et al.* 2011; Wang e Fischer 2015; Ghezzi *et al.* 2021), Ni (por exemplo, Adibekyan *et al.* 2012b; Ghezzi *et al.* 2026) e, também, para Mg (por exemplo, Adibekyan *et al.* 2012b) e Si (por exemplo, Adibekyan *et al.* 2012b; Ghezzi *et al.* 2026) – sendo os dois últimos elementos-α, assim como O e S. Para as distribuições das razões de abundância C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras (ver segunda linha da Figura 5.2), observamos uma clara diferença entre a distribuição de C/O de estrelas hospedeiras de planetas gigantes e pequenos. Encontramos diferenças medianas de -0,08 (18%[5]), -1,60 (9%) e 3,01 (7%) para C/O, C/S e O/S, respectivamente. Assim, os resultados sugerem que estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos tendem a ter C/O maiores do que estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes. As diferenças encontradas para C/S e O/S são insignificantes ($\%\mathrm{X/Y} < \log 0,05$, ou seja, menor que $\sim 12\%$).

Nos testes K-S, encontramos $\%p_{\mathrm{KS}}$ de 65%, 16%, 99%, 91% e 68% para Fe, C, O, S e Ni, respectivamente, e 51%, 12% e 7% para C/O, C/S e O/S. Portanto, os testes indicam diferenças significativas entre as distribuições de [Fe/H], [O/H], [S/H], [Ni/H] e C/O de estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes e pequenos. Por fim, também realizamos os testes K-S para as distribuições de [X/Fe] e encontramos $\%p_{\mathrm{KS}}$ entre 2% e 43% para todos os elementos, ou seja, diferenças não significativas. Estes resultados de [X/Fe] sugerem que as tendências observadas para [X/H] podem estar refletindo a correlação entre [Fe/H] e R_{pl} (por exemplo, Ghezzi *et al.* 2026).

5.2.1 Exoplanetas pequenos: quentes *versus* mornos

Focando apenas na distribuição de abundâncias e razões de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos, as separamos em dois grupos: hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos. Na Figura 5.3, observamos que estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes possuem [X/H] medianas maiores do que as das estrelas hospedeiras de exoplanetas mornos, com diferenças (quentes – mornos) de 0,15, 0,10, 0,05, 0,10 e 0,16 para Fe, C, O, S e Ni, respectivamente, sendo significativas para Fe, C, S e Ni. Além disso, vemos que há um excesso de estrelas mais pobres em metais hospedeiras de exoplanetas mornos. Para as razões de abundâncias C/O, C/S e O/S, encontramos diferenças medianas de 0,03 (5%), 1,61 (8%) e -7,02 (18%). Por fim, para os testes K-S, encontramos $\%p_{\mathrm{KS}}$ de 51%, 13%, 0%, 7% e 57% para Fe, C, O, S e Ni, respectivamente, e 1%, 1% e 2% para C/O, C/S e O/S, tendo diferenças significativas entre as distribuições de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos quentes e mornos para [Fe/H] e [Ni/H]. Resultados similares foram encontrados na literatura (por exemplo, Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2022;

[4]Acima de 2 vezes a incerteza mediana de [X/H] (ver Seção 4.4).

[5]Por se tratar de razões de abundância, o valor obtido pela subtração das medianas não é tão informativo, mas sim o percentual $(\mathrm{X/Y_{gigantes}} - \mathrm{X/Y_{pequenos}}) \div (\mathrm{X/Y_{gigantes}})$.

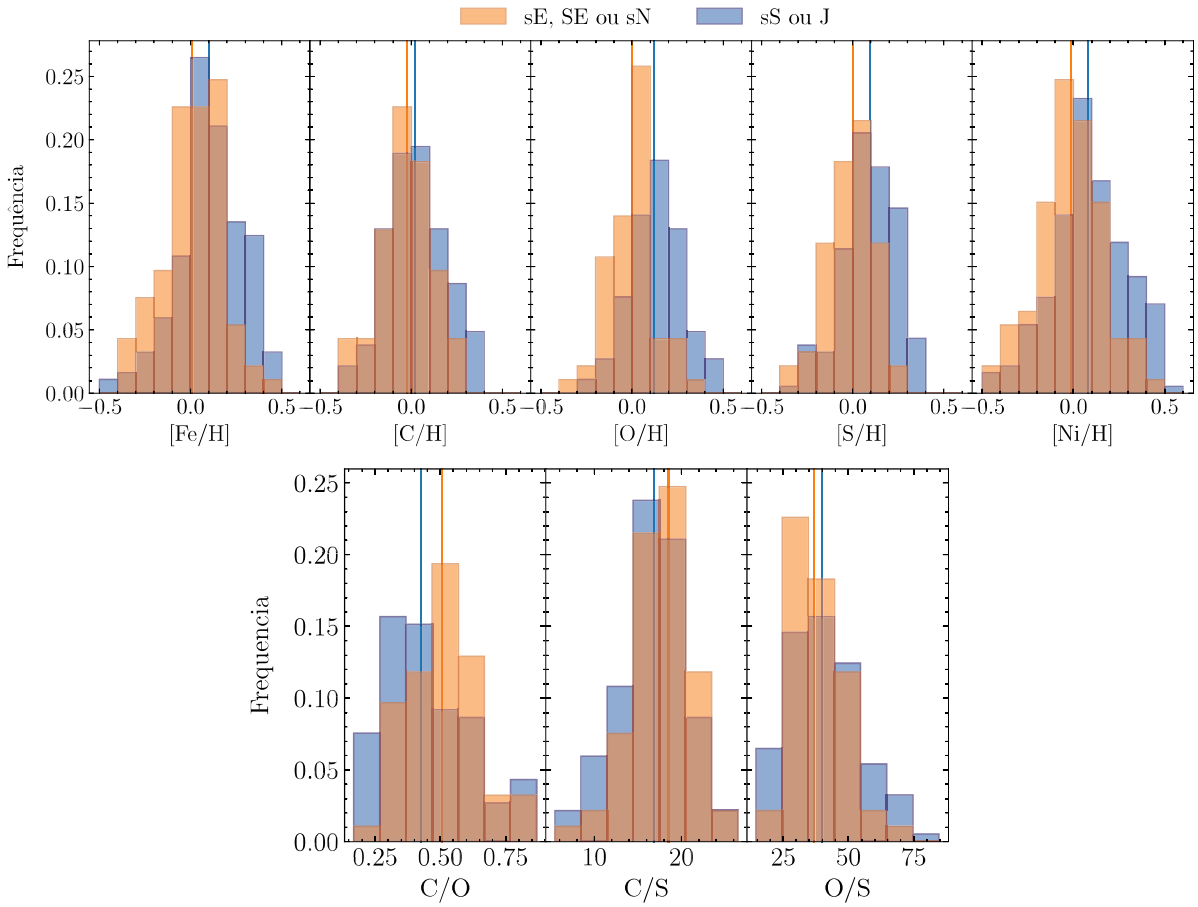


Figura 5.2: Distribuição de [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H] (primeira linha) e C/O, C/S e O/S (segunda linha) de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos (sE, SE ou sN, em laranja) e gigantes (sS ou J, em azul). As linhas indicam os valores medianos das abundâncias e razões de abundâncias para cada grupo.

Mulders *et al.* 2016; Wanderley *et al.* 2025; Ghezzi *et al.* 2026).

5.2.2 Exoplanetas gigantes: quentes *versus* mornos

Focando apenas na distribuição de abundâncias e razões de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes, as separamos em dois grupos: hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos. Na Figura 5.4, observamos que as distribuições de [X/H] e das razões de abundâncias são similares para estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes quentes e mornos, com diferenças (quentes − mornos) de 0,04, 0,04, 0,00, 0,02 e 0,06 para Fe, C, O, S e Ni, respectivamente, e 0,00 (0%), 0,96 (5%) e 0,41 (1%) para C/O, C/S e O/S. Para os testes K-S, encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 2%, 2%, 0%, 0% e 4% para [X/H] e 0%, 1% e 0% para as razões de abundâncias. Portanto, não encontramos diferenças significativas entre as distribuições de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes quentes e mornos. Morgan *et al.* (2026) encontraram resultados similares para estrelas hospedeiras de Jupíteres com $10 < P_{\rm orb} \leqslant 365$ dias, nos quais a metalicidade da estrela hospedeira

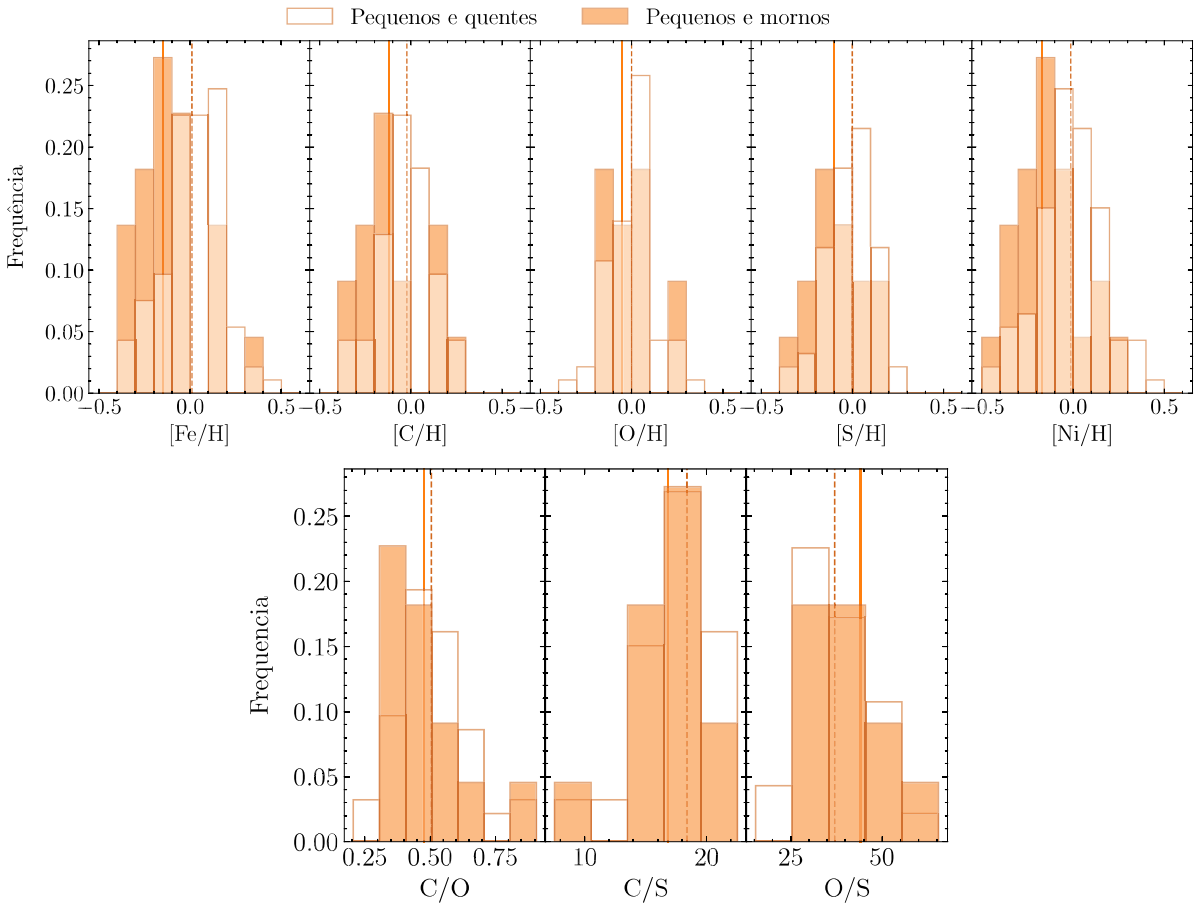


Figura 5.3: Distribuição de [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H] (primeira linha) e C/O, C/S e O/S (segunda linha) de estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos quentes (histogramas brancos) e mornos (histogramas laranjas). As linhas laranjas tracejadas indicam os valores medianos das abundâncias e razões de abundâncias das hospedeiras de exoplanetas pequenos quentes e, as contínuas, de pequenos mornos.

não influencia de forma significativa a distância orbital final, mas sim a excentricidade das órbitas dos exoplanetas. Ademais, Ghezzi *et al.* (2026) não encontraram diferenças significativas nos testes Cucconi entre as distribuições de 13 elementos (Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, e Cu) de estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes quentes e mornos.

5.3 Tendências com o raio dos exoplanetas

Apresentamos as metalicidades das estrelas hospedeiras em função dos raios dos exoplanetas na Figura 5.5. Vemos uma clara tendência na qual a metalicidade das estrelas hospedeiras aumenta com o raio dos exoplanetas. Encontramos para as regressões OLS um coeficiente angular mediano positivo e valores de $\%p_{\rm OLS}$ e $\%t_{\rm OLS}$ de 58% e 60%, respectivamente, indicando uma tendência estatisticamente significativa. Este resultado está de acordo com o que é encontrado na literatura (por exemplo, Buchhave *et al.* 2012, 2014;

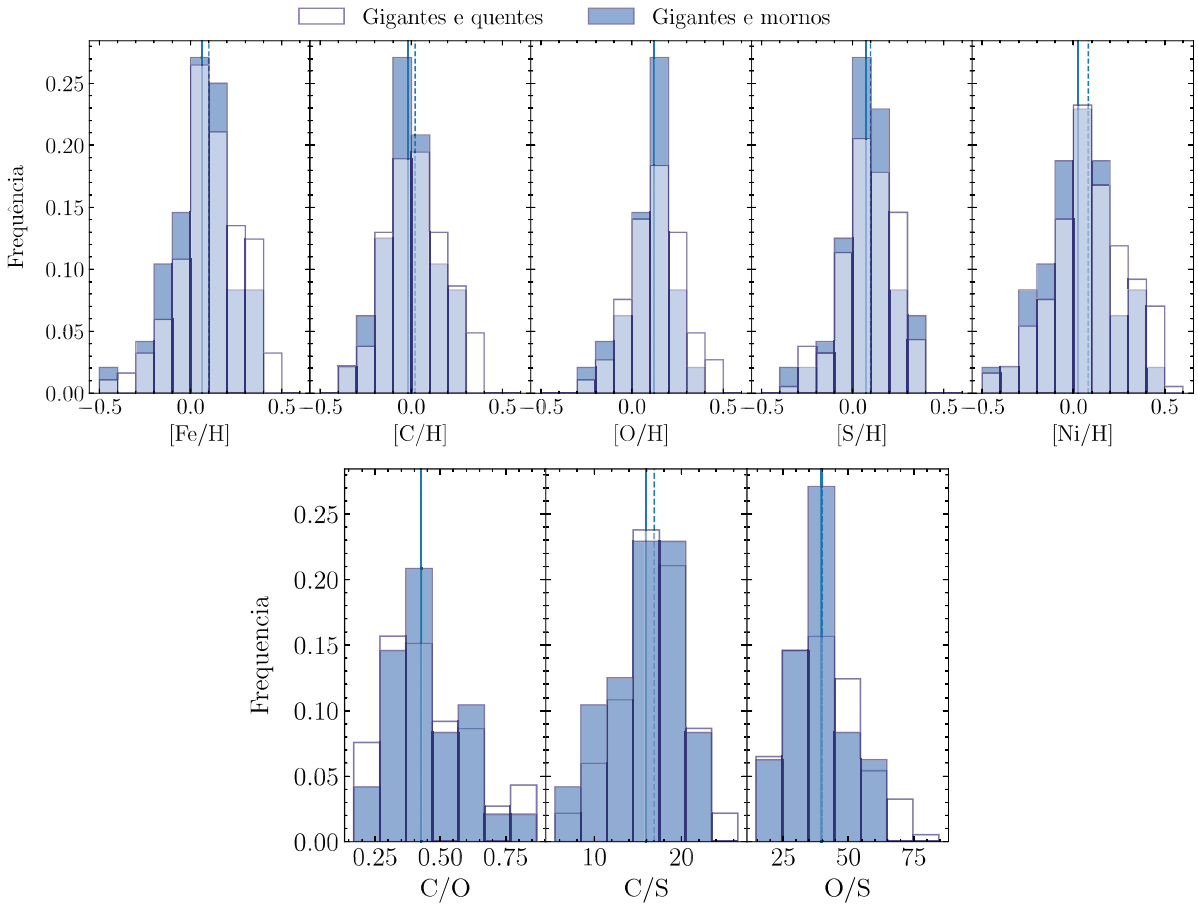


Figura 5.4: Distribuição de [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H] (primeira linha) e C/O, C/S e O/S (segunda linha) de estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes quentes (histogramas brancos) e mornos (histogramas azuis). As linhas azuis tracejadas indicam os valores medianos das abundâncias e razões de abundâncias das hospedeiras de exoplanetas gigantes quentes e, as contínuas, de gigantes mornos.

Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2022; Ghezzi *et al.* 2021, 2026). Por mais que a distribuição de [Fe/H] de estrelas hospedeiras de Jupíteres cubra basicamente todo o nosso intervalo de metalicidades (aproximadamente entre -0,60 e 0,50), sua [Fe/H] mediana é a maior de todos os intervalos de $R_{\rm pl}$ (0,10). Assim como Petigura *et al.* (2018b, ver Figura 3 deles) e Wilson *et al.* (2022, ver Figura 9 deles), encontramos praticamente uma [Fe/H] média constante até ~ 2 R$_\oplus$, seguida por um leve aumento até hospedeiras de Jupíteres. Ademais, vemos um aumento na [Fe/H] de estrelas hospedeiras de sub-Netunos maiores ($3-4$ R$_\oplus$) comparado com estrelas hospedeiras de sub-Netunos menores ($1.9-3$ R$_\oplus$) – também observado na amostra APOGEE-Kepler analisada por Wilson *et al.* (2022). A diferença nos valores medianos das 1000 reamostragens Bootstrap das estrelas hospedeiras de sub-Netunos grandes e pequenos é de 0,07. Contudo, os testes K-S resultaram em $\%p_{\rm KS}$ de 2%, indicando que não há uma diferença estatisticamente significativa entre as duas distribuições de [Fe/H] das hospedeiras de sub-Netunos.

Combinamos nossa amostra de exoplanetas com a amostra Kepler de Ghezzi *et al.*

(2026), trabalho este que utiliza exatamente a mesma metodologia para a determinação dos parâmetros estelares e abundâncias de Fe que utilizamos neste trabalho – tornando a combinação das amostras homogênea. A amostra combinada contém 1210 exoplanetas e suas [Fe/H] medianas são apresentadas como quadrados pretos na Figura 5.5. Podemos ver que o resultado da amostra combinada possui um comportamento muito similar ao observado para a nossa amostra (quadrados vermelhos).

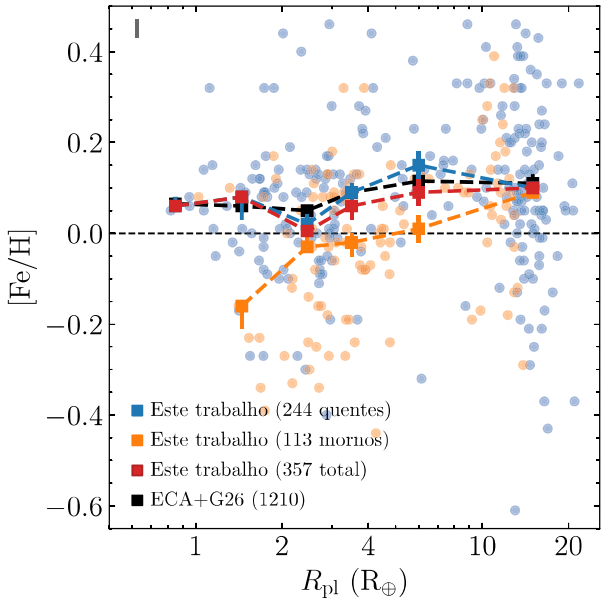


Figura 5.5: Metalicidades das estrelas hospedeiras em função do raio dos exoplanetas. Os pontos azuis e laranjas claros representam as amostras de exoplanetas quentes e mornos deste trabalho, respectivamente. Os quadrados azuis e laranjas representam as medianas calculadas através de 1000 reamostras Bootstrap e seus intervalos de confiança de 68% (1σ ao redor da mediana de uma distribuição simétrica) para os intervalos (0.7, 1], (1, 1.9], (1.9, 3], (3, 4], (4, 8] e (8, 22] R$_\oplus$. Os quadrados vermelhos representam a mesma quantidade para a nossa amostra completa, isto é, sem divisão de exoplanetas quentes e mornos, e os quadrados pretos, para a combinação da amostra completa deste trabalho (ECA) com a de Ghezzi *et al.* (2026) (G26). A linha tracejada preta representa a abundância solar. Por fim, no canto superior esquerdo, apresentamos as incertezas medianas das abundâncias em cinza.

Dividindo entre estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, encontramos tendências entre a distribuição de [Fe/H] das estrelas hospedeiras e os raios dos exoplanetas apenas para a amostra com exoplanetas mornos, com $\%p_{\rm OLS}$ de 1% e 66% para as regressões OLS das amostras de exoplanetas quentes e mornos, respectivamente, indicando que as tendências encontradas para a amostra completa são causadas pelas estrelas hospedeiras de exoplanetas mornos. Realizamos testes K-S para investigar a diferença nas distribuições de [Fe/H] das estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos de cada classe de tamanho e encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 12%, 20%, 12%, 51% e 0% para SE, sN com raios entre 1,9 e 3 R$_\oplus$, sN com raios entre 3 e 4 R$_\oplus$, sS e J, respectivamente, indicando uma diferença significativa entre a distribuição de [Fe/H] das estrelas hospedeiras de sS

quentes e mornos. Ademais, calculamos diferenças medianas (quentes – mornos) de 0,24, 0,05, 0,11, 0,14 e 0,01, ou seja, estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes são mais ricas do que hospedeiras de exoplanetas mornos (ver Seção 5.2). Fizemos os mesmos testes K-S, mas agora para a distribuição dos raios dos exoplanetas quentes e mornos de cada classe de tamanho e encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 0%, 1%, 1%, 25% e 100% para SE, sN com raios entre 1,9 e 3 $R_\oplus$, sN com raios entre 3 e 4 $R_\oplus$, sS e J, respectivamente, indicando uma diferença significativa entre a distribuição de raios de Jupíteres quentes e mornos. As diferenças medianas são -0,05 $R_\oplus$, -0,05 $R_\oplus$, -0,03 $R_\oplus$, 1,02 $R_\oplus$ e 2,55 $R_\oplus$. Por fim, não realizamos estas análises para as estrelas hospedeiras de sE porque não temos sE mornos na nossa amostra.

Na Figura 5.6, apresentamos as abundâncias de [X/H] de C, O, S e Ni das estrelas hospedeiras em função dos raios dos exoplanetas. Observamos um comportamento similar de todos os elementos ao que foi observado para [Fe/H] – as abundâncias das estrelas hospedeiras aumentam com o aumento do raio dos exoplanetas. Em particular, a distribuição de [Ni/H] das estrelas hospedeiras com $R_{\rm pl}$ é a mais parecida com a distribuição da [Fe/H]. Contudo, vemos que as abundâncias medianas de [C/H] das estrelas hospedeiras flutuam bastante com o aumento de $R_{\rm pl}$ – o que não é observado para [Fe/H]. As regressões OLS indicam que há tendências significativas entre a distribuição das abundâncias de elementos-α das estrelas hospedeiras e dos raios dos exoplanetas, isto é, [O/H] e [S/H], com $\%p_{\rm OLS}$ de 99% e 82%, respectivamente, enquanto os percentuais são 9% e 31% para [C/H] e [Ni/H]. Dividindo as estrelas em hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 0%, 78%, 8% e 2% para as regressões OLS da distribuição de C, O, S e Ni, respectivamente, das estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e 26%, 47%, 91% e 64% para as estrelas hospedeiras de exoplanetas mornos, isto é, há tendências entre as abundâncias de [O/H] das estrelas hospedeiras e os raios dos exoplanetas quentes e entre [S/H] e [Ni/H] das estrelas hospedeiras e os raios dos exoplanetas mornos. Realizamos testes K-S para investigar a diferença nas distribuições de [X/H] das estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos de cada classe de tamanho e encontramos $\%p_{\rm KS}$ significativos ($> 50\%$) entre as distribuições de [C/H] de hospedeiras de SE (64%) e [Ni/H] de hospedeiras de sS (58%).

Avaliamos também [X/Fe] em função do raio dos exoplanetas e encontramos basicamente distribuições planas para todos os elementos, com $[\mathrm{X/Fe}] \sim 0,00$ em todo o intervalo de raios, para a amostra completa e, também, para as amostras de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos. Resultados similares foram encontrados por Ghezzi *et al.* (2026), que analisaram elementos diferentes usando uma metodologia similar à que foi empregada neste trabalho. Para [S/Fe], Wilson *et al.* (2022) encontraram uma correlação positiva com $R_{\rm pl}$ – o que não foi recuperado com nossos dados. Dividimos nossas amostras em estrelas hospedeiras de Jupíteres e não-Jupíteres, realizamos testes K-S entre as distribuições de [X/Fe] das subamostras e encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 27%, 11%,

1% e 6% para C, O, S e Ni, respectivamente, isto é, não há diferenças significativas entre [X/Fe] dos dois grupos de estrelas.

As distribuições das razões de abundâncias das estrelas hospedeiras em função dos raios dos exoplanetas são apresentadas na Figura 5.7. Para C/O, encontramos a menor mediana para estrelas hospedeiras de Jupíteres ($0{,}43^{+0,02}_{-0,03}$), estando abaixo do valor solar (0,53), enquanto a maior mediana é $0{,}55^{+0,05}_{-0,01}$ para estrelas hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 3 e 4 $R_\oplus$. Em comparação, estrelas hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 1,9 e 3 $R_\oplus$ têm C/O mediano de $0{,}50^{+0,01}_{-0,02}$. Encontramos os mesmos resultados utilizando média e mediana Bootstrap, assim como média e mediana normais – todos concordam que hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 3 e 4 $R_\oplus$ têm as maiores razões C/O e hospedeiras de Jupíteres têm as menores razões C/O. Realizamos testes K-S e não encontramos diferenças significativas entre as distribuições de C/O de estrelas hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 1,9 e 3 $R_\oplus$ e entre 3 e 4 $R_\oplus$, com $\%p_{\rm KS}$ de 11%. Contudo, identificamos uma diferença significativa entre C/O de estrelas hospedeiras de sub-Netunos e o resto da amostra, hospedeiras de Jupíteres e o resto da amostra e, também, hospedeiras de Jupíteres e de sub-Netunos, com $\%p_{\rm KS}$ de 63%, 65% e 78%, respectivamente. Em relação às distribuições de C/O de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, observamos um padrão muito parecido com o comportamento das medianas da amostra completa, com exceção do C/O mais baixo de estrelas hospedeiras de SE mornos. Ademais, não encontramos diferenças significativas entre as distribuições de C/O de estrelas hospedeiras de SE, sN, sS e J quentes e mornos, com $\%p_{\rm KS}$ entre 0% e 13%.

Em relação à distribuição de C/S, as abundâncias medianas para todos os intervalos estão abaixo do valor solar ($\mathrm{C/S}_\odot = 18,62$), com exceção das hospedeiras de super-Terras ($19{,}01^{+0,30}_{-0,40}$) e de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 3 e 4 $R_\oplus$ ($19{,}14^{+0,47}_{-0,22}$), que têm valores solares dentro das incertezas. As razões C/S seguem um comportamento parecido com o observado para C/O, especialmente na região $R_{\rm pl} > 3$ $R_\oplus$, também tendo as medianas mais altas de C/S para estrelas hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 3 e 4 $R_\oplus$ ($19{,}14^{+0,47}_{-0,09}$) e mais baixas para hospedeiras de Jupíteres ($16{,}79^{+0,21}_{-0,67}$), resultando em uma diferença de $\Delta \approx 12\%$. Contudo, há um comportamento diferente na região $R_{\rm pl} < 3$ $R_\oplus$ em comparação ao de C/O – a razão C/S mediana de estrelas hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 1.9 e 3 $R_\oplus$ é maior do que os intervalos ao seu redor, enquanto há um leve declínio nesta região. Não encontramos diferenças significativas nos testes K-S entre as distribuições de C/S das estrelas hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 3 e 4 $R_\oplus$ e o resto da amostra, hospedeiras de sub-Netunos com $R_{\rm pl}$ entre 3 e 4 $R_\oplus$ e hospedeiras de Jupíteres e, por último, entre hospedeiras de Jupíteres e o resto da amostra, encontrando $\%p_{\rm KS}$ de 19%, 29% e 15%, respectivamente. Em relação às distribuições de C/S de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, observamos um padrão muito parecido com o comportamento das medianas da amostra completa, com exceção do C/S mais baixo de estrelas hospedeiras de sS mornos. Ademais, não encontramos diferenças significativas

entre as distribuições de C/S de estrelas hospedeiras de SE, sN, sS e J quentes e mornos, com $\%p_{\mathrm{KS}}$ entre 0% e 3%.

As razões de abundância O/S medianas estão levemente acima do valor solar ($\mathrm{O/S}_{\odot} = 35,48$) para todos os intervalos, com exceção das estrelas hospedeiras de sub-Netunos com R_{pl} entre 3 e 4 $\mathrm{R}_{\oplus}$. A menor razão O/S mediana é encontrada para hospedeiras de sub-Netunos com R_{pl} entre 3 e 4 $\mathrm{R}_{\oplus}$ ($35{,}04^{+1,40}_{-0,72}$) e a maior para hospedeiras de sub-Saturnos ($43{,}80^{+0,66}_{-3,90}$), correspondendo a uma diferença de 20% – comportamento praticamente contrário ao observado para a distribuição de C/O. Não encontramos diferenças significativas nos testes K-S entre as distribuições de O/S de estrelas hospedeiras de sub-Netunos com R_{pl} entre 3 e 4 $\mathrm{R}_{\oplus}$ e hospedeiras de sub-Saturnos, hospedeiras de sub-Netunos com R_{pl} entre 3 e 4 $\mathrm{R}_{\oplus}$ e o resto da amostra e hospedeiras de sub-Saturnos e o resto da amostra, encontrando $\%p_{\mathrm{KS}}$ de 5%, 4% e 5%, respectivamente. Em relação às distribuições de O/S de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, observamos um padrão muito parecido com o comportamento das medianas da amostra completa, com exceção do intervalo das hospedeiras de SE. Para as hospedeiras de SE quentes, a mediana está abaixo do valor solar ($30,90^{+8,54}_{-3,96}$) e, ao contrário, a mediana tem um pico para as hospedeiras de SE mornas ($61,66^{+2,46}_{-16,42}$). Ademais, não encontramos diferenças significativas entre as distribuições de O/S de estrelas hospedeiras de SE, sN, sS e J quentes e mornos, com $\%p_{\mathrm{KS}}$ entre 0% e 8%.

Por fim, como pode ser visto nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7, há uma drástica diminuição na quantidade de exoplanetas com R_{pl} entre aproximadamente 4 e 8 $\mathrm{R}_{\oplus}$, intervalo este que pertence à classe dos sub-Saturnos. Os sub-Saturnos possuem um intervalo de massas entre 10 e 100 $\mathrm{M}_{\oplus}$, no qual é esperado um número menor de planetas pelo cenário de formação planetária através de acreção do núcleo (*core accretion*). Os planetas além da linha do gelo crescem tão rápido de 10 $\mathrm{M}_{\oplus}$ a 100 $\mathrm{M}_{\oplus}$ que poucos são formados com massas intermediárias entre 10 e 100 $\mathrm{M}_{\oplus}$ (por exemplo, Ida e Lin 2004).

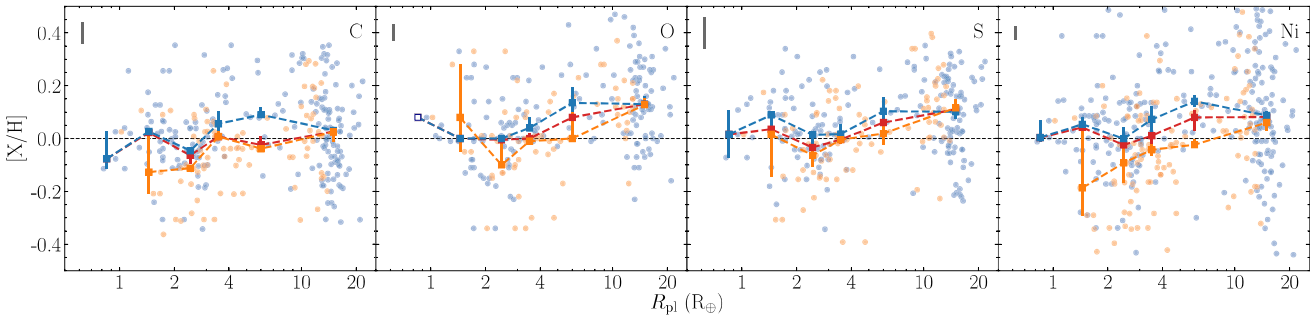


Figura 5.6: Abundâncias [X/H] de C, O, S e Ni de estrelas hospedeiras em função do raio dos exoplanetas. Os símbolos e as linhas são as mesmas da Figura 5.5.

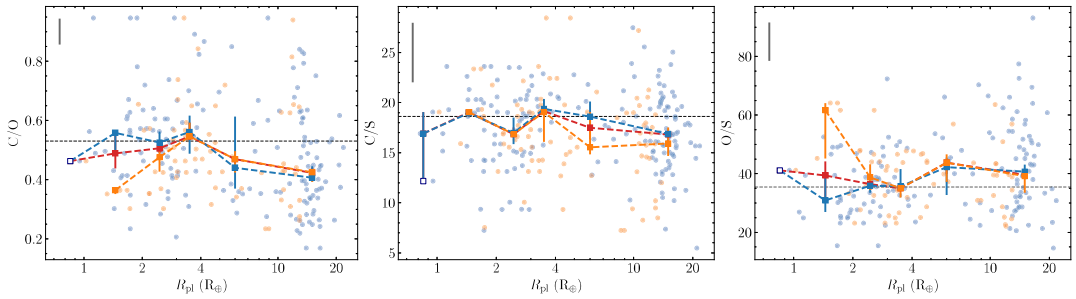


Figura 5.7: Razões C/O, C/S e O/S de estrelas hospedeiras em função do raio dos exoplanetas. Os símbolos e as linhas são as mesmas da Figura 5.5.

5.4 Tendências com os períodos orbitais dos exoplanetas

As metalicidades das estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas da nossa amostra podem ser vistas na Figura 5.8. Destacamos que, diferente dos estudos anteriores que investigaram a relação entre a [Fe/H] das estrelas hospedeiras e os $P_{\rm orb}$ dos exoplanetas (por exemplo, Mulders *et al.* 2016; Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2018, 2022), nossa amostra de estrelas FGK tem um número significativamente alto de exoplanetas gigantes, isto é, com $R_{\rm pl} \geqslant 4$ R$_\oplus$, totalizando 154 exoplanetas ou ∼43% da amostra. Um resultado importante encontrado nos estudos mencionados é que estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \lesssim 8 - 10$ dias tendem a ser mais ricas em metais quando comparadas com estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb}$ maiores – e de que isso é verdade para amostras de exoplanetas pequenos e gigantes (Mulders *et al.* 2016). Este enriquecimento em metais de estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb}$ curtos também foi observada para anãs M, mas com um limite muito mais curto de $P_{\rm orb} \sim 4$ dias (Wanderley *et al.* 2025).

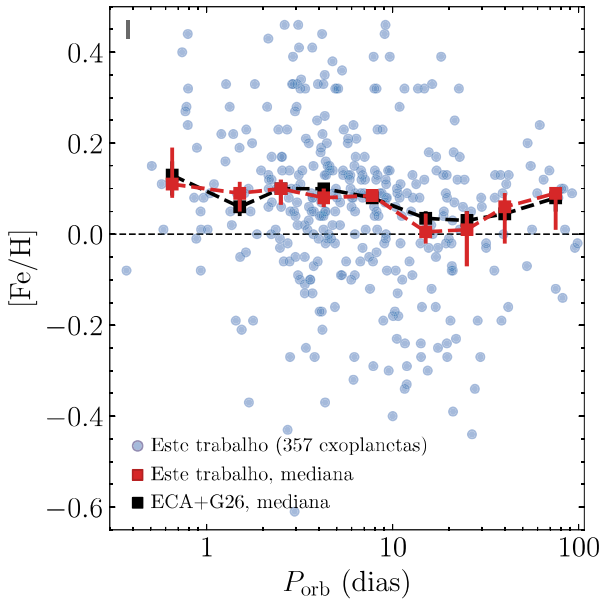


Figura 5.8: Metalicidades [Fe/H] das estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas. Os pontos azuis representam a amostra completa de exoplanetas deste trabalho. Os vermelhos representam as medianas calculadas através de 1000 reamostras Bootstrap e seus intervalos de confiança de 68% (1σ ao redor da mediana de uma distribuição simétrica) para os intervalos (0,3, 1], (1, 2], (2, 3], (3, 5,5], (5,5, 10], (10, 20], (20, 30], (30, 50] e (50, 100] dias. Os quadrados pretos representam a mesma quantidade, mas para a combinação da amostra completa deste trabalho (ECA) com a de Ghezzi *et al.* (2026) (G26). A linha tracejada preta representa a abundância solar. Por fim, no canto superior esquerdo, apresentamos as incertezas medianas das abundâncias em cinza.

Na nossa amostra, 75% dos exoplanetas quentes orbitam estrelas com [Fe/H] $\geqslant 0,00$,

dos quais aproximadamente metade são Jupíteres quentes (48%). Já sabemos, através da correlação planeta-metalicidade, que exoplanetas gigantes são encontrados com maior frequência ao redor de estrelas ricas em metais (por exemplo, Fischer e Valenti 2005; Mortier *et al.* 2013; Ghezzi *et al.* 2018). A metalicidade estelar elevada altera os perfis de densidade do disco através do aumento da razão poeira-gás (em inglês, *dust-to-gas ratio*), possivelmente desencadeando ou amplificando certos mecanismos de migração planetária (por exemplo, Mulders *et al.* 2016; Petigura *et al.* 2018b; Dawson e Murray-Clay 2013). Uma vez que a origem dos Jupíteres quentes é normalmente associada à migração destes planetas gigantes para órbitas próximas após sua formação em distâncias orbitais maiores (por exemplo, Ida e Lin 2008; Dawson e Murray-Clay 2013; Dawson e Johnson 2018) – embora a formação *in situ* ainda esteja em debate (por exemplo, Boley *et al.* 2016; Mathur e Becker 2025) – a maior frequência observada de exoplanetas com órbitas próximas ao redor de estrelas mais ricas em metais neste e em outros trabalhos (por exemplo, Mulders *et al.* 2016; Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2018) pode ser causada pela influência da metalicidade da estrela hospedeira nas instabilidades dinâmicas do disco protoplanetário.

Vemos que a [Fe/H] mediana (quadrados vermelhos na Figura 5.8) permanece moderadamente plana com o aumento do $P_{\rm orb}$ até $\sim 8 - 10$ dias (mediana de 0,09) e uma queda da [Fe/H] para $P_{\rm orb}$ entre $\sim 10 - 30$ dias (mediana de 0,01). Portanto, dividimos nossa amostra em $P_{\rm orb}$ entre 8 e 11 dias, utilizando passos de 0,1 dia, e realizamos testes K-S para identificar o local desta transição. Assim, encontramos $\%p_{\rm KS} > 50\%$ para transições em qualquer ponto entre 8,3 e 10,3 dias. Contudo, a maior diferença mediana (períodos menores − períodos maiores) de 0,08 foi encontrada ao posicionar a transição em $P_{\rm orb} = 9,8$ dias – transição esta que resultou na maior $\%p_{\rm KS}$ de 71% dos testes K-S. Ademais, também testamos uma transição em 11 dias e obtivemos $\%p_{\rm KS}$ de 39% – percentual este que continua diminuindo com o aumento do $P_{\rm orb}$ da transição.

Um dos resultados mais interessantes que encontramos para a Figura 5.8 é que para períodos orbitais maiores, entre 30 e 100 dias, há um aumento da [Fe/H] mediana das estrelas hospedeiras. Nossos resultados deixam claro que a abundância mediana de Fe não continua diminuindo com o aumento do $P_{\rm orb}$ – algo que possivelmente nunca foi observado em outros estudos uma vez que nossa amostra tem um maior número de exoplanetas gigantes com períodos orbitais maiores. Ao realizarmos as regressões OLS para a distribuição da [Fe/H] das estrelas hospedeiras e dos $P_{\rm orb}$ dos exoplanetas, encontramos um coeficiente angular mediano negativo, $\%t_{\rm OLS}$ de 13% e $\%p_{\rm OLS}$ de 8%, isto é, não há uma tendência linear. Contudo, se considerarmos apenas exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias, encontramos um coeficiente angular mediano negativo, $\%t_{\rm OLS}$ de 89% e $\%p_{\rm OLS}$ de 82%, ou seja, nós recuperamos a anticorrelação da [Fe/H] das estrelas hospedeiras com o $P_{\rm orb}$ dos exoplanetas (por exemplo, Mulders *et al.* 2016; Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2018, 2022).

Para investigar mais a fundo este aumento da [Fe/H] mediana das estrelas hospedeiras

com o $P_{\rm orb}$ dos exoplanetas para $P_{\rm orb} > 30$ dias, combinamos nossa amostra de exoplanetas com a amostra Kepler de Ghezzi *et al.* (2026) (ver Seção 5.3). A amostra combinada contém 1210 exoplanetas e suas [Fe/H] medianas estão apresentadas como quadrados pretos na Figura 5.8. Assim, o resultado da amostra combinada confirma que as metalicidades não diminuem após $P_{\rm orb} \sim 30$ dias, tendo $\%t_{\rm OLS}$ de 43% e $\%p_{\rm OLS}$ de 32% para o intervalo completo de $P_{\rm orb}$. Ademais, também dividimos a amostra combinada em subamostras contendo apenas exoplanetas pequenos ($R_{\rm pl} < 4$ R$_\oplus$) e gigantes ($R_{\rm pl} \geqslant 4$ R$_\oplus$) e encontramos o aumento da [Fe/H] mediana para $P_{\rm orb} > 30$ dias nos dois regimes de tamanhos de exoplanetas, tendo $\%t_{\rm OLS}$ de 19% e $\%p_{\rm OLS}$ de 13% para o intervalo completo de $P_{\rm orb}$ dos exoplanetas pequenos e $\%t_{\rm OLS}$ de 23% e $\%p_{\rm OLS}$ de 17% para os exoplanetas gigantes.

As abundâncias [X/H] de C, O, S e Ni das estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas pode ser vista na Figura 5.9. Observamos que todos os elementos compartilham praticamente o mesmo padrão de comportamento. Para complementar a discussão do comportamento de estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias, investigamos as diferenças das abundâncias de [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], e das razões C/O, C/S e O/S de estrelas com exoplanetas quentes ($P_{\rm orb} \leqslant 10$ dias) e mornos$_{(10,30]}$($10 < P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias). As diferenças medianas (quentes $-$ mornos$_{(10,30]}$) estão listadas na Tabela 5.1. Para a amostra completa, encontramos diferenças significativas ($\Delta > 0.05$) apenas para [Fe/H] e [Ni/H]. Ao considerarmos estrelas hospedeiras exclusivamente de exoplanetas pequenos, encontramos diferenças significativas para todos os elementos. Para estrelas hospedeiras de pelo menos um exoplaneta gigante, só vemos diferenças significativas para [Fe/H], [C/H] e [Ni/H]. Para sistemas com pelo menos um sub-Netuno, apenas para [Fe/H], [S/H] e [Ni/H] – elementos que são (Fe e Ni) ou se comportam (S) como refratários no disco protoplanetário. Para sistemas com pelo menos um sub-Saturno, há diferenças significativas para todos os elementos. Contudo, em comparação, não há diferenças significativas para nenhum elemento em sistemas com pelo menos um Júpiter. Em relação às razões de abundâncias, encontramos diferenças significativas ($\Delta \gtrsim 12\%$) para C/O e O/S para estrelas hospedeiras exclusivamente de exoplanetas pequenos, O/S para estrelas hospedeiras de pelo menos um sub-Netuno e C/S para estrelas hospedeiras de pelo menos um sub-Saturno. Por fim, os testes K-S encontraram diferenças significativas entre a distribuição de abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos$_{(10,30]}$ apenas para [Fe/H] e [Ni/H] para a amostra completa, [Fe/H], [C/H] e [Ni/H] para hospedeiras de exoplanetas pequenos, [Fe/H] e [Ni/H] para hospedeiras de pelo menos um sub-Netuno e [Fe/H], [C/H] e [Ni/H] para hospedeiras de pelo menos um sub-Saturno.

Investigamos as distribuições de [X/H] das estrelas hospedeiras com $P_{\rm orb}$ dos exoplanetas e não encontramos tendências para o intervalo completo de $P_{\rm orb}$ para nenhum dos elementos, com $\%p_{\rm OLS}$ de 3%, 1%, 3% e 0% para [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H], respectivamente – indicando ausência de tendências lineares. Resultados similares foram

encontrados por Ghezzi *et al.* (2026), que analisaram elementos diferentes usando uma metodologia similar à que foi empregada neste trabalho. Para [S/Fe], Wilson *et al.* (2022) encontraram uma correlação positiva significativa (p-value$= 1,2 \times 10^{-5}$). Contudo, não recuperamos este resultado neste trabalho visto que [S/Fe] mediana se mantém praticamente constante durante todo o intervalo de $P_{\rm orb}$.

Por último, as distribuições das razões de abundâncias C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas podem ser vistas na Figura 5.10. Começando com C/O, os valores medianos apresentam uma leve oscilação com o aumento de $P_{\rm orb}$, mas permanecem relativamente constantes para valores abaixo do solar (0,53) – exceto para estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 1$ dia, que têm razão C/O mediana de $0{,}62^{+0,02}_{-0,06}$, e para estrelas hospedeiras de exoplanetas com $20 < P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias ($0{,}55^{+0,05}_{-0,07}$), que têm razão C/O mediana basicamente solar. Observamos também uma distribuição plana das razões medianas de C/S em função de $P_{\rm orb}$, tendo valores medianos perto ou abaixo do valor solar (18,62). Assim como no caso de C/O, a maior razão C/S mediana é encontrada para estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 1$ dia ($19{,}9^{+1,12}_{-2,37}$), mas devemos levar em consideração que este intervalo tem um número baixo de exoplanetas (9). Para O/S, há um claro aumento dos valores medianos de O/S com $P_{\rm orb}$ para $P_{\rm orb} \leqslant 5,5$ dias, seguido por uma leve oscilação com o aumento de $P_{\rm orb}$. Todas as razões medianas de O/S com $P_{\rm orb} > 5,5$ dias estão próximas ou acima do valor solar (35,48). A menor razão O/S mediana é encontrada em estrelas hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 1$ dia ($26{,}67^{+5,69}_{-1,14}$) – contrário ao encontrado para C/O e C/S, nos quais este intervalo possuía a maior razão mediana.

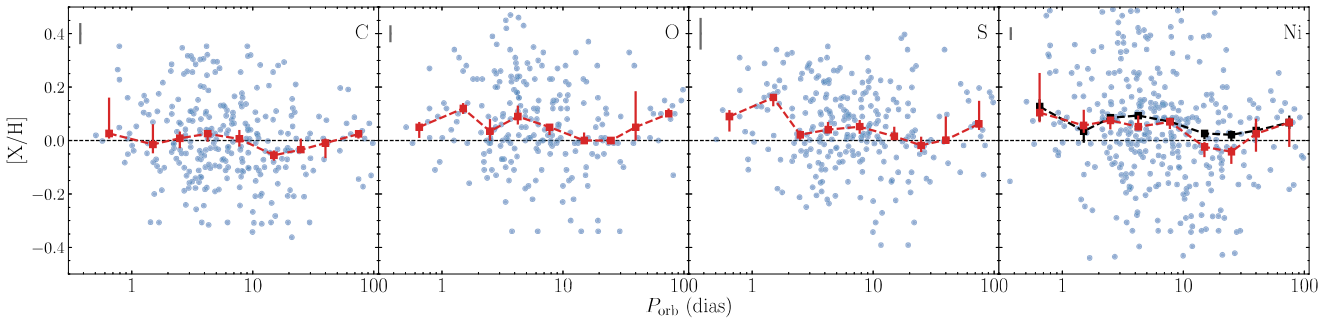


Figura 5.9: Abundâncias [X/H] de C, O, S e Ni de estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas. Os símbolos e as linhas são as mesmas da Figura 5.8.

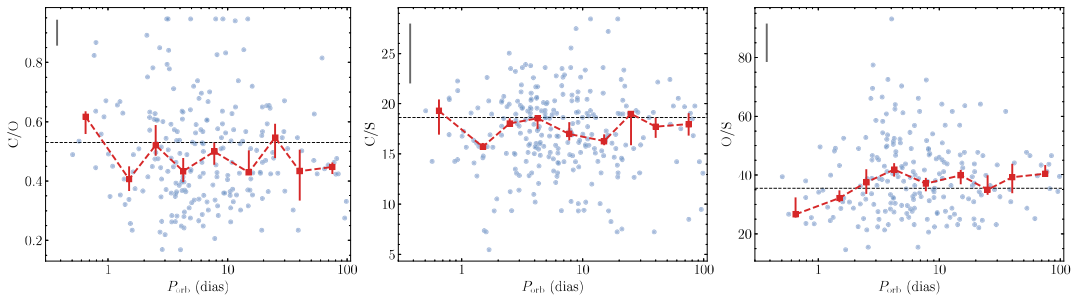


Figura 5.10: Razões C/O, C/S e O/S de estrelas hospedeiras em função do período orbital dos exoplanetas. Os símbolos e as linhas são as mesmas da Figura 5.8.

Subamostra	N_{pl} (quentes, $mornos_{(10,30]}$)	Δ[Fe/H]	Δ[C/H]	Δ[O/H]	Δ[S/H]	Δ[Ni/H]	$\%p_{KS}$ (Fe, C, O, S, Ni)
Completa	244, 47	$0,11^{+0,06}_{-0,01}$	$0,05^{+0,05}_{-0,01}$	$0,05^{+0,04}_{-0,03}$	$0,03^{+0,06}_{-0,03}$	$0,11^{+0,03}_{-0,05}$	83, 24, 6, 11, 79
sE/SE/sN	89, 20	$0,22^{+0,06}_{-0,04}$	$0,13^{+0,03}_{-0,07}$	$0,06^{+0,06}_{-0,01}$	$0,11^{+0,09}_{-0,05}$	$0,24^{+0,06}_{-0,06}$	95, 66, 6, 36, 96
sS/J	138, 34	$0,07^{+0,04}_{-0,03}$	$0,08^{+0,03}_{-0,02}$	$0,04^{+0,05}_{-0,05}$	$0,03^{+0,04}_{-0,05}$	$0,09^{+0,03}_{-0,03}$	43, 28, 9, 4, 47
sN	68, 23	$0,09^{+0,03}_{-0,06}$	$0,04^{+0,10}_{-0,05}$	$0,04^{+0,04}_{-0,06}$	$0,06^{+0,06}_{-0,08}$	$0,10^{+0,06}_{-0,05}$	60, 17, 10, 21, 52
sS	23, 14	$0,16^{+0,02}_{-0,04}$	$0,13^{+0,02}_{-0,04}$	$0,14^{+0,06}_{-0,07}$	$0,08^{+0,06}_{-0,07}$	$0,17^{+0,03}_{-0,07}$	91, 94, 17, 25, 90
J	115, 20	$0,01^{+0,05}_{-0,04}$	$0,01^{+0,09}_{-0,05}$	$0,01^{+0,09}_{-0,06}$	$-0,01^{+0,07}_{-0,04}$	$0,04^{+0,09}_{-0,03}$	2, 3, 0, 3, 4

ΔC/O	ΔC/S	ΔO/S	$\%p_{KS}$ (C/O, C/S, O/S)
$0,05^{+0,05}_{-0,03}$	$0,47^{+0,62}_{-0,72}$	$-3,40^{+2,77}_{-2,64}$	4, 6, 11
$0,13^{+0,10}_{-0,05}$	$1,89^{+0,53}_{-0,63}$	$-8,53^{+2,84}_{-2,12}$	29, 17, 19
$-0,02^{+0,06}_{-0,02}$	$1,27^{+1,03}_{-0,92}$	$1,22^{+2,99}_{-2,82}$	2, 20, 3
$0,03^{+0,08}_{-0,10}$	$0,82^{+1,21}_{-1,28}$	$-7,91^{+3,43}_{-10,70}$	6, 5, 22
$-0,03^{+0,16}_{-0,12}$	$3,30^{+2,31}_{-1,39}$	$0,40^{+4,07}_{-10,58}$	5, 12, 2
$-0,02^{+0,20}_{-0,10}$	$1,04^{+1,24}_{-1,40}$	$1,76^{+2,91}_{-6,65}$	3, 8, 4

Tabela 5.1: Diferenças medianas de [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], C/O, C/S, e O/S entre estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e $mornos_{(10,30]}$. Seguindo a ordem das linhas, temos a amostra completa, estrelas hospedeiras exclusivamente de exoplanetas pequenos, estrelas hospedeiras de ao menos um exoplaneta gigante, estrelas hospedeiras de pelo menos um sub-Netuno, um sub-Saturno e um Júpiter. As colunas $\%p_{KS}$ contém os resultados dos testes K-S entre as distribuições das abundâncias de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e $mornos_{(10,30]}$.

5.5 Tendências com a massa dos exoplanetas

As massas dos exoplanetas da nossa amostra vêm de fontes não-homogêneas da literatura (ver Tabela 3.3). Por mais que tenhamos determinações de massa para 281 exoplanetas, iremos considerar apenas exoplanetas com incertezas na massa abaixo de 20%. Ademais, como apenas 11 exoplanetas têm $P_{\rm orb} > 100$ dias, também iremos ignorá-los nas análises das massas dos exoplanetas, resultando assim em uma amostra final de 199 exoplanetas. Destes 199 exoplanetas, 199, 158, 129, 137 e 199 exoplanetas têm abundâncias de Fe, C, O, S e Ni determinadas para as suas estrelas hospedeiras.

Na Figura 5.11, apresentamos [X/H] das estrelas hospedeiras em função da massa dos exoplanetas. Na primeira linha, temos Fe e Ni e, na segunda, C, O e S (da esquerda para a direita). Na Figura 5.12, temos C/O, C/S e O/S (da esquerda para a direita). Em cada painel, os valores solares são representados pelas linhas tracejadas pretas e as massas de Júpiter, Saturno, Urano e Netuno estão representadas pelos hexágonos vermelho, amarelo, rosa e verde, respectivamente. Para todos os elementos e razões de abundâncias, observamos a existência de uma lacuna entre $\sim$ 20 e 100 $M_\oplus$ ($\log(M_{\rm pl}/M_\oplus)$ $\sim$1,3 – 2) dividindo as distribuições em dois grupos de massa. Esta faixa de massas da lacuna está dentro de onde o deserto dos sub-Saturnos está localizado (por exemplo, Ida e Lin 2004). A lacuna das massas é mais acentuada nas distribuições de [O/H], [S/H], C/O e O/S, enquanto [Fe/H], [Ni/H], [C/H] e C/S não produzem uma segregação tão nítida. Contudo, ressaltamos que isso pode estar associado com o número reduzido de abundâncias disponíveis de [O/H] e [S/H] das estrelas hospedeiras comparado com o número para os outros elementos.

Realizamos testes K-S para identificar se estas lacunas são estatisticamente significativas e, também, em que valor de $M_{\rm pl}$ está localizada a divisão entre os dois grupos. Para tal, dividimos a amostra em $\log(M_{\rm pl}/M_\oplus)$ entre 1,3 e 2,3 com passos de 0,1. Todos os elementos indicam a existência de uma divisão em $\sim 1,4$ ($\sim$ 25 $M_\oplus$), para a qual encontramos $\%p_{\rm KS}$ de 94%, 55%, 100%, 99% e 86% para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], respectivamente, e 74%, 42% e 22% para C/O, C/S e O/S, com diferenças medianas (massivos – baixa massa) de 0,10, 0,06, 0,13, 0,12 e 0,11 e -0,12 (27%), -2,27 (14%) e 5,18 (13%). Estes resultados corroboram com a existência de uma lacuna vertical (sem inclinação) para todos os elementos e para C/O, mas não para C/S e O/S.

O resultado para C/O não está em acordo com o que foi encontrado por Delgado Mena *et al.* (2021), que não acharam uma diferença significativa entre a distribuição de C/O de estrelas hospedeiras de exoplanetas com $M_{\rm pl}$ abaixo e acima de 30 $M_\oplus$. Utilizando a mesma divisão em 30 $M_\oplus$, encontramos um $\%p_{\rm KS}$ de 63%, ou seja, uma diferença estatisticamente significativa. No trabalho de Delgado Mena *et al.* (2021), eles possuem razões C/O para as quais as abundâncias de oxigênio foram determinadas por Bertran de Lis *et al.* (2015) utilizando a linha do O I em 6158 Å ($\rm C/O_{6158}$) e a linha do [O I] em 6300

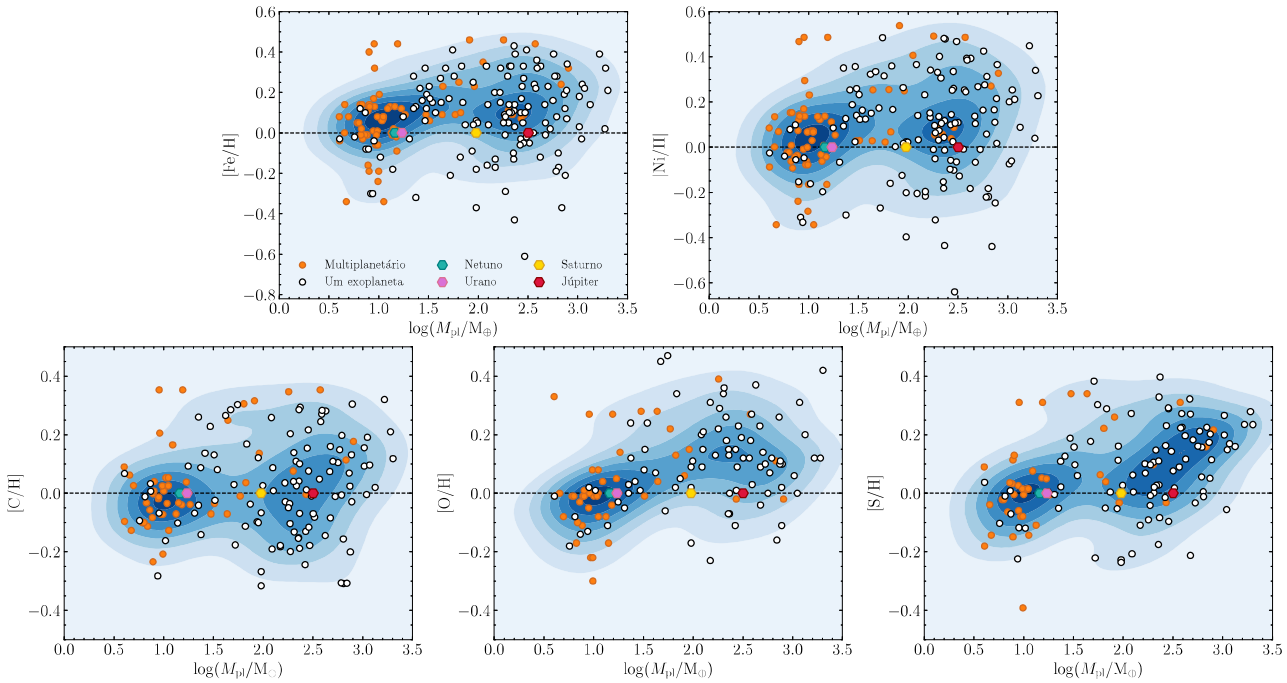


Figura 5.11: Abundâncias [X/H] de Fe, Ni, C, O e S das estrelas hospedeiras em função da massa dos exoplanetas. Estrelas com apenas um exoplaneta confirmado estão representadas por círculos brancos e, por outro lado, as estrelas com mais de um exoplaneta confirmado, por círculos laranjas (multiplanetários). Júpiter, Saturno, Urano e Netuno estão representados por hexágonos vermelho, amarelo, rosa e verde, respectivamente. Os mapas de calor em azul representam a distribuição de todos os exoplanetas, independentemente de estarem em sistemas com um exoplaneta ou multiplanetários. As linhas tracejadas pretas representam os valores solares.

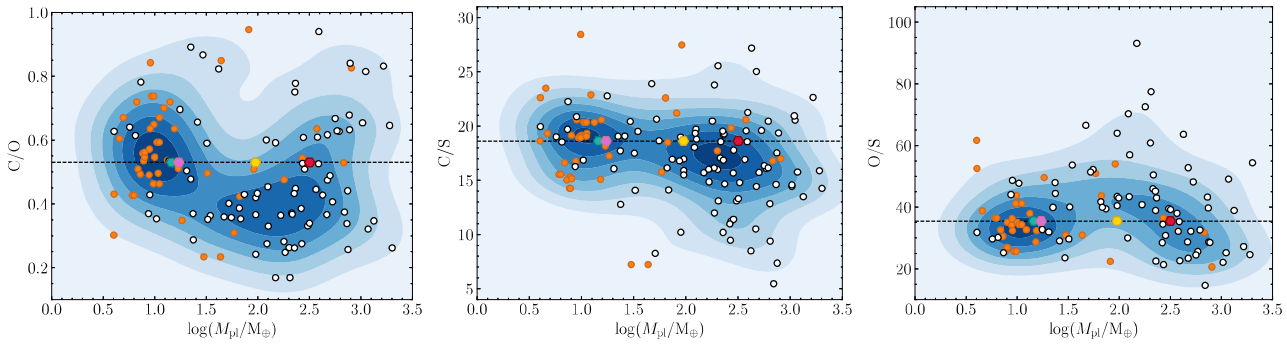


Figura 5.12: Razões de abundâncias C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras em função das massas dos exoplanetas. Os símbolos e as linhas são as mesmas da Figura 5.11.

Å (C/O_{6300}). Dessa forma, para C/O_{6300}, eles possuem 20 estrelas hospedeiras de exoplanetas com $M_{pl} < 30$ $M_\oplus$ e 84 estrelas hospedeiras de exoplanetas com $M_{pl} > 30$ $M_\oplus$. Para testar, combinamos nossa amostra com a deles de C/O_{6300}, resultando assim em 60 estrelas hospedeiras de exoplanetas com $M_{pl} < 30$ $M_\oplus$ e 162 estrelas hospedeiras de exoplanetas com $M_{pl} > 30$ $M_\oplus$ – todas possuindo C/O_{6300} já que a linha do [O I] em 6300 Å é o indicador de oxigênio utilizado neste trabalho (ver Seção 4.3). Por fim, realizando os testes K-S para a amostra combinada, encontramos $\%p_{KS}$ de 68% entre a distribuição de C/O de estrelas hospedeiras de exoplanetas com M_{pl} abaixo e acima de 30 $M_\oplus$, ou seja, continuamos encontrando diferenças significativas mesmo para a amostra combinada.

Notamos que estrelas hospedeiras de exoplanetas de baixa massa ($\log(M_{pl}/M_\oplus) < 1,4$) estão agrupadas em torno de abundâncias solares, tendo abundâncias medianas de 0,04, -0,02, 0,01, 0,00 e 0,01 para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H], respectivamente, e 0,56, 19,06 e 34,32 para C/O, C/S e O/S, e MADs de 0,08, 0,06, 0,06, 0,06, 0,09 e 0,09, 1,73 e 4,73. Em contraste, estrelas hospedeiras de exoplanetas massivos estão, em geral, mais espalhadas, tendo MADs de 0,11, 0,12, 0,09, 0,11 e 0,14 para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H], respectivamente, e 0,12, 2,58 e 9,83 para C/O, C/S e O/S. Há um pequeno agrupamento de exoplanetas massivos em torno de 2,4 e [X/H] $\sim 0,08$ no meio das distribuições de [Fe/H] e [Ni/H], mas eles representam apenas uma pequena fração dos exoplanetas massivos. As abundâncias medianas de estrelas hospedeiras de exoplanetas massivos ($\log(M_{pl}/M_\oplus) \geqslant 1,4$) são 0,13, 0,04, 0,12, 0,12 e 0,12 para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H], respectivamente, e 0,44, 16,79 e 30,40 para C/O, C/S e O/S, isto é, elementos do pico do Fe e elementos-α acima dos valores solares, C/O e C/S abaixo dos valores solares e [C/H] e O/S com valores aproximadamente solares.

Na Figura 5.12, vemos que exoplanetas massivos são preferencialmente encontrados ao redor de estrelas ricas em oxigênio, enquanto esta tendência não é observada para o carbono. Isso pode indicar uma maior importância da linha de gelo de H_2O em comparação às linhas do gelo de CO e CO_2 para a formação do núcleo de exoplanetas gigantes dentro do modelo de formação planetária de acreção de núcleo. Tendo em vista que o crescimento dos núcleos de planetas gigantes precisa ocorrer em uma escala de tempo curta, antes da dispersão do disco, a formação planetária em distâncias orbitais menores pode favorecer uma maior frequência de colisões e, consequentemente, uma maior eficiência de acreção de materiais sólidos (por exemplo, Drążkowska e Alibert 2017; Leemker *et al.* 2026). Nesse contexto, a linha de gelo de H_2O é localizada significativamente mais próxima da estrela do que as linhas de gelo de CO e CO_2. Uma tendência similar é observada na distribuição de abundâncias de enxofre, o que pode estar relacionado ao fato do O e S serem elementos-α. Contudo, para testar esta hipótese, é necessário determinar abundâncias de mais elementos-α (por exemplo, Mg e Si) para avaliar se este padrão se mantém. Robinson *et al.* (2006), utilizando dados do SPOCS (Valenti e Fischer 2005), observaram que estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes são ricas em [Si/Fe] e [Ni/Fe] comparadas a

estrelas de mesma [Fe/H], mas sem exoplanetas confirmados – podendo assim surgir da correlação com O e Si. Brugamyer *et al.* (2011) confirmaram o resultado para [Si/Fe], porém não encontraram diferenças significativas entre as distribuições de [O/Fe] de estrelas com e sem exoplanetas detectados. Para a amostra Kepler, Ghezzi *et al.* (2026) encontrou diferenças significativas nos testes Cucconi entre as distribuições de [X/H] de estrelas hospedeiras apenas de exoplanetas pequenos e gigantes para os elementos-α Si e Ti, mas não para Mg e Ca. Por fim, para a amostra HARPS GTO, Costa Silva *et al.* (2020) observou uma maior frequência de exoplanetas ao redor de estrelas com [S/Fe] solar ($-0,10 <$ [S/Fe] $< 0,10$) – o que também é observado no nosso trabalho, no qual temos um total de 86 exoplanetas ao redor de estrelas com [S/Fe] solar e 51 exoplanetas ao redor de estrelas com [S/Fe] não-solar.

Realizamos regressões OLS e encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 30%, 7%, 90%, 95%, 23%, 2%, 36% e 0% para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], C/O, C/S, e O/S, respectivamente, e coeficientes angulares positivos para todos os elementos e negativos para todas as razões de abundâncias. Este resultado está em acordo com o que encontramos para $R_{\rm pl}$, no qual elementos-α possuem tendências mais fortes (íngremes) entre [X/H] das estrelas hospedeiras e $R_{\rm pl}$. Para $M_{\rm pl}$, encontramos inclinações maiores para os elementos-α, com coeficientes angulares medianos de 0,08 para [O/H] e [S/H] em comparação a 0,05, 0,04 e 0,06 para [Fe/H], [Ni/H] e [C/H]. Ademais, para levar em consideração diferentes vieses de detecção, restringimos nossa amostra para exoplanetas detectados através de trânsito planetário e, além disso, tendo erros na massa abaixo de 20%; encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 15%, 4%, 88%, 68%, 12%, 6%, 15%, e 0% – os resultados se mantém similares aos que encontramos para a amostra completa. Não fizemos os mesmos testes para exoplanetas detectados através de velocidade radial porque, como só temos 13 exoplanetas nessa subamostra, os resultados não seriam relevantes devido à estatística de poucos números. Também investigamos as regressões OLS das distribuições de [X/Fe] das estrelas hospedeiras com $M_{\rm pl}$ e não encontramos tendências para nenhum dos elementos ($\%p_{\rm OLS}$ de 18%, 0%, 0% e 1% para [C/Fe], [O/Fe], [S/Fe] e [Ni/Fe], respectivamente). Por mais que nossas abundâncias sejam homogêneas, para investigar o quão sensíveis são as tendências encontradas entre [X/H] e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ à precisão das abundâncias, razões de abundâncias e massas dos exoplanetas, realizamos 1000 reamostragens Monte Carlo considerando uma distribuição normal para as incertezas de [X/H], das razões de abundâncias e das $M_{\rm pl}$. Assim, encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 15%, 3%, 91%, 84%, 10%, 4%, 5% e 0% para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], C/O, C/S, e O/S, respectivamente. Se considerarmos apenas exoplanetas com incertezas na massa abaixo de 10%, reduzimos drasticamente o número de exoplanetas de baixa massa (30) e encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 0%, 0%, 63%, 1%, 0%, 13%, 0% e 0%, ou seja, só encontramos tendência com [O/H]. Em resumo, as tendências entre $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ e os elementos-α parecem robustas.

Dividimos nossa amostra em estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes ($P_{\rm orb} \leqslant 10$

dias) e mornos ($10 < P_{\rm orb} \leqslant 100$ dias) e realizamos regressões OLS. Para os exoplanetas quentes, encontramos $\%p_{\rm OLS} < 45\%$ para todas as abundâncias e razões de abundâncias. Para os exoplanetas mornos, encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 40%, 38%, 56%, 83%, 38%, 0%, 1% e 0% para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H], [Ni/H], C/O, C/S, e O/S, respectivamente, ou seja, tendências significativas apenas para os elementos-α. Assim, considerando que exoplanetas quentes não se formaram em suas distâncias orbitais atuais, mas sim migraram para as órbitas próximas às suas estrelas hospedeiras (por exemplo, Ida e Lin 2008; Dawson e Murray-Clay 2013), a ausência de tendências entre os elementos-α e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ para estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes pode indicar que estas tendências estão, possivelmente, associadas aos locais de formação dos exoplanetas – assumindo que a maioria dos exoplanetas mornos preservam suas distâncias orbitais originais.

Em relação às distribuições dos planetas do Sistema Solar, notamos que Urano (hexágono rosa) e Netuno (hexágono verde) estão próximos aos limites das regiões de maior densidade de exoplanetas de baixa massa para todos os elementos. Saturno (hexágono amarelo) está próximo ao limite da região de maior densidade de exoplanetas massivos para todos os elementos, exceto para [O/H], no qual ele está localizado fora da região de maior densidade. Júpiter está localizado no centro da região de maior densidade de exoplanetas massivos para [C/H] e próximo aos limites inferiores dela para os outros elementos.

A distribuição das razões C/O das estrelas hospedeiras em função da massa dos exoplanetas sugere que a razão C/O estelar desempenha um papel no posicionamento da lacuna no intervalo $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus) \sim 1,3 - 2$. A lacuna não é tão pronunciada para valores baixos de C/O ($\lesssim 0,35$), onde o limite inferior de massa de exoplanetas massivos – que são formados por acreção de gás descontrolada (do inglês, *runaway gas-accretion*) – aumenta com o aumento da razão C/O mesmo ao redor de estrelas com baixas razões C/O. Este aumento do limite inferior de massa para exoplanetas gigantes gasosos pode indicar que o aumento de C/O impulsiona uma formação mais eficiente (ou mais rápida) dos núcleos sólidos dos planetas gigantes até a massa crítica na qual a acreção descontrolada de gás pode acontecer ($\sim$ 10 ${\rm M}_\oplus$). Notamos que para valores solares de C/O (0,53), não só Júpiter (hexágono vermelho) está localizado à direita da lacuna de massa, mas Saturno (hexágono amarelo) está próximo da borda do limite de baixa massa de exoplanetas massivos. Em contraste, Urano e Netuno têm massas com valores fora da lacuna de massa. No caso das razões de O/S, a lacuna de massa tem os mesmos intervalos de massa e o limite inferior de massa de exoplanetas massivos parece ter um comportamento oposto do que foi observado para C/O – o que deve estar associado ao fato de que, para O/S, estamos utilizando o O como numerador ao invés de denominador, como foi para C/O. Observamos também que o aumento da razão C/O estelar parece resultar em um aumento da fração do número de exoplanetas de baixa massa relativo a exoplanetas massivos, tendo $N_{\rm baixa\ massa}/N_{\rm massivos}$ de 9%, 25%, 63%, 175%, 77% e 300% para intervalos de C/O de 0,10

entre 0,20 e 0,90. Parece haver uma tendência entre C/O e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ no sentido de que, para o agrupamento de estrelas hospedeiras de exoplanetas de baixa massa, a razão C/O mínima é maior (C/O $\sim 0,4$) do que para o agrupamento de exoplanetas massivos (C/O $\sim 0,2$). Juntos, os três painéis das distribuições das razões de abundância das estrelas hospedeiras em função de $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ revelam a importância da influência das abundâncias estelares de C, O e S na arquitetura de sistemas planetários.

5.5.1 Sistemas com um exoplaneta e multiplanetários

Nas Figuras 5.11 e 5.12, dividimos nossa amostra em estrelas com apenas um exoplaneta confirmado (círculos brancos) e estrelas com mais de um exoplaneta confirmado (multiplanetários, círculos laranjas). Como discutido na Seção 5.1, exoplanetas de baixa massa são encontrados preferencialmente em sistemas multiplanetários, com $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ mediano de 0,99. Em contraste, exoplanetas massivos são mais frequentes em sistemas com um exoplaneta, com $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ mediano de 2,27. As regressões OLS dos sistemas com um exoplaneta resultam em $\%p_{\rm OLS}$ de 71% para [S/H] e abaixo de 27% para os outros elementos. Já para os sistemas multiplanetários, encontramos $\%p_{\rm OLS}$ de 72%, 64% e 60% para [Fe/H], [C/H] e [Ni/H], respectivamente, e valores abaixo de 40% para os outros elementos. Em resumo, para sistemas com um exoplaneta, encontramos uma tendência significativa apenas com [S/H], enquanto para os multiplanetários, para [Fe/H], [C/H] e [Ni/H] – elementos estes que não têm tendências significativas para a amostra completa.

5.5.2 Populações de estrelas com baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe]

Para investigar se as tendências entre [O/H] e [S/H] e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ encontradas nesta seção são sensíveis ao pertencimento da estrela hospedeira a diferentes populações Galácticas (disco fino *versus* espesso), comparamos inicialmente as distribuições de $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ para exoplanetas orbitando estrelas de baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe] na Figura 5.13 (ver painel esquerdo da primeira linha). Na nossa amostra, das estrelas hospedeiras de exoplanetas com massas determinadas, 85 delas pertencem à sequência de baixa-[α/Fe] e 18 à sequência de alta-[α/Fe], tendo 91 e 20 exoplanetas orbitando estas estrelas, respectivamente. Os dois histogramas cobrem o mesmo intervalo em massa, log entre 0,6 e 3.3 ($4 - 2000$ M$_\oplus$), mas eles têm picos em diferentes massas: aproximadamente em ~ 1 (10 M$_\oplus$) e $\sim 2,3$ (200 M$_\oplus$), respectivamente, para as distribuições de baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe]. Os testes K-S apontam que as distribuições de massa são indistinguíveis entre si ($\%p_{\rm KS} = 2\%$).

Nos outros painéis da Figura 5.13, apresentamos as abundâncias [X/H] em função de $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ e, na Figura 5.14, as razões C/O, C/S e O/S. Os painéis são similares aos das Figuras 5.11 e 5.12 mas, agora, as cores diferenciam estrelas de baixa-[α/Fe] (círculos pretos) e alta-[α/Fe] (círculos vermelhos). Para as regressões OLS, encontramos tendências estatisticamente significativas para [X/H] da estrela hospedeira *versus* $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$

para a população de baixa-[α/Fe] para todos os elementos (%$p_{\rm OLS}$ de 85%, 56%, 81%, 84% e 80% para [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H], respectivamente), mas não para as razões (%$p_{\rm OLS}$ de 0%, 2%, e 0% para C/O, C/S e O/S, respectivamente). Em contraste, não encontramos tendências para a população de alta-[α/Fe] (%$p_{\rm OLS} < 14\%$ para todas as abundâncias). Portanto, uma vez que os %$p_{\rm OLS}$ mostram que as tendências não estão vindo das estrelas de alta-[α/Fe], os possíveis efeitos da evolução química galáctica não devem estar criando as tendências observadas entre [X/H] e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_{\oplus})$. Contudo, este resultado para a população de alta-[α/Fe] é inconclusivo visto que é possível que haja tendências significativas para a população de alta-[α/Fe] e que estas não tenham sido detectadas aqui devido à estatística de poucos números – apenas 20 exoplanetas ao redor de estrelas com alta-[α/Fe].

Por mais que nossa amostra tenha estrelas do disco espesso (alta-[α/Fe]), ela é composta majoritariamente por estrelas do disco fino (ver Seção 4.6). Relembrando, para a amostra completa, encontramos tendências entre [X/H] da estrela hospedeira e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_{\oplus})$ apenas para [O/H] e [S/H] (os elementos-α estudados aqui). Contudo, agora, para a amostra do disco fino, encontramos tendências para todos os elementos. Esta diferença pode estar associada à maior proporção de exoplanetas massivos (75%) em comparação à exoplanetas de baixa massa (25%) ao redor de estrelas de alta-[α/Fe] (ver painel superior esquerdo da Figura 5.13). Em comparação, temos 56 exoplanetas massivos (62%) e 35 exoplanetas (38%) de baixa massa ao redor de estrelas de baixa-[α/Fe]. Estes exoplanetas massivos ao redor de estrelas de alta-[α/Fe] tendem a planificar as tendências entre [Fe/H] e [Ni/H] e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_{\oplus})$ por ocuparem uma região pouco povoada ([Fe/H] $\lesssim$0,10). Os painéis superiores do meio e da direita da Figura 5.13 mostram que, para [Fe/H] e [Ni/H], os exoplanetas da sequência de alta-[α/Fe] (círculos vermelhos) orbitam estrelas com [X/H] $\lesssim 0,10$ – como esperado pela evolução química da Galáxia. Além disso, na nossa amostra, abaixo de metalicidade aproximadamente solar, exoplanetas da sequência de baixa-[α/Fe] (círculos pretos) são escassos.

Para as razões C/O, C/S e O/S (ver Figura 5.14), os exoplanetas ao redor de estrelas de alta-[α/Fe] são preferencialmente encontrados ao redor de estrelas com C/O e C/S abaixo dos valores solares – como esperado pela evolução química da Galáxia. Para o O/S, os dois grupos ocupam as mesmas regiões, isto é, são indistinguíveis. Para a amostra completa, não encontramos tendências entre as razões de abundâncias das estrelas hospedeiras e as massas dos exoplanetas. Aqui, ao segregar entre estrelas de baixa-[α/Fe] e alta-[α/Fe], encontramos resultados similares. Por fim, seria interessante confirmar os resultados encontrados aqui com outros elementos-α (por exemplo, Mg, Si).

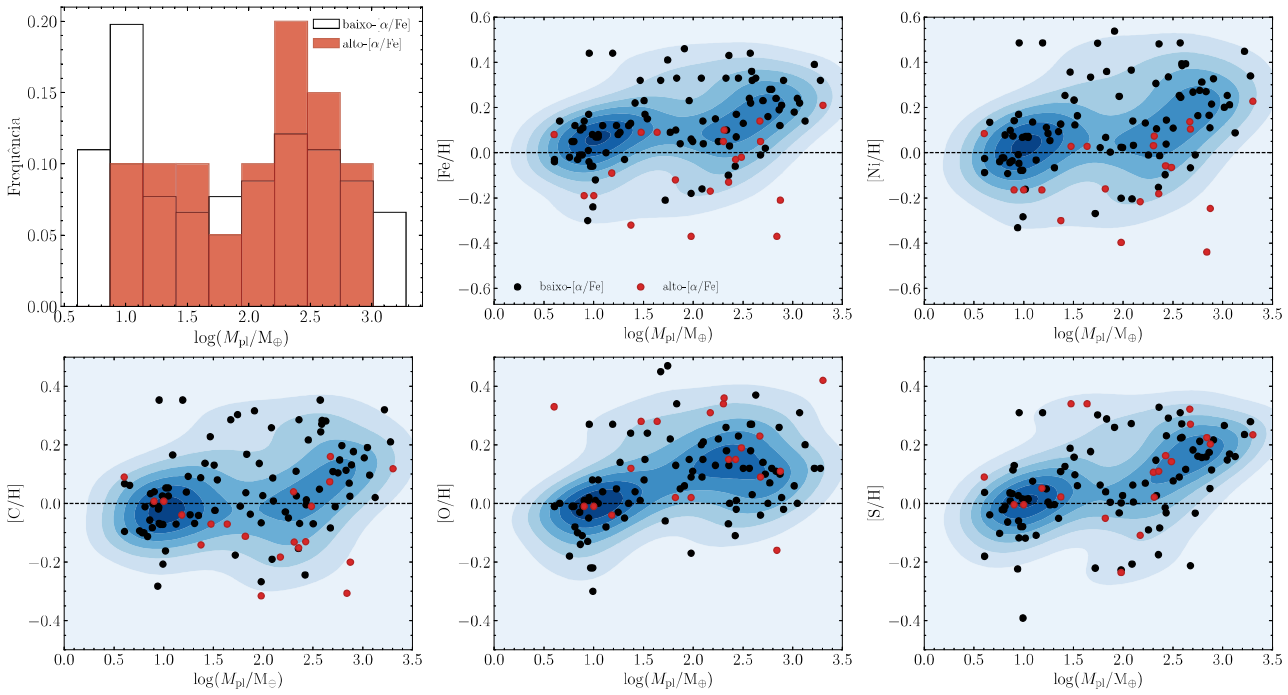


Figura 5.13: Distribuição de $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ (painel esquerdo da primeira linha) e abundâncias [X/H] de Fe, Ni (painéis do meio e da direita da primeira linha), C, O e S (segunda linha, da esquerda para a direita) das estrelas hospedeiras em função da massa dos exoplanetas. Exoplanetas ao redor de estrelas com baixa-[α/Fe] estão representadas por círculos pretos (histograma branco) e, ao redor de estrelas de alta-[α/Fe], por círculos vermelhos (histograma vermelho). Os mapas de calor em azul representam a distribuição de todos os exoplanetas, independente da população Galáctica a qual pertencem. As linhas tracejadas pretas representam os valores solares.

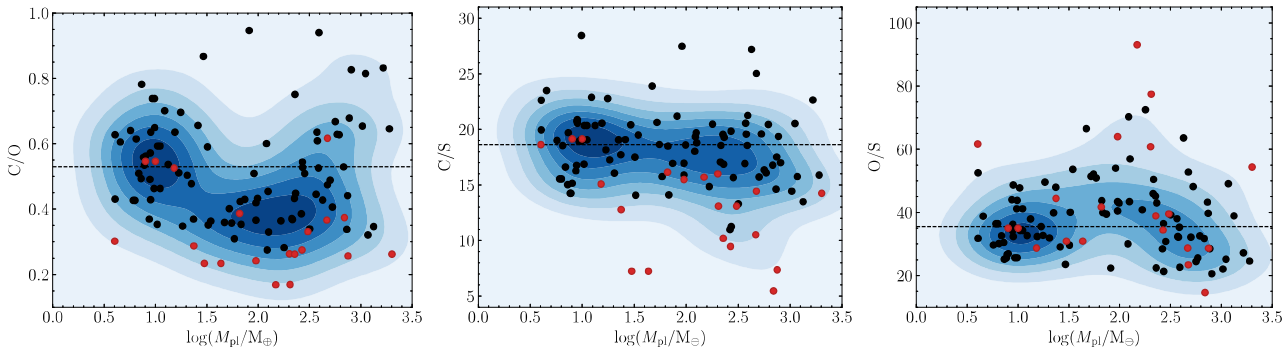


Figura 5.14: Razões de abundâncias C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras em função das massas dos exoplanetas. Os símbolos e as linhas são as mesmas da Figura 5.13.

5.6 Razões de abundâncias: estrelas e exoplanetas

Investigar as razões de abundâncias em estrelas hospedeiras é importante devido às informações que elas podem fornecer em relação à formação e distribuição de espécies químicas no disco protoplanetário (por exemplo, Thiabaud *et al.* 2015a, 2015b). A distribuição de elementos no disco é governada principalmente pela proximidade com a protoestrela ao longo da evolução do disco. Portanto, as razões de abundâncias atuais dos exoplanetas servem como indicadores da localização relativa da formação planetária em relação às linhas de gelo de uma variedade de moléculas contendo CNO (por exemplo, Öberg *et al.* 2011; Madhusudhan 2019; Ohno e Fortney 2023) e S (Crossfield 2023) – considerando o modelo padrão de formação planetária de acreção de núcleo (Pollack *et al.* 1996).

5.6.1 Razões C/O

Com exceção do H e do He, C e O são os elementos mais abundantes no Universo e estão presentes na nuvem molecular e no disco protoplanetário – C/O sendo a primeira razão de abundância proposta como possível traçadora da formação planetária de planetas gigantes (por exemplo, Seager *et al.* 2005). As diferentes localizações das linhas de gelo do H_2O, CO e CO_2 governam a disponibilidade de C e O e, consequentemente, C/O nos estados sólido e gasoso por todo o disco (por exemplo, Öberg *et al.* 2011; Espinoza *et al.* 2017), contribuindo assim para a composição final do exoplaneta através da acreção destes materiais.

O estudo feito por Teske *et al.* (2014) determinou abundâncias de carbono e oxigênio para uma amostra de 16 estrelas hospedeiras de Jupíteres quentes e não encontrou tendências significativas entre as razões C/O estelares e a temperatura de equilíbrio ($T_{\rm eq}$[6]) e o $R_{\rm pl}$ dos exoplanetas. Na primeira linha da Figura 5.15, apresentamos nossas razões C/O de estrelas hospedeiras de 95 Jupíteres quentes em função do $R_{\rm pl}$ (coluna esquerda) e da $T_{\rm eq}$ (coluna direita); os valores de $T_{\rm eq}$ foram obtidos do NASA Exoplanet Archive. Realizamos regressões OLS e não encontramos tendências das razões C/O de estrelas hospedeiras em função da $T_{\rm eq}$ (em acordo com os resultados de Teske *et al.* 2014) e do $R_{\rm pl}$, com $\%p_{\rm OLS}$ de 0% para ambos.

Nossa amostra nos permite investigar o comportamento da razão C/O de estrelas hospedeiras em função de $R_{\rm pl}$ e $T_{\rm eq}$ para todas as classes de exoplanetas. Assim, segregando nas mesmas subamostras da Tabela 5.1 (completa, sE/SE/sN, sS/J, sN, sS, J, quentes, mornos$_{(10,30]}$ e mornos$_{(10,100]}$), encontramos $\%p_{\rm OLS}$ muito baixos para as regressões OLS de todas as subamostras, com exceção de 54% para a distribuição de razões C/O de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes em função do $R_{\rm pl}$ dos exoplanetas.

[6]Temperatura de um planeta se este fosse um corpo negro, isto é, emitindo a mesma quantidade de energia que ele absorve da estrela. A fórmula para calcular $T_{\rm eq}$ é dada por $T_{\rm eq} = ((L_\star(1 - A))/(16\pi\varepsilon\sigma D^2))^{1/4}$, onde $L_\star$ é a luminosidade da estrela que o planeta está orbitando, A é o albedo

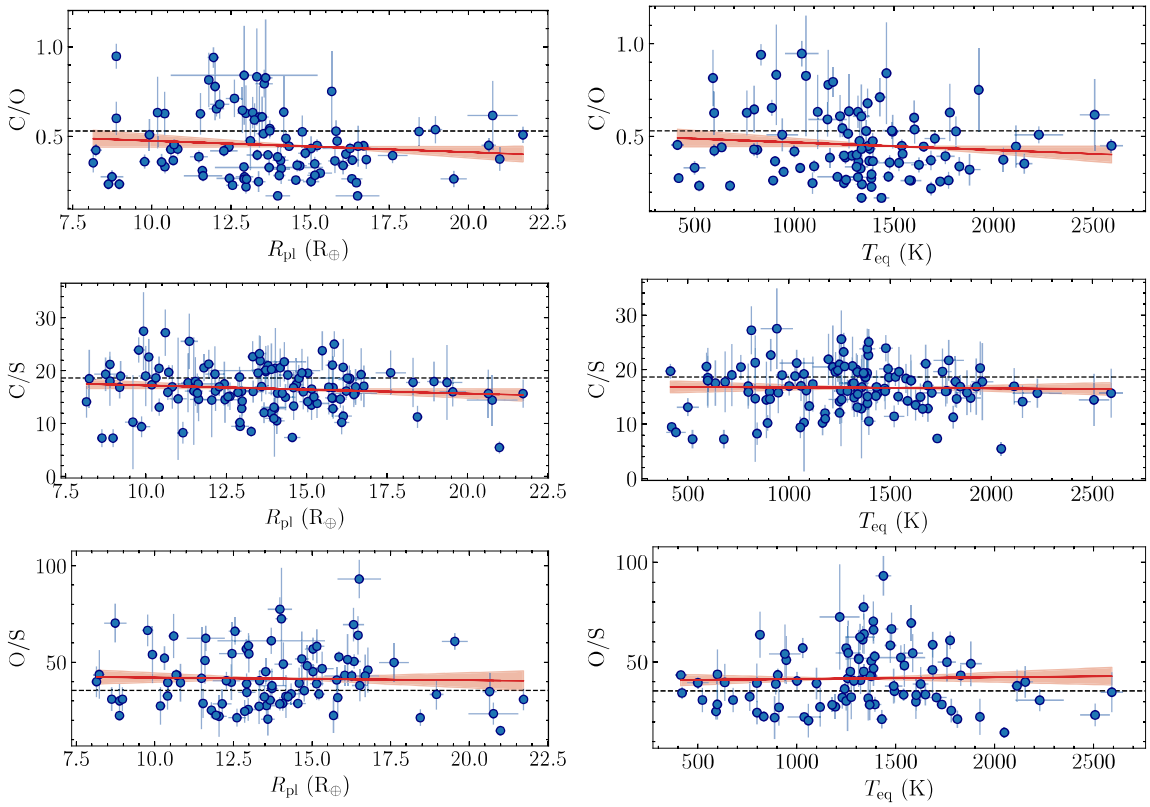


Figura 5.15: Distribuição das razões C/O (primeira linha), C/S (linha do meio) e O/S (última linha) das estrelas hospedeiras em função do raio (coluna esquerda) e da temperatura de equilíbrio (coluna direita) dos exoplanetas. A linha vermelha representa a regressão OLS mediana e a parte colorida representa as incertezas associadas à regressão. A linha tracejada representa o valor solar.

Comparações com razões C/O atmosféricas de exoplanetas

Mais de 40 exoplanetas têm razões C/O atmosféricas determinadas e publicadas na literatura até hoje (por exemplo, Bonnefoy *et al.* 2018; Changeat *et al.* 2022; Weiner Mansfield *et al.* 2024). As razões C/O atmosféricas variam consideravelmente entre exoplanetas do mesmo sistema planetário e, também, diferem das razões C/O estelares (por exemplo, Madhusudhan 2012; Konopacky *et al.* 2013; Moses *et al.* 2013). Recentemente, Baburaj *et al.* (2025) determinou razões C/O estelares de cinco estrelas com exoplanetas observados através de imageamento direto e encontraram razões C/O similares estrela-planeta (dentro de 1σ) para sete exoplanetas da sua amostra composta por 8 exoplanetas gigantes ($1\ \mathrm{M_J} < M_{pl} < 62\ \mathrm{M_J}$) – sugerindo que estes exoplanetas foram formados pelo mecanismo de instabilidades gravitacionais ao invés de acreção de núcleo. A única exceção foi o exoplaneta HD 206893 b com $\mathrm{C/O_{pl}} > \mathrm{C/O_\star}$. No nosso sistema solar, Júpiter serve como uma excelente fonte de comparação entre razões C/O atmosféricas e estelares. É bem aceito na literatura que Júpiter se formou através do mecanismo de acreção de núcleo (Pollack *et al.* 1996). Por mais que a razão C/O possa potencialmente nos dar pistas a respeito da

do planeta, ε é a emissividade do planeta e D é a distância orbital do planeta.

formação de Júpiter (Lodders 2004), sua razão C/O atmosférica é extremamente difícil de ser determinada por conta das nuvens de água que se formam em sua atmosfera profunda, depletando gás através do vapor de água (maior fonte de oxigênio da atmosfera). Determinações recentes do C/O atmosférico de Júpiter utilizando dados da missão Juno[7] variam dependendo da estrutura atmosférica utilizada nos modelos, podendo resultar em valores variando de C/O solar (Li *et al.* 2024), 0,55, até $\sim 2,9$ (Yang *et al.* 2026).

Para a nossa amostra, temos seis exoplanetas em comum com o estudo de Changeat *et al.* (2022) que determinou razões C/O atmosféricas através de análises de química livre (do inglês, *free-chemistry*) de dados do telescópio espacial Hubble (HST) e do Spitzer. A razão C/O solar determinada no nosso trabalho é de 0,53, enquanto o valor utilizado por Changeat *et al.* (2022) é de 0,55. Na Figura 5.16, apresentamos as diferenças ΔC/O ($\mathrm{C/O_{pl}} - \mathrm{C/O_{\star}}$) em função de $R_{\rm pl}$ (painel esquerdo) e $M_{\rm pl}$ (painel direito). As razões C/O estelares determinadas no nosso trabalho variam entre 0,41 e 0,75 e as massas dos exoplanetas entre $\sim$228 e 530 $\mathrm{M_\oplus}$ ou 0,72 e 1,67 $\mathrm{M_J}$ (Gillon *et al.* 2014; Stassun *et al.* 2017; Cortés-Zuleta *et al.* 2020; Ehrenreich *et al.* 2020; Noguer *et al.* 2024). As razões C/O atmosféricas determinadas por Changeat *et al.* (2022) para os 6 exoplanetas em comum com nossa amostra são todas maiores do que os valores estelares ($\mathrm{C/O_{pl}} > \mathrm{C/O_{\star}}$), tendo uma diferença mediana de 0,43$\pm$0,13, sendo esta maior do que a diferença mediana de $-0,04 \pm 0,04$ encontrada por Baburaj *et al.* (2025) para sua amostra de 8 exoplanetas (ver pontos cinzas no painel direito da Figura 5.16).

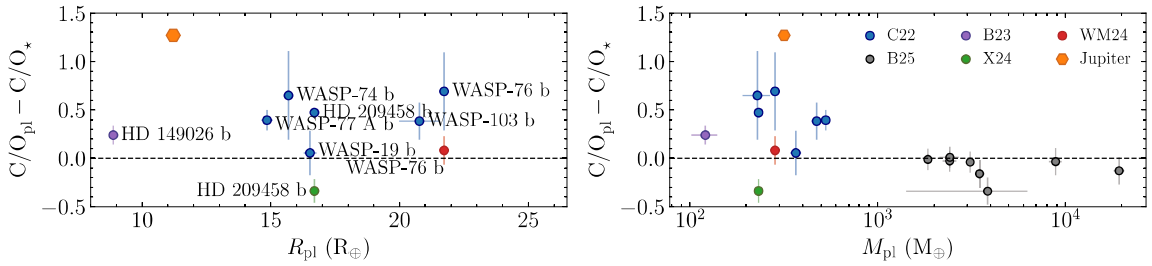


Figura 5.16: Distribuição de ΔC/O ($\mathrm{C/O_{pl}} - \mathrm{C/O_{\star}}$) em função dos raios (painel esquerdo) determinados no nosso trabalho e das massas dos exoplanetas (painel direito) obtidas do NASA Exoplanet Archive. As linhas pretas tracejadas representam $\Delta\mathrm{C/O} = 0,00$ e os pontos azuis, roxos, verdes, vermelhos e cinzas representam razões C/O atmosféricas determinadas por Changeat *et al.* (2022) (C22), Bean *et al.* (2023) (B23), Xue *et al.* (2024) (X24), Weiner Mansfield *et al.* (2024) (WM24) e Baburaj *et al.* (2025) (B25). O hexágono laranja representa Júpiter ($\mathrm{C/O_{pl}} = 1,80$, Lodders 2004) para comparação.

Na nossa amostra, temos dois exoplanetas com razões C/O atmosféricas determinadas utilizando espectros de transmissão obtidos com o Telescópio Espacial James Webb (JWST, Gardner *et al.* 2006, 2023), HD 149026 b ($\mathrm{C/O_{pl}} = 0,84 \pm 0,03$, Bean *et al.* 2023) e HD 209458 b ($\mathrm{C/O_{pl}} = 0,11^{+0,12}_{-0,06}$, Xue *et al.* 2024), e um exoplaneta com dados

[7]Lançada em agosto de 2011, a sonda Juno chegou em Júpiter em 2016 para investigar a origem, o interior e a atmosfera de Júpiter, além da sua magnetosfera polar e suas auroras (Bolton *et al.* 2017).

do IGRINS do telescópio Gemini-S, WASP-76 b ($C/O_{pl} = 0,90^{+0,13}_{-0,14}$, Weiner Mansfield *et al.* 2024). As razões C/O estelares determinadas no nosso trabalho são 0,60±0,09, 0,45±0,02 e 0,51±0,05 para HD 149026, HD 209458 e WASP-76, respectivamente, e as massas dos exoplanetas são 120,78±19,07 $M_\oplus$ (Stassun *et al.* 2017), 232,02±12,71 $M_\oplus$ (Stassun *et al.* 2017) e $284,14^{+4,45}_{-4,13}$ $M_\oplus$ (Ehrenreich *et al.* 2020). A diferença mediana $\Delta C/O$ é 0,08±0,16, valor este que é mais compatível com o resultado de Baburaj *et al.* (2025) do que com a diferença mediana encontrada para os 6 exoplanetas em comum com Changeat *et al.* (2022) (ver Figura 5.16). Isso pode ser devido ao fato de que, como mencionado por Changeat *et al.* (2022), os dados do HST e do Spitzer não são sensíveis o suficiente para determinar razões C/O atmosféricas de exoplanetas com precisão. Contudo, também notamos que os exoplanetas da amostra de Baburaj *et al.* (2025) são mais massivos e possuem distâncias orbitais maiores. Este espalhamento observado na distribuição de $\Delta C/O$ reforça a importância de continuar persistindo na caracterização de atmosferas de exoplanetas com dados de alta qualidade, como os obtidos com o JWST, para aumentar o número de determinações precisas de C/O atmosféricas com o objetivo de melhorar a compreensão dos mecanismos de formação de exoplanetas.

Nossos resultados não sugerem a existência de tendência entre $\Delta C/O$ e R_{pl} ($p_{OLS} = 0,56$). Contudo, vemos indícios de uma possível anticorrelação entre $\Delta C/O$ e M_{pl} ao considerar os exoplanetas de baixa massa de Changeat *et al.* (2022) (pontos azuis) e os exoplanetas massivos de Baburaj *et al.* (2025) (pontos cinzas). Parece haver um possível limite na massa dos exoplanetas no painel direito da Figura 5.16 em torno de $\sim 10^3$ $M_\oplus$ (ou ~ 3.15 M_J) no qual exoplanetas com massas abaixo deste limite tendem a ter razões C/O atmosféricas maiores do que suas estrelas hospedeiras e, exoplanetas com massas acima, razões C/O atmosféricas similares ou menores do que suas estrelas hospedeiras. Contudo, ressaltamos que esta é apenas uma hipótese exploratória. Neste contexto, Hoch *et al.* (2023) analisaram razões C/O atmosféricas de nove exoplanetas observados através de imageamento direto e 25 exoplanetas observados através de trânsito planetário por Changeat *et al.* (2022) e encontrou tendência entre as razões C/O atmosféricas e as massas dos exoplanetas, com uma quebra em torno de 4 M_J na qual exoplanetas menos massivos que 4 M_J apresentam um grande espalhamento de razões C/O atmosféricas ($\sim 0,3-1,6$) e exoplanetas mais massivos estão restritos a valores em torno de 0,7±0,2. Estes resultados se alinham com o possível limite em torno de 3 M_J que encontramos. De acordo com os testes K-S e Anderson-Darling, os dois grupos de exoplanetas são diferentes ($p_{KS} = 0,0007$ e $p_{AD} = 0,0009$), possivelmente indicando duas vias de formação planetária. Contudo, se considerarmos apenas os dados de alta qualidade do JWST e IGRINS, não encontramos diferenças significativas ($p_{KS} = 0,19$ e $p_{AD} = 0,14$). Também investigamos possíveis tendências entre $\Delta C/O$ e R_{pl}, P_{orb}, M_{pl}, [X/H] e [X/Fe] e não encontramos nenhuma.

Em suma, a formação e evolução de exoplanetas são processos estocásticos que envolvem muitos mecanismos, como possível migração durante a formação, inomogeneidades

no disco, perfil de temperatura não-estático do disco, fração de gás e sólidos acretados, mistura vertical (do inglês, *vertical mixing*), entre outros (por exemplo, Espinoza *et al.* 2017; Madhusudhan 2019). Portanto, as razões C/O são importantes, contudo, para uma visão mais completa do histórico de formação de exoplanetas, a razão C/O atmosférica precisa ser analisada em conjunto com outras razões de abundâncias por conta da alta volatilidade do C e do O (por exemplo, Pacetti *et al.* 2022).

5.6.2 Razões C/S e O/S

Em contraste com as moléculas portadoras de C/N/O que possuem temperaturas de condensação abaixo de 200 K (Lodders *et al.* 2025), o S condensa em troilita (FeS) em temperaturas muito mais altas ($\sim$ 700 K, Lodders 2003) – posicionando sua linha do gelo muito mais próximo da estrela. Kama *et al.* (2019) estimaram que $\gtrsim 90\%$ do enxofre do disco protoplanetário está na forma de gelos ou minerais refratários, o que faz o enxofre ter um comportamento similar ao dos elementos refratários no disco (por exemplo, Lodders 2004). Por conta disso, Crossfield (2023) utilizou razões voláteis-enxofre de C/S e O/S para investigar dois modelos de formação de planetas gigantes, através da acreção de pedregulhos (do inglês, *pebble accretion*) e de planetesimais. Por exemplo, para o Júpiter quente WASP-39 b, eles sugerem que a formação através da acreção de planetesimais é mais consistente com a razão SO_2 atmosférica determinada para o exoplaneta. Isso se dá devido ao fato de que os modelos de acreção de pedregulhos preveem que gigantes gasosos se tornam altamente enriquecidos em elementos voláteis em comparação aos elementos refratários (por exemplo, Schneider e Bitsch 2021a, 2021b, 2022), enquanto modelos de acreção de planetesimais preveem razões C/S e O/S solares, assim como C/O solares (por exemplo, Pacetti *et al.* 2022).

Na Figura 5.15, apresentamos as distribuições de razões C/S (linha do meio) e O/S (última linha) de estrelas hospedeiras em função do $R_{\rm pl}$ (coluna esquerda) e da $T_{\rm eq}$ (coluna direita) dos exoplanetas. Podemos ver que as distribuições têm comportamentos similares aos observados para C/O (ver Seção 5.6.1), não tendo tendências significativas, com $\%p_{\rm OLS}$ de 0% e 0% para C/S e O/S, respectivamente, com $R_{\rm pl}$, e 2% e 0% com $T_{\rm eq}$.

Comparações com razões C/S e O/S atmosféricas de exoplanetas

Pelo que sabemos, HAT-P-26 b é o único exoplaneta com razões atmosféricas de C/S e O/S determinadas com dados do JWST (Gressier *et al.* 2025). Neste estudo, os autores encontraram C/S atmosférico entre 0,3 e 4 $\times$ solar e O/S atmosférico entre 2 e 12 $\times$ solar (ou C/S atmosférico de $1,29^{+2,87}_{-0,97}$ e O/S atmosférico de $5,39^{+6,62}_{-3,61}$). HAT-P-26 b é um exoplaneta gigante de baixa massa com $R_{\rm pl} = 6,333^{+0,807}_{-0,359}$ $R_\oplus$ e $M_{\rm pl} = 18,751 \pm 2,225$ $M_\oplus$ (Hartman *et al.* 2011). No nosso trabalho, determinamos um raio de $6,68 \pm 0,11$ $R_\oplus$ para HAT-P-26 – de acordo com o valor encontrado por Hartman *et al.* (2011). Ademais,

HAT-P-26 b é um exoplaneta quente, tendo $P_{\rm orb} = 4,24$ dias (Stassun *et al.* 2017).

Sendo parte da nossa amostra, os parâmetros atmosféricos e as abundâncias determinados para sua estrela hospedeira são $T_{\rm ef} = 5071$ K, [Fe/H] $= 0,44$ e $\log g = 4,51$ e A(C) $= 8,69 \pm 0,11$ e A(S) $= 7,42 \pm 0,03$, resultando em uma razão C/S de $18,62 \pm 4,83$. Infelizmente, para esta estrela, a linha do [O I] estava contaminada e, portanto, a abundância de oxigênio não pôde ser determinada. Como discutido na Seção 4.5, neste regime de baixas temperaturas, nossas abundâncias de C e S não são confiáveis. Portanto, utilizando as regressões OLS da Seção 4.5, podemos corrigir as abundâncias de C e S de HAT-P-26. Dessa forma, obtemos $\mathrm{A(C)}_{\rm corrigida} = 8,55$ e $\mathrm{A(S)}_{\rm corrigida} = 7,20$, resultando em uma razão $\mathrm{C/S}_{\rm corrigida}$ de $22,39 \pm 4,83$.

Utilizando a determinação de C/S atmosférico de Gressier *et al.* (2025) para HAT-P-26 b, C/S atmosférico entre 0,3 e 4 × solar, e adotando a razão C/S solar de 18,62±2,71 determinada no nosso trabalho, obtemos $\mathrm{C/S}_{\rm pl} = 5,59 - 74{,}48$, que é $0{,}27 - 2,46\times$ a razão C/S da estrela hospedeira. De acordo com Gressier *et al.* (2025), razões C/S atmosféricas entre $\sim 3 - 20 \times$ solar são previstas pelo modelo de formação planetária através de acreção de pedregulhos – que normalmente se dá além da linha de gelo da troilita (FeS). Contudo, a precisão atual das razões atmosféricas de C/S limitam a possibilidade de utilizar esta para distinguir entre diferentes cenários de formação planetária (por exemplo,Turrini *et al.* 2021; Crossfield 2023). Finalmente, nos próximos anos, o número de detecções de H_2S e SO_2 com o JWST vai crescer, permitindo assim termos uma visão mais ampla de como o enxofre impacta os processos atmosféricos e os cenários de formação planetária (por exemplo, Polman *et al.* 2023).

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas Futuras

Neste trabalho, utilizamos o NASA Exoplanet Archive para selecionar estrelas com $5000 \leqslant T_{\rm ef} \leqslant 6500$ K e $\log g \geqslant 4,0$ que tivessem exoplanetas confirmados e com profundidade de trânsito determinadas (ver Capítulo 2). Obtivemos espectros públicos de alta-resolução dos espectrógrafos HARPS-Sul e HARPS-Norte para 410 estrelas. Destas, 350 tinham $\rm SNR_{total} \geqslant 30$. Em seguida, utilizamos a metodologia descrita em Ghezzi *et al.* (2018, 2021) para determinar os parâmetros atmosféricos temperatura efetiva ($T_{\rm ef}$), metalicidade ([Fe/H]), gravidade superficial ($\log g$) e velocidade de microturbulência ($v_{\rm mic}$) e suas incertezas associadas. Neste processo, 291 estrelas se encontraram dentro dos limites de $T_{\rm ef}$ e $\log g$ inicialmente estabelecidos na seleção da amostra (ver Capítulo 3). Para a determinação dos parâmetros evolutivos, idade, massa ($M_\star$) e raio ($R_\star$), utilizamos o código PARAM v1.3 (da Silva *et al.* 2006) e, tendo as profundidades de trânsito dos exoplanetas, determinamos os raios de 373 exoplanetas utilizando a relação de Seager e Mallén-Ornelas (2003) (ver Seção 3.3).

As abundâncias químicas foram determinadas utilizando o código MOOG (Sneden 1973) na versão de Fevereiro de 2017 (ver Capítulo 4). Neste trabalho, nosso foco é nas abundâncias de elementos bioessenciais (C, O e S). Contudo, mesmo não sendo um elemento bioessencial, as abundâncias de Ni foram determinadas por serem necessárias para a determinação das abundâncias de oxigênio. Com base nas abundâncias disponíveis no Vizier e no catálogo Hypatia, acessados em Junho de 2026, neste trabalho foram determinadas abundâncias inéditas de carbono para 72 estrelas, de oxigênio para 61, de enxofre para 115 e de níquel para 65.

Utilizando os períodos orbitais obtidos do *NASA Exoplanet Archive* e os raios exoplanetários determinados neste trabalho (ver Seção 3.3), nossa amostra de exoplanetas contém 3 sub-Terras (quentes), 45 super-Terras (35 quentes, 9 mornos e 1 frio), 124 sub-Netunos (68 quentes, 54 mornos e 2 frios), 44 sub-Saturnos (23 quentes, 18 mornos, 1 frio e 2 com $P_{\rm orb} > 300$ dias) e 157 Jupíteres (115 quentes, 32 mornos, 6 frios e 4 com $P_{\rm orb} > 300$ dias).

Comparamos $T_{\rm ef}$, [Fe/H], $\log g$, $R_\star$, A(C), A(O), A(S), A(Ni) e $R_{\rm pl}$ determinados neste

trabalho com valores da literatura e encontramos bons acordos para todos (ver Capítulos 3 e 4).

As distribuições das abundâncias e razões de abundâncias em função da [Fe/H], isto é, os diagramas canônicos de evolução química da Galáxia, seguem as distribuições esperadas para o modelo *time-delay* (ver Seção 4.6). Além disso, calculamos [α/Fe] como a média de [O/Fe] e [S/Fe] (os elementos-α determinados neste trabalho) e segregamos nossas estrelas em duas sequências, baixa-[*alpha*/Fe] e alta-[α/Fe], pertencendo ao disco fino e espesso, respectivamente, e identificamos que a maioria das nossas estrelas pertencem ao disco fino.

No Capítulo 5, investigamos a conexão estrela-planeta utilizando as abundâncias de [Fe/H], [C/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H] e as razões de abundâncias de C/O, C/S e O/S das estrelas hospedeiras e os raios, massas e períodos orbitais dos exoplanetas. Dessa forma, listamos os principais resultados abaixo:

- Na nossa amostra, estrelas hospedeiras de exoplanetas gigantes ($R_{\rm pl} > 4$ R$_\oplus$) têm [X/H] medianas maiores em comparação com estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos para todos os elementos estudados (ver Figura 5.2). Realizamos testes K-S entre as distribuições de [X/H] de estrelas hospedeiras exclusivamente de exoplanetas pequenos e gigantes e encontramos diferenças significativas para todas as [X/H], exceto [C/H] – sugerindo que possivelmente há uma diferença na distribuição de [Fe/H], [O/H], [S/H] e [Ni/H] entre estrelas hospedeiras de exoplanetas pequenos e gigantes. Adicionalmente, encontramos uma correlação entre os raios dos exoplanetas e a [Fe/H] das estrelas hospedeiras (ver Figura 5.5) – resultado este que está em acordo com o que é encontrado na literatura (por exemplo, Petigura *et al.* 2018b; Wilson *et al.* 2022; Ghezzi *et al.* 2021, 2026). As distribuições de [O/H], [S/H] e [Ni/H] das estrelas em função do raio dos exoplanetas seguem, no geral, o mesmo comportamento observado para o [Fe/H], mas as tendências são mais fortes (coeficientes angulares maiores) para os elementos-α [O/H] e [S/H];

- A [Fe/H] das estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes ($P_{\rm orb} \lesssim 10$ dias) é, em média, maior do que a das estrelas hospedeiras de exoplanetas mornos – similar ao encontrado na literatura (por exemplo, Mulders *et al.* 2016). Ao considerarmos apenas exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias, encontramos uma anticorrelação entre [Fe/H] e $P_{\rm orb}$ (ver Figura 5.8). Contudo, esta anticorrelação desaparece ao considerarmos exoplanetas com $P_{\rm orb} > 30$ dias, isto é, [Fe/H] não continua a diminuir com o aumento do $P_{\rm orb}$, mas sim aumenta novamente para exoplanetas com $P_{\rm orb}$ maiores. A [Fe/H] mediana permanece relativamente constante em $\sim 0,09$ para $P_{\rm orb} \lesssim 10$ dias, diminui para $\sim 0,01$ para $10 \lesssim P_{\rm orb} \lesssim 30$ dias e aumenta novamente para $\sim 0,09$ para $P_{\rm orb} > 30$ dias. Tendo como objetivo confirmar estas tendências, combinamos nossa amostra com a amostra Kepler de Ghezzi *et al.* (2026), resultando em uma

amostra combinada de 1210 exoplanetas para os quais todos os parâmetros atmosféricos das estrelas hospedeiras foram determinados de forma homogênea. Dessa forma, encontramos resultados similares entre nossa amostra e a amostra combinada, confirmando assim que a [Fe/H] mediana aumenta para um regime de $P_{\rm orb}$ maior;

- Ao segregar a amostra em estrelas hospedeiras exclusivamente de exoplanetas pequenos (sub-Terras, super-Terras ou sub-Netunos), encontramos diferenças significativas entre as distribuições de [X/H] das estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes ($P_{\rm orb} \leqslant 10$ dias) e mornos ($10 < P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias). Diferenças estas que também foram observadas entre estrelas hospedeiras de sub-Saturnos quentes e mornos. Contudo, não encontramos diferenças entre hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos para sistemas com pelo menos um Júpiter. Os testes K-S encontram diferenças significativas entre as distribuições de [X/H] de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos para Fe, C e Ni para hospedeiras de exoplanetas pequenos, Fe e Ni para hospedeiras de sub-Netunos e Fe, C e Ni para hospedeiras de sub-Saturnos. Para C/S e O/S, ao separar a amostra entre estrelas hospedeiras de exoplanetas de diferentes tamanhos, encontramos diferenças significativas entre estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos para sistemas com pelo menos um sub-Saturno para C/S e, para O/S, para sistemas com apenas exoplanetas pequenos e com pelo menos um sub-Netuno;

- Estrelas hospedeiras de sub-Netunos com raios entre 3 e 4 $\rm R_\oplus$ têm a razão C/O mediana mais alta ($0{,}55^{+0{,}05}_{-0{,}01}$), enquanto o menor valor é encontrado para hospedeiras de Jupíteres ($0{,}43^{+0{,}02}_{-0{,}03}$) (ver Figura 5.7), e os testes K-S sugerem que a diferença entre o C/O dos dois grupos é significativa. Encontramos também uma anticorrelação entre a razão C/O da estrela hospedeira e o $R_{\rm pl}$ de exoplanetas quentes. Além disso, estrelas hospedeiras apenas de exoplanetas pequenos ($R_{\rm pl} \leqslant 4$ $\rm R_\oplus$) têm razões C/O medianas maiores do que estrelas hospedeiras de pelo menos um exoplaneta gigante. Ao segregar a amostra, encontramos diferenças significativas entre C/O de estrelas hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos para sistemas tendo apenas exoplanetas pequenos;

- Para a nossa amostra, encontramos uma lacuna entre ∼20 e 100 $M_\oplus$ na distribuição das [X/H] das estrelas hospedeiras em função da massa dos exoplanetas (ver Figura 5.11). Estrelas hospedeiras de exoplanetas de baixa massa têm abundâncias medianas em torno do valor solar para todos os elementos, enquanto estrelas hospedeiras de exoplanetas massivos exibem abundâncias medianas maiores, com exceção do carbono. O fato de encontrarmos exoplanetas massivos preferencialmente ao redor de estrelas ricas em oxigênio, mas não ricas em carbono, pode indicar uma maior

importância da linha de gelo de H_2O em relação às linhas de gelo de CO e CO_2 para a formação de núcleos de exoplanetas gigantes;

- A distribuição de [O/H] e [S/H] (os elementos-α estudados aqui) em função da massa do exoplaneta, para a nossa amostra, apresenta tendências fortes (ver Figura 5.11). Contudo, ao segregar a amostra entre hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, as tendências só são encontradas para exoplanetas mornos. Este resultado pode estar associado à distância orbital em que estes exoplanetas são formados;

- Encontramos diferenças significativas entre as distribuições de razões C/O das estrelas hospedeiras de exoplanetas de baixa massa e massivos. O aumento da razão C/O parece resultar em uma maior fração de exoplanetas de baixa massa em relação aos exoplanetas massivos (ver Figura 5.12). Adicionalmente, a posição da lacuna na massa dos exoplanetas muda com a razão C/O das estrelas hospedeiras, onde o limite inferior de massa para exoplanetas gigantes aumenta com o aumento da razão C/O. Isso pode indicar que ambientes ricos em C/O resultam em um crescimento mais eficiente (ou rápido) de núcleos sólidos até a massa crítica na qual a acreção de gás descontrolada (*runaway gas-accretion*) e a formação de exoplanetas gigantes é iniciada;

- Nossa amostra é composta por 20 exoplanetas que orbitam estrelas com alta-[α/Fe] e 91 que orbitam estrelas de baixa-[α/Fe]. Vemos uma maior fração de exoplanetas de baixa massa ao redor de estrelas de baixa-[α/Fe] e, ao contrário, de exoplanetas massivos ao redor de estrelas de alta-[α/Fe] (ver Figura 5.13). Encontramos tendências entre [X/H] das estrelas hospedeiras e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$ apenas para exoplanetas ao redor de estrelas de baixa-[α/Fe] – incluindo [Fe/H] e [Ni/H], para os quais não encontramos tendências para a amostra completa. A maior fração de exoplanetas massivos ao redor de estrelas de alta-[α/Fe], estando a maioria ao redor de estrelas com [Fe/H] $\lesssim 0,00$, pode ser responsável por remover as tendências (tornar planas) entre [Fe/H] e [Ni/H] e $\log(M_{\rm pl}/{\rm M}_\oplus)$;

- Comparamos as razões C/O das estrelas hospedeiras com as razões C/O medidas nas atmosferas dos exoplanetas na Seção 5.6.1. No total, temos 6 exoplanetas em comum com a amostra de Changeat *et al.* (2022) (dados HST+Spitzer), para os quais encontramos que ${\rm C/O_{pl}} > {\rm C/O_\star}$ para todos os exoplanetas. Ao comparar nossa amostra com a de Baburaj *et al.* (2025), que contém oito exoplanetas observados por imageamento direto, os quais são mais massivos e possuem períodos orbitais maiores que os nossos, vemos que, ao contrário do observado para a nossa amostra, sete de oito exoplanetas têm razões C/O menores do que suas estrelas hospedeiras. Estes resultados sugerem a existência de um possível limite na massa dos exoplanetas em torno de $\sim 3,15$ M_J a partir do qual a razão C/O dos exoplanetas é maior do

que a das suas estrelas hospedeiras (Hoch *et al.* 2023). Contudo, ao adicionar três exoplanetas com razões C/O medidas utilizando dados de alta qualidade do JWST e IGRINS, não vemos esse limite – os ΔC/O são próximos ou menores que zero, variando entre -0,34 e 0,24 mesmo para exoplanetas de baixa massa.

Os resultados encontrados neste trabalho se devem aos esforços de determinar parâmetros e abundâncias homogêneas para estrelas hospedeiras de exoplanetas com a maior diversidade possível de raios, períodos orbitais e massas. Estes resultados são de extrema importância porque indicam conexões entre estrelas e exoplanetas, dando pistas sobre a formação dos últimos. Além disso, serão importantes para os estudos das composições atmosféricas de exoplanetas, que estão sendo determinadas com mais precisão. Como exemplo, o telescópio espacial James Webb (JWST, Gardner *et al.* 2006, 2023) já está explorando uma nova diversidade de moléculas nas atmosferas de exoplanetas gigantes que não haviam sido observadas com o telescópio espacial Hubble (HST), como SO_2 (por exemplo, Alderson *et al.* 2023; Gressier *et al.* 2025). Dessa forma, temos como objetivo futuro determinar abundâncias de mais elementos para esta mesma amostra de estrelas e exoplanetas, especialmente elementos-α (por exemplo, Mg e Si) e bioessenciais (por exemplo, N). Além disso, uma vez que esta amostra depende da disponibilidade de espectros públicos nas bases de dados do HARPS-Sul e HARPS-Norte, continuaremos buscando a expansão da amostra de acordo com a liberação dos espectros para a comunidade.

Referências Bibliográficas

Addison, B. C., Tinney, C. G., Wright, D. J., et al., 2016, "Spin-orbit Alignment for Three Transiting Hot Jupiters: WASP-103b, WASP-87b, and WASP-66b", Astrophys. J., 823(1):29. doi: 10.3847/0004-637X/823/1/29.

Addison, B., Wright, D. J., Wittenmyer, R. A., et al., 2019, "Minerva-Australis. I. Design, Commissioning, and First Photometric Results", Publ. Astron. Soc. Pacific, v. 131, n. 1005 (nov.), pp. 115003. doi: 10.1088/1538-3873/ab03aa.

Adibekyan, V. Z., Santos, N. C., Sousa, S. G., et al., 2011, "A new α-enhanced super-solar metallicity population", Astron. Astrophys., 535:L11. doi: 10.1051/0004-6361/201118240.

Adibekyan, V. Z., Sousa, S. G., Santos, N. C., et al., 2012b, "Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS GTO planet search program. Galactic stellar populations and planets", Astron. Astrophys., 545:A32. doi: 10.1051/0004-6361/201219401.

Adibekyan, V., 2019, "Heavy Metal Rules. I. Exoplanet Incidence and Metallicity", *Geosciences*, v. 9, n. 3 (fev.), pp. 105. doi: 10.3390/geosciences9030105.

Alderson, L., Wakeford, H. R., Alam, M. K., et al., 2023, "Early Release Science of the exoplanet WASP-39b with JWST NIRSpec G395H", Nature, v. 614, n. 7949 (fev.), pp. 664–669. doi: 10.1038/s41586-022-05591-3.

Allende Prieto, C., Lambert, D. L., Asplund, M., 2001, "The Forbidden Abundance of Oxygen in the Sun", Astrophys. J. Lett., v. 556, n. 1 (jul.), pp. L63–L66. doi: 10.1086/322874.

Almenara, J. M., Hébrard, G., Díaz, R. F., et al., 2022, "Photodynamical analysis of the nearly resonant planetary system WASP-148. Accurate transit-timing variations and mutual orbital inclination", Astron. Astrophys., 663:A134. doi: 10.1051/0004-6361/202142964.

Alqasim, A., Grieves, N., Rosário, N. M., et al., 2024, "TOI-757 b: an eccentric transiting mini-Neptune on a 17.5-d orbit", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 533, n. 1 (set.), pp. 1–26. doi: 10.1093/mnras/stae1767.

Amarsi, A. M., Asplund, M., Collet, R., et al., 2015, "The Galactic chemical evolution of oxygen inferred from 3D non-LTE spectral-line-formation calculations." Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 454 (nov.), pp. L11–L15. doi: 10.1093/mnrasl/slv122.

Amarsi, A. M., Nissen, P. E., Skúladóttir, Á., 2019, "Carbon, oxygen, and iron abundances in disk and halo stars. Implications of 3D non-LTE spectral line formation", Astron. Astrophys., 630:A104. doi: 10.1051/0004-6361/201936265.

Anders, F., Khalatyan, A., Chiappini, C., et al., 2019, "Photo-astrometric distances, extinctions, and astrophysical parameters for Gaia DR2 stars brighter than G = 18", Astron. Astrophys., 628:A94. doi: 10.1051/0004-6361/201935765.

Anders, F., Khalatyan, A., Queiroz, A. B. A., et al., 2022, "Photo-astrometric distances, extinctions, and astrophysical parameters for Gaia EDR3 stars brighter than G = 18.5", Astron. Astrophys., 658:A91. doi: 10.1051/0004-6361/202142369.

Anderson, D. R., Collier Cameron, A., Delrez, L., et al., 2014, "Three newly discovered sub-Jupiter-mass planets: WASP-69b and WASP-84b transit active K dwarfs and WASP-70Ab transits the evolved primary of a G4+K3 binary", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 445, n. 2 (dez.), pp. 1114–1129. doi: 10.1093/mnras/stu1737.

Anderson, D. R., Collier Cameron, A., Hellier, C., et al., 2015, "WASP-20b and WASP-28b: a hot Saturn and a hot Jupiter in near-aligned orbits around solar-type stars", Astron. Astrophys., 575:A61. doi: 10.1051/0004-6361/201423591.

Anderson, D. R., Collier Cameron, A., Delrez, L., et al., 2017, "The discoveries of WASP-91b, WASP-105b and WASP-107b: Two warm Jupiters and a planet in the transition region between ice giants and gas giants", Astron. Astrophys., 604: A110. doi: 10.1051/0004-6361/201730439.

Armstrong, D. J., Osborn, A., Adibekyan, V., et al., 2023, "Discovery and characterization of two Neptune-mass planets orbiting HD 212729 with TESS", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 524, n. 4 (out.), pp. 5804–5816. doi: 10.1093/mnras/stad2183.

Arnett, D., 1996, *Supernovae and Nucleosynthesis: An Investigation of the History of Matter from the Big Bang to the Present.*

Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., et al., 2004, "Line formation in solar granulation. IV. [O I], O I and OH lines and the photospheric O abundance", Astron. Astrophys., v. 417 (abr.), pp. 751–768. doi: 10.1051/0004-6361:20034328.

Asplund, M., Amarsi, A. M., Grevesse, N., 2021, "The chemical make-up of the Sun: A 2020 vision", Astron. Astrophys., 653:A141. doi: 10.1051/0004-6361/202140445.

Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., et al., 2009, "The Chemical Composition of the Sun", Ann. Rev. Astron. Astrohys., v. 47, n. 1 (set.), pp. 481–522. doi: 10.1146/annurev.astro.46.060407.145222.

Azevedo Silva, T., Demangeon, O. D. S., Barros, S. C. C., et al., 2022, "The HD 137496 system: A dense, hot super-Mercury and a cold Jupiter", Astron. Astrophys., 657:A68. doi: 10.1051/0004-6361/202141520.

Baburaj, A., Konopacky, Q. M., Theissen, C. A., et al., 2025, "A High-resolution Spectroscopic Survey of Directly Imaged Companion Hosts. I. Determination of Diagnostic Stellar Abundances for Planet Formation and Composition", Astron. J., 169(2):55. doi: 10.3847/1538-3881/ad8dfc.

Barge, P., Baglin, A., Auvergne, M., et al., 2008, "Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. I. CoRoT-Exo-1b: a low-density short-period planet around a G0V star", Astron. Astrophys., v. 482, n. 3 (maio), pp. L17–L20. doi: 10.1051/0004-6361:200809353.

Barragán, O., Aigrain, S., Kubyshkina, D., et al., 2019, "Radial velocity confirmation of K2-100b: a young, highly irradiated, and low-density transiting hot Neptune", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 490, n. 1 (nov.), pp. 698–708. doi: 10.1093/mnras/stz2569.

Barros, S. C. C., Demangeon, O., Deleuil, M., 2016, "New planetary and eclipsing binary candidates from campaigns 1-6 of the K2 mission", Astron. Astrophys., 594: A100. doi: 10.1051/0004-6361/201628902.

Battley, M. P., Collins, K. A., Ulmer-Moll, S., et al., 2024, "NGTS-30b/TOI-4862b: An 1 Gyr old 98-day transiting warm Jupiter", Astron. Astrophys., 686:A230. doi: 10.1051/0004-6361/202449307.

Bean, J. L., Xue, Q., August, P. C., et al., 2023, "High atmospheric metal enrichment for a Saturn-mass planet", Nature, v. 618, n. 7963 (jun.), pp. 43–46. doi: 10.1038/s41586-023-05984-y.

Beard, C., Robertson, P., Dai, F., et al., 2024, "The TESS-Keck Survey. XVII. Precise Mass Measurements in a Young, High-multiplicity Transiting Planet System Using Radial Velocities and Transit Timing Variations", Astron. J., 167(2):70. doi: 10.3847/1538-3881/ad1330.

Becker, J. C., Vanderburg, A., Rodriguez, J. E., et al., 2019, "A Discrete Set of Possible Transit Ephemerides for Two Long-period Gas Giants Orbiting HIP 41378", Astron. J., 157(1):19. doi: 10.3847/1538-3881/aaf0a2.

Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2004, "Oxygen trends in the Galactic thin and thick disks", Astron. Astrophys., v. 415 (fev.), pp. 155–170. doi: 10.1051/0004-6361:20031655.

Bergemann, M., Hoppe, R., Semenova, E., et al., 2021, "Solar oxygen abundance", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 508, n. 2 (dez.), pp. 2236–2253. doi: 10.1093/mnras/stab2160.

Bertran de Lis, S., Delgado Mena, E., Adibekyan, V. Z., et al., 2015, "Oxygen abundances in G- and F-type stars from HARPS. Comparison of [OI] 6300 Å and OI 6158 Å", Astron. Astrophys., 576:A89. doi: 10.1051/0004-6361/201424633.

Biazzo, K., D'Orazi, V., Desidera, S., et al., 2022, "The GAPS Programme at TNG. XXXV. Fundamental properties of transiting exoplanet host stars", Astron. Astrophys., 664:A161. doi: 10.1051/0004-6361/202243467.

Boettner, C., Viswanathan, A., Dayal, P., 2024, "Exoplanets across galactic stellar populations with PLATO: Estimating exoplanet yields around FGK stars for the thin disk, thick disk, and stellar halo", Astron. Astrophys., 692:A150. doi: 10.1051/0004-6361/202451537.

Boley, A. C., Granados Contreras, A. P., Gladman, B., 2016, "The In Situ Formation of Giant Planets at Short Orbital Periods", Astrophys. J. Lett., 817(2):L17. doi: 10.3847/2041-8205/817/2/L17.

Bolton, S. J., Lunine, J., Stevenson, D., et al., 2017, "The Juno Mission", Space Sci. Rev., v. 213, n. 1-4 (nov.), pp. 5–37. doi: 10.1007/s11214-017-0429-6.

Bonfanti, A., Delrez, L., Hooton, M. J., et al., 2021, "CHEOPS observations of the HD 108236 planetary system: a fifth planet, improved ephemerides, and planetary radii", Astron. Astrophys., 646:A157. doi: 10.1051/0004-6361/202039608.

Bonfanti, A., Gandolfi, D., Egger, J. A., et al., 2023, "TOI-1055 b: Neptunian planet characterised with HARPS, TESS, and CHEOPS", Astron. Astrophys., 671:L8. doi: 10.1051/0004-6361/202245607.

Bonfanti, A., Amateis, I., Gandolfi, D., et al., 2025, "Radii, masses, and transit-timing variations of the three-planet system orbiting the naked-eye star TOI-396", Astron. Astrophys., 693:A90. doi: 10.1051/0004-6361/202451300.

Bonnefoy, M., Perraut, K., Lagrange, A. M., et al., 2018, "The GJ 504 system revisited. Combining interferometric, radial velocity, and high contrast imaging data", Astron. Astrophys., 618:A63. doi: 10.1051/0004-6361/201832942.

Bonomo, A. S., Hébrard, G., Raymond, S. N., et al., 2017, "A deeper view of the CoRoT-9 planetary system. A small non-zero eccentricity for CoRoT-9b likely generated by planet-planet scattering", Astron. Astrophys., 603:A43. doi: 10.1051/0004-6361/201730624.

Bonomo, A. S., Dumusque, X., Massa, A., et al., 2023, "Cold Jupiters and improved masses in 38 Kepler and K2 small planet systems from 3661 HARPS-N radial velocities. No excess of cold Jupiters in small planet systems", Astron. Astrophys., 677:A33. doi: 10.1051/0004-6361/202346211.

Bordé, P., Bouchy, F., Deleuil, M., et al., 2010, "Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. XI. CoRoT-8b: a hot and dense sub-Saturn around a K1 dwarf", Astron. Astrophys., 520:A66. doi: 10.1051/0004-6361/201014775.

Borsato, L., Malavolta, L., Piotto, G., et al., 2019, "HARPS-N radial velocities confirm the low densities of the Kepler-9 planets", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 484, n. 3 (abr.), pp. 3233–3243. doi: 10.1093/mnras/stz181.

Borucki, W. J., Koch, D., Basri, G., et al., 2010, "Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results", *Science*, v. 327, n. 5968 (fev.), pp. 977. doi: 10.1126/science.1185402.

Bouchy, F., Hebb, L., Skillen, I., et al., 2010, "WASP-21b: a hot-Saturn exoplanet transiting a thick disc star", Astron. Astrophys., 519:A98. doi: 10.1051/0004-6361/201014817.

Boufleur, R. C., Emilio, M., Janot-Pacheco, E., et al., 2018, "A modified CoRoT detrend algorithm and the discovery of a new planetary companion", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 473, n. 1 (jan.), pp. 710–720. doi: 10.1093/mnras/stx2187.

Bourrier, V., Dumusque, X., Dorn, C., et al., 2018, "The 55 Cancri system reassessed", Astron. Astrophys., 619:A1. doi: 10.1051/0004-6361/201833154.

Brahm, R., Jordán, A., Bakos, G. Á., et al., 2016, "HATS-17b: A Transiting Compact Warm Jupiter in a 16.3 Day Circular Orbit", Astron. J., 151(4):89. doi: 10.3847/0004-6256/151/4/89.

Brahm, R., Espinoza, N., Jordán, A., et al., 2018, "K2-232 b: a transiting warm Saturn on an eccentric P = 11.2 d orbit around a V = 9.9 star", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 477, n. 2 (jun.), pp. 2572–2581. doi: 10.1093/mnras/sty795.

Brahm, R., Ulmer-Moll, S., Hobson, M. J., et al., 2023, "Three Long-period Transiting Giant Planets from TESS", Astron. J., 165(6):227. doi: 10.3847/1538-3881/accadd.

Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., et al., 2012, "PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 427, n. 1 (nov.), pp. 127–145. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21948.x.

Brewer, J. M., Fischer, D. A., 2018, "Spectral Properties of Cool Stars: Extended Abundance Analysis of Kepler Objects of Interest", Astrophys. J. Suppl., 237(2):38. doi: 10.3847/1538-4365/aad501.

Brewer, J. M., Fischer, D. A., Valenti, J. A., et al., 2016, "Spectral Properties of Cool Stars: Extended Abundance Analysis of 1,617 Planet-search Stars", Astrophys. J. Suppl., 225(2):32. doi: 10.3847/0067-0049/225/2/32.

Brinkman, C. L., Weiss, L. M., Huber, D., et al., 2025, "The Compositions of Rocky Planets in Close-in Orbits Tend to Be Earth-like", Astron. J., 170(2):109. doi: 10.3847/1538-3881/ade677.

Brown, D. J. A., Collier Cameron, A., Díaz, R. F., et al., 2012, "Analysis of Spin-Orbit Alignment in the WASP-32, WASP-38, and HAT-P-27/WASP-40 Systems", Astrophys. J., 760(2):139. doi: 10.1088/0004-637X/760/2/139.

Brugamyer, E., Dodson-Robinson, S. E., Cochran, W. D., et al., 2011, "Silicon and Oxygen Abundances in Planet-host Stars", Astrophys. J., 738(1):97. doi: 10.1088/0004-637X/738/1/97.

Bryant, E. M., Bayliss, D., Nielsen, L. D., et al., 2020, "NGTS-12b: A sub-Saturn mass transiting exoplanet in a 7.53 day orbit", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 499, n. 3 (dez.), pp. 3139–3148. doi: 10.1093/mnras/staa2976.

Bubar, E. J., King, J. R., 2010, "Spectroscopic Abundances and Membership in the Wolf 630 Moving Group", Astron. J., v. 140, n. 2 (ago.), pp. 293–318. doi: 10.1088/0004-6256/140/2/293.

Buchhave, L. A., Bakos, G. Á., Hartman, J. D., et al., 2010, "HAT-P-16b: A 4 M $_J$ Planet Transiting a Bright Star on an Eccentric Orbit", Astrophys. J., v. 720, n. 2 (set.), pp. 1118–1125. doi: 10.1088/0004-637X/720/2/1118.

Buchhave, L. A., Latham, D. W., Johansen, A., et al., 2012, "An abundance of small exoplanets around stars with a wide range of metallicities", Nature, v. 486, n. 7403 (jun.), pp. 375–377. doi: 10.1038/nature11121.

Buchhave, L. A., Bizzarro, M., Latham, D. W., et al., 2014, "Three regimes of extrasolar planet radius inferred from host star metallicities", Nature, v. 509, n. 7502 (maio), pp. 593–595. doi: 10.1038/nature13254.

Caffau, E., Bonifacio, P., Faraggiana, R., et al., 2005, "Sulphur abundance in Galactic stars", Astron. Astrophys., v. 441, n. 2 (out.), pp. 533–548. doi: 10.1051/0004-6361:20052905.

Caffau, E., Ludwig, H. G., Steffen, M., et al., 2008, "The photospheric solar oxygen project. I. Abundance analysis of atomic lines and influence of atmospheric models", Astron. Astrophys., v. 488, n. 3 (set.), pp. 1031–1046. doi: 10.1051/0004-6361:200809885.

Castelli, F., Kurucz, R. L., 2003, "New Grids of ATLAS9 Model Atmospheres". In: Piskunov, N., Weiss, W. W., Gray, D. F. (Eds.), *Modelling of Stellar Atmospheres*, v. 210, *IAU Symposium*, p. A20, jan. doi: 10.48550/arXiv.astro-ph/0405087.

Castro-González, A., Lillo-Box, J., Armstrong, D. J., et al., 2024, "TOI-5005 b: A super-Neptune in the savanna near the ridge", Astron. Astrophys., 691:A233. doi: 10.1051/0004-6361/202451656.

Chabrier, G., 2001, "The Galactic Disk Mass Budget. I. Stellar Mass Function and Density", Astrophys. J., v. 554, n. 2 (jun.), pp. 1274–1281. doi: 10.1086/321401.

Chakrabarty, A., Sengupta, S., 2019, "Precise Photometric Transit Follow-up Observations of Five Close-in Exoplanets: Update on Their Physical Properties", Astron. J., 158(1):39. doi: 10.3847/1538-3881/ab24dd.

Changeat, Q., Edwards, B., Al-Refaie, A. F., et al., 2022, "Five Key Exoplanet Questions Answered via the Analysis of 25 Hot-Jupiter Atmospheres in Eclipse", Astrophys. J. Suppl., 260(1):3. doi: 10.3847/1538-4365/ac5cc2.

Chaturvedi, P., Goffo, E., Gandolfi, D., et al., 2025, "TOI-3493 b: A planet with a Neptune-like density transiting a bright G0-type star", Astron. Astrophys., 697: A169. doi: 10.1051/0004-6361/202453511.

Chen, D.-C., Xie, J.-W., Zhou, J.-L., et al., 2021, "Planets Across Space and Time (PAST). I. Characterizing the Memberships of Galactic Components and Stellar Ages: Revisiting the Kinematic Methods and Applying to Planet Host Stars", Astrophys. J., 909(2):115. doi: 10.3847/1538-4357/abd5be.

Christiansen, J. L., Vanderburg, A., Burt, J., et al., 2017, "Three's Company: An Additional Non-transiting Super-Earth in the Bright HD 3167 System, and Masses for All Three Planets", Astron. J., 154(3):122. doi: 10.3847/1538-3881/aa832d.

Ciceri, S., Mancini, L., Southworth, J., et al., 2016, "Physical properties of the planetary systems WASP-45 and WASP-46 from simultaneous multiband photometry", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 456, n. 1 (fev.), pp. 990–1002. doi: 10.1093/mnras/stv2698.

Cortés-Zuleta, P., Rojo, P., Wang, S., et al., 2020, "TraMoS. V. Updated ephemeris and multi-epoch monitoring of the hot Jupiters WASP-18Ab, WASP-19b, and WASP-77Ab", Astron. Astrophys., 636:A98. doi: 10.1051/0004-6361/201936279.

Cosentino, R., Lovis, C., Pepe, F., et al., 2012, "Harps-N: the new planet hunter at TNG". In: McLean, I. S., Ramsay, S. K., Takami, H. (Eds.), *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV*, v. 8446, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, p. 84461V, set. doi: 10.1117/12.925738.

Costa-Almeida, E., Ghezzi, L., Cunha, K., et al., 2026, "Chemical Abundances of the Bioessential Elements C, O, and S, and the Refractory Elements Fe and Ni, in Solar-type Exoplanet-hosting Stars from HARPS North and South", Astron. J., 172(2):96. doi: 10.3847/1538-3881/ae82fd.

Costa de Almeida, E., 2022, *Abundâncias de Elementos Bioessenciais em Estrelas de Tipo Solar usando Espectros HARPS*. Tese de Mestrado, Dissertação (Mestrado) - Observatório Nacional. Disponível em: <http://sistede.on.br:8080/jspui/handle/tede/135>.

Costa Silva, A. R., Delgado Mena, E., Tsantaki, M., 2020, "Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS-GTO planet search sample. III. Sulfur", Astron. Astrophys., 634:A136. doi: 10.1051/0004-6361/201936523.

Crossfield, I. J. M., 2023, "Volatile-to-sulfur Ratios Can Recover a Gas Giant's Accretion History", Astrophys. J. Lett., 952(1):L18. doi: 10.3847/2041-8213/ace35f.

Crouzet, N., McCullough, P. R., Burke, C., et al., 2012, "Transmission Spectroscopy of Exoplanet XO-2b Observed with Hubble Space Telescope NICMOS", Astrophys. J., 761(1):7. doi: 10.1088/0004-637X/761/1/7.

Cubas Armas, M., Asensio Ramos, A., Socas-Navarro, H., 2020, "Spatially resolved measurements of the solar photospheric oxygen abundance", Astron. Astrophys., 643:A142. doi: 10.1051/0004-6361/202037849.

da Silva, L., Girardi, L., Pasquini, L., et al., 2006, "Basic physical parameters of a selected sample of evolved stars", Astron. Astrophys., v. 458, n. 2 (nov.), pp. 609–623. doi: 10.1051/0004-6361:20065105.

Dalba, P. A., Kane, S. R., Isaacson, H., et al., 2021, "Giant Outer Transiting Exoplanet Mass (GOT 'EM) Survey. I. Confirmation of an Eccentric, Cool Jupiter with an Interior Earth-sized Planet Orbiting Kepler-1514", Astron. J., 161(3):103. doi: 10.3847/1538-3881/abd408.

Dalba, P. A., Kane, S. R., Isaacson, H., et al., 2024, "Giant Outer Transiting Exoplanet Mass (GOT 'EM) Survey. IV. Long-term Doppler Spectroscopy for 11 Stars Thought to Host Cool Giant Exoplanets", Astrophys. J. Suppl., 271(1):16. doi: 10.3847/1538-4365/ad18c3.

Dawson, R. I., Johnson, J. A., 2018, "Origins of Hot Jupiters", Ann. Rev. Astron. Astrohys., v. 56 (set.), pp. 175–221. doi: 10.1146/annurev-astro-081817-051853.

Dawson, R. I., Murray-Clay, R. A., 2013, "Giant Planets Orbiting Metal-rich Stars Show Signatures of Planet-Planet Interactions", Astrophys. J. Lett., 767(2):L24. doi: 10.1088/2041-8205/767/2/L24.

de Laverny, P., Ligi, R., Crida, A., et al., 2025, "The Gaia spectroscopic catalogue of exoplanets and host stars", Astron. Astrophys., 699:A100. doi: 10.1051/0004-6361/202554739.

Deeg, H. J., Moutou, C., Erikson, A., et al., 2010, "A transiting giant planet with a temperature between 250K and 430K", Nature, v. 464, n. 7287 (mar.), pp. 384–387. doi: 10.1038/nature08856.

Delgado Mena, E., Adibekyan, V., Santos, N. C., et al., 2021, "Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS GTO planet search program. IV. Carbon and C/O ratios for Galactic stellar populations and planet hosts", Astron. Astrophys., 655:A99. doi: 10.1051/0004-6361/202141588.

Delrez, L., Ehrenreich, D., Alibert, Y., et al., 2021, "Transit detection of the long-period volatile-rich super-Earth ν^2 Lupi d with CHEOPS", *Nature Astronomy*, v. 5 (jun.), pp. 775–787. doi: 10.1038/s41550-021-01381-5.

Desidera, S., Damasso, M., Gratton, R., et al., 2023, "TOI-179: A young system with a transiting compact Neptune-mass planet and a low-mass companion in outer orbit", Astron. Astrophys., 675:A158. doi: 10.1051/0004-6361/202244611.

Díaz, M. R., Jenkins, J. S., Feng, F., et al., 2020, "The Magellan/PFS Exoplanet Search: a 55-d period dense Neptune transiting the bright (V = 8.6) star HD 95338", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 496, n. 4 (ago.), pp. 4330–4341. doi: 10.1093/mnras/staa1724.

Doyle, L., Cegla, H. M., Anderson, D. R., et al., 2023, "WASP-131 b with ESPRESSO - I. A bloated sub-Saturn on a polar orbit around a differentially rotating solar-type star", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 522, n. 3 (jul.), pp. 4499–4514. doi: 10.1093/mnras/stad1240.

Dransfield, G., Triaud, A. H. M. J., Guillot, T., et al., 2022, "HD 28109 hosts a trio of transiting Neptunian planets including a near-resonant pair, confirmed by ASTEP from Antarctica", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 515, n. 1 (set.), pp. 1328–1345. doi: 10.1093/mnras/stac1383.

Drążkowska, J., Alibert, Y., 2017, "Planetesimal formation starts at the snow line", Astron. Astrophys., 608:A92. doi: 10.1051/0004-6361/201731491.

Eastman, J. D., Beatty, T. G., Siverd, R. J., et al., 2016, "KELT-4Ab: An Inflated Hot Jupiter Transiting the Bright (V $\sim$ 10) Component of a Hierarchical Triple", Astron. J., 151(2):45. doi: 10.3847/0004-6256/151/2/45.

Eberhardt, J., Trifonov, T., Henning, T., et al., 2025, "TOI-6695: A Pair of Near-resonant Massive Planets Observed with TESS from the WINE Survey", Astron. J., 169(6):298. doi: 10.3847/1538-3881/adc44e.

Ecuvillon, A., Israelian, G., Santos, N. C., et al., 2006, "Oxygen abundances in planet-harbouring stars. Comparison of different abundance indicators", Astron. Astrophys., v. 445, n. 2 (jan.), pp. 633–645. doi: 10.1051/0004-6361:20053469.

Egger, J. A., Osborn, H. P., Kubyshkina, D., et al., 2024, "Unveiling the internal structure and formation history of the three planets transiting HIP 29442 (TOI-469) with CHEOPS", Astron. Astrophys., 688:A223. doi: 10.1051/0004-6361/202450472.

Ehlmann, B. L., Anderson, F. S., Andrews-Hanna, J., et al., 2016, "The sustainability of habitability on terrestrial planets: Insights, questions, and needed measurements from Mars for understanding the evolution of Earth-like worlds", *Journal of Geophysical Research (Planets)*, v. 121, n. 10 (out.), pp. 1927–1961. doi: 10.1002/2016JE005134.

Ehrenreich, D., Lovis, C., Allart, R., et al., 2020, "Nightside condensation of iron in an ultrahot giant exoplanet", Nature, v. 580, n. 7805 (abr.), pp. 597–601. doi: 10.1038/s41586-020-2107-1.

Ellis, T. G., Boyajian, T., von Braun, K., et al., 2021, "Directly Determined Properties of HD 97658 from Interferometric Observations", Astron. J., 162(3):118. doi: 10.3847/1538-3881/ac141a.

Espinoza, N., Fortney, J. J., Miguel, Y., et al., 2017, "Metal Enrichment Leads to Low Atmospheric C/O Ratios in Transiting Giant Exoplanets", Astrophys. J. Lett., 838(1):L9. doi: 10.3847/2041-8213/aa65ca.

Espinoza, N., Brahm, R., Henning, T., et al., 2020, "HD 213885b: a transiting 1-d-period super-Earth with an Earth-like composition around a bright (V = 7.9) star unveiled by TESS", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 491, n. 2 (jan.), pp. 2982–2999. doi: 10.1093/mnras/stz3150.

Espinoza-Rojas, F., Chanamé, J., Jofré, P., et al., 2021, "The Consistency of Chemical Clocks among Coeval Stars", Astrophys. J., 920(2):94. doi: 10.3847/1538-4357/ac15fd.

Farmer, R., Laplace, E., de Mink, S. E., et al., 2021, "The Cosmic Carbon Footprint of Massive Stars Stripped in Binary Systems", Astrophys. J., 923(2):214. doi: 10.3847/1538-4357/ac2f44.

Fischer, D. A., Valenti, J., 2005, "The Planet-Metallicity Correlation", Astrophys. J., v. 622, n. 2 (abr.), pp. 1102–1117. doi: 10.1086/428383.

Frame, G., Armstrong, D. J., Cegla, H. M., et al., 2023, "TOI-2498 b: a hot bloated super-Neptune within the Neptune desert", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 523, n. 1 (jul.), pp. 1163–1174. doi: 10.1093/mnras/stad1452.

Fridlund, M., Livingston, J., Gandolfi, D., et al., 2020, "The TOI-763 system: sub-Neptunes orbiting a Sun-like star", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 498, n. 3 (nov.), pp. 4503–4517. doi: 10.1093/mnras/staa2502.

Furlan, E., Ciardi, D. R., Cochran, W. D., et al., 2018, "The Kepler Follow-up Observation Program. II. Stellar Parameters from Medium- and High-resolution Spectroscopy", Astrophys. J., 861(2):149. doi: 10.3847/1538-4357/aaca34.

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., et al., 2016, "Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties", Astron. Astrophys., 595:A2. doi: 10.1051/0004-6361/201629512.

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., et al., 2018, "Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties", Astron. Astrophys., 616:A1. doi: 10.1051/0004-6361/201833051.

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., et al., 2021, "Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties", Astron. Astrophys., 649:A1. doi: 10.1051/0004-6361/202039657.

Gardner, J. P., Mather, J. C., Clampin, M., et al., 2006, "The James Webb Space Telescope", Space Sci. Rev., v. 123, n. 4 (abr.), pp. 485–606. doi: 10.1007/s11214-006-8315-7.

Gardner, J. P., Mather, J. C., Abbott, R., et al., 2023, "The James Webb Space Telescope Mission", Publ. Astron. Soc. Pacific, 135(1048):068001. doi: 10.1088/1538-3873/acd1b5.

Georgieva, I. Y., Persson, C. M., Goffo, E., et al., 2023, "TOI-733 b: A planet in the small-planet radius valley orbiting a Sun-like star", Astron. Astrophys., 674: A117. doi: 10.1051/0004-6361/202345961.

Ghezzi, L., Cunha, K., Smith, V. V., et al., 2009, "Measurements of the Isotopic Ratio ^{6}Li/^{7}Li in Stars with Planets", Astrophys. J., v. 698, n. 1 (jun.), pp. 451–460. doi: 10.1088/0004-637X/698/1/451.

Ghezzi, L., Cunha, K., Smith, V. V., et al., 2010a, "Stellar Parameters and Metallicities of Stars Hosting Jovian and Neptunian Mass Planets: A Possible Dependence of Planetary Mass on Metallicity", Astrophys. J., v. 720, n. 2 (set.), pp. 1290–1302. doi: 10.1088/0004-637X/720/2/1290.

Ghezzi, L., Cunha, K., Smith, V. V., et al., 2010b, "Lithium Abundances in a Sample of Planet-hosting Dwarfs", Astrophys. J., v. 724, n. 1 (nov.), pp. 154–164. doi: 10.1088/0004-637X/724/1/154.

Ghezzi, L., Montet, B. T., Johnson, J. A., 2018, "Retired A Stars Revisited: An Updated Giant Planet Occurrence Rate as a Function of Stellar Metallicity and Mass", Astrophys. J., 860(2):109. doi: 10.3847/1538-4357/aac37c.

Ghezzi, L., Martinez, C. F., Wilson, R. F., et al., 2021, "A Spectroscopic Analysis of the California-Kepler Survey Sample. II. Correlations of Stellar Metallicities with Planetary Architectures", Astrophys. J., 920(1):19. doi: 10.3847/1538-4357/ac14c3.

Ghezzi, L., Costa-Almeida, E., Loaiza-Tacuri, V., et al., 2026, "A Comprehensive Study of the Relations between the Properties of Planetary Systems and the Chemical Compositions of Their Host Stars", Astrophys. J., 998(2):301. doi: 10.3847/1538-4357/ae317d.

Gill, S., Wheatley, P. J., Cooke, B. F., et al., 2020, "NGTS-11 b (TOI-1847 b): A Transiting Warm Saturn Recovered from a TESS Single-transit Event", Astrophys. J. Lett., 898(1):L11. doi: 10.3847/2041-8213/ab9eb9.

Gill, S., Bayliss, D., Ulmer-Moll, S., et al., 2024, "Correction to: TOI-2447 b / NGTS-29 b: a 69-day Saturn around a Solar analogue", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 533, n. 1 (set.), pp. 109–109. doi: 10.1093/mnras/stae1804.

Gillon, M., Smalley, B., Hebb, L., et al., 2009, "Improved parameters for the transiting hot Jupiters WASP-4b and WASP-5b", Astron. Astrophys., v. 496, n. 1 (mar.), pp. 259–267. doi: 10.1051/0004-6361:200810929.

Gillon, M., Anderson, D. R., Collier-Cameron, A., et al., 2014, "WASP-103 b: a new planet at the edge of tidal disruption", Astron. Astrophys., 562:L3. doi: 10.1051/0004-6361/201323014.

Gonzalez, G., 1997, "The stellar metallicity-giant planet connection", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 285, n. 2 (fev.), pp. 403–412. doi: 10.1093/mnras/285.2.403.

Gressier, A., Batalha, N. E., Wogan, N., et al., 2025, "JWST-TST DREAMS: Sulfur Dioxide in the Atmosphere of the Neptune-mass Planet HAT-P-26 b from NIRSpec G395H Transmission Spectroscopy", Astron. J., 170(5):292. doi: 10.3847/1538-3881/ae0929.

Grieves, N., Bouchy, F., Ulmer-Moll, S., et al., 2022, "An old warm Jupiter orbiting the metal-poor G-dwarf TOI-5542", Astron. Astrophys., 668:A29. doi: 10.1051/0004-6361/202244077.

Grziwa, S., Gandolfi, D., Csizmadia, S., et al., 2016, "K2-31B, a Grazing Transiting Hot Jupiter on a 1.26-day Orbit around a Bright G7V Star", Astron. J., 152(5):132. doi: 10.3847/0004-6256/152/5/132.

Guenther, E. W., Goffo, E., Sebastian, D., et al., 2024, "A new mass and radius determination of the ultra-short period planet K2-106b and the fluffy planet K2-106c", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 529, n. 1 (mar.), pp. 141–154. doi: 10.1093/mnras/stae494.

Hacker, A., Díaz, R. F., Armstrong, D. J., et al., 2024, "TOI-2374 b and TOI-3071 b: two metal-rich sub-Saturns well within the Neptunian desert", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 532, n. 2 (ago.), pp. 1612–1634. doi: 10.1093/mnras/stae1420.

Hartman, J. D., Bakos, G. Á., Kipping, D. M., et al., 2011, "HAT-P-26b: A Low-density Neptune-mass Planet Transiting a K Star", Astrophys. J., 728(2):138. doi: 10.1088/0004-637X/728/2/138.

Hartman, J. D., Bakos, G. Á., Torres, G., et al., 2014, "HAT-P-44b, HAT-P-45b, and HAT-P-46b: Three Transiting Hot Jupiters in Possible Multi-planet Systems", Astron. J., 147(6):128. doi: 10.1088/0004-6256/147/6/128.

Hawthorn, F., Bayliss, D., Armstrong, D. J., et al., 2023, "TOI-908: a planet at the edge of the Neptune desert transiting a G-type star", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 524, n. 3 (set.), pp. 3877–3893. doi: 10.1093/mnras/stad1840.

Hébrard, G., Collier Cameron, A., Brown, D. J. A., et al., 2013, "WASP-52b, WASP-58b, WASP-59b, and WASP-60b: Four new transiting close-in giant planets", Astron. Astrophys., 549:A134. doi: 10.1051/0004-6361/201220363.

Heidari, N., Hébrard, G., Martioli, E., et al., 2025, "Characterization of seven transiting systems, including four warm Jupiters from SOPHIE and TESS", Astron. Astrophys., 694:A36. doi: 10.1051/0004-6361/202451519.

Hellier, C., Anderson, D. R., Collier Cameron, A., et al., 2017, "WASP-South transiting exoplanets: WASP-130b, WASP-131b, WASP-132b, WASP-139b, WASP-140b, WASP-141b and WASP-142b", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 465, n. 3 (mar.), pp. 3693–3707. doi: 10.1093/mnras/stw3005.

Hellier, C., Anderson, D. R., Collier Cameron, A., et al., 2015, "Three WASP-South Transiting Exoplanets: WASP-74b, WASP-83b, and WASP-89b", Astron. J., 150(1):18. doi: 10.1088/0004-6256/150/1/18.

Hellier, C., Anderson, D. R., Bouchy, F., et al., 2019, "New transiting hot Jupiters discovered by WASP-South, Euler/CORALIE, and TRAPPIST-South", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 482, n. 1 (jan.), pp. 1379–1391. doi: 10.1093/mnras/sty2741.

Hinkel, N. R., Unterborn, C. T., 2018, "The Star-Planet Connection. I. Using Stellar Composition to Observationally Constrain Planetary Mineralogy for the 10 Closest Stars", Astrophys. J., 853(1):83. doi: 10.3847/1538-4357/aaa5b4.

Hinkel, N. R., Timmes, F. X., Young, P. A., et al., 2014, "Stellar Abundances in the Solar Neighborhood: The Hypatia Catalog", Astron. J., 148(3):54. doi: 10.1088/0004-6256/148/3/54.

Hinkle, K., Wallace, L., Valenti, J., et al., 2000, *Visible and Near Infrared Atlas of the Arcturus Spectrum 3727-9300 A*.

Hobson, M. J., Bouchy, F., Lavie, B., et al., 2024, "Three super-Earths and a possible water world from TESS and ESPRESSO", Astron. Astrophys., 688:A216. doi: 10.1051/0004-6361/202450505.

Hobson, M. J., Trifonov, T., Henning, T., et al., 2023, "TOI-199 b: A Well-characterized 100 day Transiting Warm Giant Planet with TTVs Seen from Antarctica", Astron. J., 166(5):201. doi: 10.3847/1538-3881/acfc1d.

Hoch, K. K. W., Konopacky, Q. M., Theissen, C. A., et al., 2023, "Assessing the C/O Ratio Formation Diagnostic: A Potential Trend with Companion Mass", Astron. J., 166(3):85. doi: 10.3847/1538-3881/ace442.

Howard, A. W., Sinukoff, E., Blunt, S., et al., 2025, "Planet Masses, Radii, and Orbits from NASA's K2 Mission", Astrophys. J. Suppl., 278(2):52. doi: 10.3847/1538-4365/adc5e4.

Hoyer, S., Gandolfi, D., Armstrong, D. J., et al., 2021, "TOI-220 b: a warm sub-Neptune discovered by TESS", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 505, n. 3 (ago.), pp. 3361–3379. doi: 10.1093/mnras/stab1427.

Huber, D., Zinn, J., Bojsen-Hansen, M., et al., 2017, "Asteroseismology and Gaia: Testing Scaling Relations Using 2200 Kepler Stars with TGAS Parallaxes", Astrophys. J., 844(2):102. doi: 10.3847/1538-4357/aa75ca.

Ida, S., Lin, D. N. C., 2004, "Toward a Deterministic Model of Planetary Formation. I. A Desert in the Mass and Semimajor Axis Distributions of Extrasolar Planets", Astrophys. J., v. 604, n. 1 (mar.), pp. 388–413. doi: 10.1086/381724.

Ida, S., Lin, D. N. C., 2008, "Toward a Deterministic Model of Planetary Formation. IV. Effects of Type I Migration", Astrophys. J., v. 673, n. 1 (jan.), pp. 487–501. doi: 10.1086/523754.

Izidoro, A., Ogihara, M., Raymond, S. N., et al., 2017, "Breaking the chains: hot super-Earth systems from migration and disruption of compact resonant chains", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 470, n. 2 (set.), pp. 1750–1770. doi: 10.1093/mnras/stx1232.

Jenkins, J. S., Díaz, M. R., Kurtovic, N. T., et al., 2020, "An ultrahot Neptune in the Neptune desert", *Nature Astronomy*, v. 4 (jan.), pp. 1148–1157. doi: 10.1038/s41550-020-1142-z.

Johansson, S., Litzén, U., Lundberg, H., et al., 2003, "Experimental f-Value and Isotopic Structure for the Ni I Line Blended with [O I] at 6300 Å", Astrophys. J. Lett., v. 584, n. 2 (fev.), pp. L107–L110. doi: 10.1086/374037.

Johnson, M. C., Gandolfi, D., Fridlund, M., et al., 2016, "Two Hot Jupiters from K2 Campaign 4", Astron. J., 151(6):171. doi: 10.3847/0004-6256/151/6/171.

Jones, M. I., Reinarz, Y., Brahm, R., et al., 2024, "A long-period transiting substellar companion in the super-Jupiters to brown dwarfs mass regime and a prototypical warm-Jupiter detected by TESS", Astron. Astrophys., 683:A192. doi: 10.1051/0004-6361/202348147.

Jordán, A., Bakos, G. Á., Bayliss, D., et al., 2020, "HATS-37Ab and HATS-38b: Two Transiting Hot Neptunes in the Desert", Astron. J., 160(5):222. doi: 10.3847/1538-3881/aba530.

Jurgenson, C., Fischer, D., McCracken, T., et al., 2016, "Design and Construction of VUES: The Vilnius University Echelle Spectrograph", *Journal of Astronomical Instrumentation*, 5(2):1650003-239. doi: 10.1142/S2251171716500033.

Kabáth, P., Chaturvedi, P., MacQueen, P. J., et al., 2022, "TOI-2046b, TOI-1181b, and TOI-1516b, three new hot Jupiters from TESS: planets orbiting a young star, a subgiant, and a normal star", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 513, n. 4 (jul.), pp. 5955–5972. doi: 10.1093/mnras/stac1254.

Kama, M., Shorttle, O., Jermyn, A. S., et al., 2019, "Abundant Refractory Sulfur in Protoplanetary Disks", Astrophys. J., 885(2):114. doi: 10.3847/1538-4357/ab45f8.

Kane, S. R., Hill, M. L., Dalba, P. A., et al., 2023, "Revised Properties and Dynamical History for the HD 17156 System", Astron. J., 165(6):252. doi: 10.3847/1538-3881/acd17a.

Kirby, E. N., Xie, J. L., Guo, R., et al., 2018, "Catalog of Chromium, Cobalt, and Nickel Abundances in Globular Clusters and Dwarf Galaxies", Astrophys. J. Suppl., 237(1):18. doi: 10.3847/1538-4365/aac952.

Kobayashi, C., 2025, "Nucleosynthesis and the chemical enrichment of galaxies", *arXiv e-prints*, art. arXiv:2506.20436. doi: 10.48550/arXiv.2506.20436.

Kobayashi, C., Umeda, H., Nomoto, K., et al., 2006, "Galactic Chemical Evolution: Carbon through Zinc", Astrophys. J., v. 653, n. 2 (dez.), pp. 1145–1171. doi: 10.1086/508914.

Koch, D. G., Borucki, W. J., Basri, G., et al., 2010, "Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science", Astrophys. J. Lett., v. 713, n. 2 (abr.), pp. L79–L86. doi: 10.1088/2041-8205/713/2/L79.

Konopacky, Q. M., Barman, T. S., Macintosh, B. A., et al., 2013, "Detection of Carbon Monoxide and Water Absorption Lines in an Exoplanet Atmosphere", *Science*, v. 339, n. 6126 (mar.), pp. 1398–1401. doi: 10.1126/science.1232003.

Kosiarek, M. R., Blunt, S., López-Morales, M., et al., 2019, "K2-291b: A Rocky Super-Earth in a 2.2 day Orbit", Astron. J., 157(3):116. doi: 10.3847/1538-3881/aafe83.

Krenn, A. F., Kubyshkina, D., Fossati, L., et al., 2024, "Characterisation of the TOI-421 planetary system using CHEOPS, TESS, and archival radial velocity data", Astron. Astrophys., 686:A301. doi: 10.1051/0004-6361/202348584.

Krijt, S., Kama, M., McClure, M., et al., 2022, "Chemical Habitability: Supply and Retention of Life's Essential Elements During Planet Formation", *arXiv e-prints*, art. arXiv:2203.10056.

Kruse, E., Agol, E., Luger, R., et al., 2019, "Detection of Hundreds of New Planet Candidates and Eclipsing Binaries in K2 Campaigns 0-8", Astrophys. J. Suppl., 244(1):11. doi: 10.3847/1538-4365/ab346b.

Kuhn, R. B., Rodriguez, J. E., Collins, K. A., et al., 2016, "KELT-10b: the first transiting exoplanet from the KELT-South survey - a hot sub-Jupiter transiting a V = 10.7 early G-star", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 459, n. 4 (jul.), pp. 4281–4298. doi: 10.1093/mnras/stw880.

Kurucz, R. L., Furenlid, I., Brault, J., et al., 1984, *Solar flux atlas from 296 to 1300 nm.*

Lambert, D. L., 1978, "The abundances of the elements in the solar photosphere - VIII. Revised abundances of carbon, nitrogen and oxygen." Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 182 (jan.), pp. 249–272. doi: 10.1093/mnras/182.2.249.

Leemker, M., Facchini, S., Curone, P., et al., 2026, "Zooming into the water snow line: High-resolution water observations of the HL Tau disk", Astron. Astrophys., 705:A193. doi: 10.1051/0004-6361/202557609.

Li, C., Allison, M., Atreya, S., et al., 2024, "Super-adiabatic temperature gradient at Jupiter's equatorial zone and implications for the water abundance", Icarus, 414:116028. doi: 10.1016/j.icarus.2024.116028.

Lillo-Box, J., Lopez, T. A., Santerne, A., et al., 2020, "Masses for the seven planets in K2-32 and K2-233. Four diverse planets in resonant chain and the first young rocky worlds", Astron. Astrophys., 640:A48. doi: 10.1051/0004-6361/202037896.

Limongi, M., Chieffi, A., 2003, "Massive stars: presupernova evolution and explosive nucleosynthesis", *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi*, v. 3 (jan.), pp. 58.

Livingston, J. H., Endl, M., Dai, F., et al., 2018, "44 Validated Planets from K2 Campaign 10", Astron. J., 156(2):78. doi: 10.3847/1538-3881/aaccde.

Livingston, J. H., Gandolfi, D., Trani, A. A., et al., 2024, "An ultra-short-period super-Earth with an extremely high density and an outer companion", *Scientific Reports*, 14(1):27219. doi: 10.1038/s41598-024-76490-y.

Loaiza-Tacuri, V., Cunha, K., Smith, V. V., et al., 2024, "Stellar Characterization and a Chromospheric Activity Analysis of a K2 Sample of Planet-hosting Stars", Astrophys. J., 970(1):53. doi: 10.3847/1538-4357/ad4b15.

Loaiza-Tacuri, V., Souto, D., Quispe-Huaynasi, F., et al., 2025, "Stellar Characterization, Magnesium Abundances, and Chromospheric Activity Analysis of Stars with Confirmed Exoplanets from the K2 Mission", Astrophys. J. Suppl., 281(2):61. doi: 10.3847/1538-4365/ae14f9.

Lockley, I. S., Armstrong, D. J., Fernández Fernández, J., et al., 2025, "The TOI-1117 multiplanetary system: 3 sub-Neptunes, 1 in both the Neptunian Desert and Radius Valley", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 541, n. 2 (ago.), pp. 919–938. doi: 10.1093/mnras/staf939.

Lodders, K., Bergemann, M., Palme, H., 2025, "Solar System Elemental Abundances from the Solar Photosphere and CI-Chondrites", Space Sci. Rev., 221(2):23. doi: 10.1007/s11214-025-01146-w.

Lodders, K., 2003, "Solar System Abundances and Condensation Temperatures of the Elements", Astrophys. J., v. 591, n. 2 (jul.), pp. 1220–1247. doi: 10.1086/375492.

Lodders, K., 2004, "Jupiter Formed with More Tar than Ice", Astrophys. J., v. 611, n. 1 (ago.), pp. 587–597. doi: 10.1086/421970.

Lopez, T. A., Barros, S. C. C., Santerne, A., et al., 2019, "Exoplanet characterisation in the longest known resonant chain: the K2-138 system seen by HARPS", Astron. Astrophys., 631:A90. doi: 10.1051/0004-6361/201936267.

Luck, R. E., 2015, "Abundances in the Local Region. I. G and K Giants", Astron. J., 150(3):88. doi: 10.1088/0004-6256/150/3/88.

Luck, R. E., Heiter, U., 2005, "Stars within 15 Parsecs: Abundances for a Northern Sample", Astron. J., v. 129, n. 2 (fev.), pp. 1063–1083. doi: 10.1086/427250.

Luck, R. E., Heiter, U., 2006, "Dwarfs in the Local Region", Astron. J., v. 131, n. 6 (jun.), pp. 3069–3092. doi: 10.1086/504080.

Maciejewski, G., Ohlert, J., Dimitrov, D., et al., 2014, "Revisiting Parameters for the WASP-1 Planetary System", Acta Astron., v. 64, n. 1 (mar.), pp. 11–26. doi: 10.48550/arXiv.1402.6518.

Maciejewski, G., Golonka, J., Łoboda, W., et al., 2023, "A hot super-Earth planet in the WASP-84 planetary system", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 525, n. 1 (out.), pp. L43–L49. doi: 10.1093/mnrasl/slad078.

Madhusudhan, N., 2012, "C/O Ratio as a Dimension for Characterizing Exoplanetary Atmospheres", Astrophys. J., 758(1):36. doi: 10.1088/0004-637X/758/1/36.

Madhusudhan, N., 2019, "Exoplanetary Atmospheres: Key Insights, Challenges, and Prospects", Ann. Rev. Astron. Astrohys., v. 57 (ago.), pp. 617–663. doi: 10.1146/annurev-astro-081817-051846.

Magrini, L., Danielski, C., Bossini, D., et al., 2022, "Ariel stellar characterisation. I. Homogeneous stellar parameters of 187 FGK planet host stars: Description and validation of the method", Astron. Astrophys., 663:A161. doi: 10.1051/0004-6361/202243405.

Majewski, S. R., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P. M., et al., 2017, "The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE)", Astron. J., 154(3): 94. doi: 10.3847/1538-3881/aa784d.

Malherbe, J.-M., 2024, "A compilation of solar atlases (from Delbouille, Kurucz, Gandorfer, Stenflo) at disk centre and at limb from λ 3000 Å to λ 8800 Å", *arXiv e-prints*, art. arXiv:2404.16902. doi: 10.48550/arXiv.2404.16902.

Mancini, L., Kemmer, J., Southworth, J., et al., 2016, "An optical transmission spectrum of the giant planet WASP-36 b", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 459, n. 2 (jun.), pp. 1393–1402. doi: 10.1093/mnras/stw659.

Mancini, L., Esposito, M., Covino, E., et al., 2018, "The GAPS programme with HARPS-N at TNG. XVI. Measurement of the Rossiter-McLaughlin effect of transiting planetary systems HAT-P-3, HAT-P-12, HAT-P-22, WASP-39, and WASP-60", Astron. Astrophys., 613:A41. doi: 10.1051/0004-6361/201732234.

Manni, F., Naponiello, L., Mancini, L., et al., 2025, "The Hot Neptune Initiative (HONEI): II. TOI-5795 b: A hot super-Neptune orbiting a metal-poor star", Astron. Astrophys., 701:A230. doi: 10.1051/0004-6361/202556081.

Mantovan, G., Malavolta, L., Desidera, S., et al., 2024a, "The GAPS programme at TNG. XLIX. TOI-5398, the youngest compact multi-planet system composed of an inner sub-Neptune and an outer warm Saturn", Astron. Astrophys., 682: A129. doi: 10.1051/0004-6361/202347472.

Mantovan, G., Wilson, T. G., Borsato, L., et al., 2024b, "The inflated, eccentric warm Jupiter TOI-4914 b orbiting a metal-poor star, and the hot Jupiters TOI-2714 b and TOI-2981 b", Astron. Astrophys., 691:A67. doi: 10.1051/0004-6361/202451841.

Martinez, C. F., Cunha, K., Ghezzi, L., et al., 2019, "A Spectroscopic Analysis of the California-Kepler Survey Sample. I. Stellar Parameters, Planetary Radii, and a Slope in the Radius Gap", Astrophys. J., 875(1):29. doi: 10.3847/1538-4357/ab0d93.

Mathur, D., Becker, J., 2025, "Investigating the Formation of Planets Interior to In Situ Hot Jupiters", Publ. Astron. Soc. Pacific, 137(11):114402. doi: 10.1088/1538-3873/ae135a.

Matrozis, E., Ryde, N., Dupree, A. K., 2013, "Galactic chemical evolution of sulphur. Sulphur abundances from the [S i] λ1082 nm line in giants", Astron. Astrophys., 559:A115. doi: 10.1051/0004-6361/201322317.

Matsuno, T., Starkenburg, E., Balbinot, E., et al., 2024, "Improving metallicity estimates for very metal-poor stars in the Gaia DR3 GSP-Spec catalog", Astron. Astrophys., 685:A59. doi: 10.1051/0004-6361/202245762.

Matteucci, F., 2016, "Introduction to Galactic Chemical Evolution". In: *Journal of Physics Conference Series*, v. 703, *Journal of Physics Conference Series*, p. 012004, abr. doi: 10.1088/1742-6596/703/1/012004.

Maxted, P. F. L., Anderson, D. R., Collier Cameron, A., et al., 2016, "Five transiting hot Jupiters discovered using WASP-South, Euler, and TRAPPIST: WASP-119 b, WASP-124 b, WASP-126 b, WASP-129 b, and WASP-133 b", Astron. Astrophys., 591:A55. doi: 10.1051/0004-6361/201628250.

Mayor, M., Pepe, F., Queloz, D., et al., 2003, "Setting New Standards with HARPS", *The Messenger*, v. 114 (dez.), pp. 20–24.

Mayor, M., Queloz, D., 1995, "A Jupiter-mass companion to a solar-type star", Nature, v. 378, n. 6555 (nov.), pp. 355–359. doi: 10.1038/378355a0.

McGruder, C. D., López-Morales, M., Brahm, R., et al., 2023, "The Similar Seven: A Set of Very Alike Exoplanets to Test Correlations between System Parameters and Atmospheric Properties", Astrophys. J. Lett., 944(2):L56. doi: 10.3847/2041-8213/acb154.

McQuillan, A., Mazeh, T., Aigrain, S., 2013, "Stellar Rotation Periods of the Kepler Objects of Interest: A Dearth of Close-in Planets around Fast Rotators", Astrophys. J. Lett., 775(1):L11. doi: 10.1088/2041-8205/775/1/L11.

Meléndez, J., Shchukina, N. G., Vasiljeva, I. E., et al., 2006, "Permitted Oxygen Abundances and the Temperature Scale of Metal-poor Turnoff Stars", Astrophys. J., v. 642, n. 2 (maio), pp. 1082–1097. doi: 10.1086/501158.

Méndez, A., Rivera-Valentín, E. G., Schulze-Makuch, D., et al., 2021, "Habitability Models for Astrobiology", *Astrobiology*, v. 21, n. 8 (ago.), pp. 1017–1027. doi: 10.1089/ast.2020.2342.

Mills, S. M., Howard, A. W., Weiss, L. M., et al., 2019, "Long-period Giant Companions to Three Compact, Multiplanet Systems", Astron. J., 157(4):145. doi: 10.3847/1538-3881/ab0899.

Mishurov, Y. N., Tkachenko, R. V., 2019, "On the radial iron distribution in the Galactic disc", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 485, n. 2 (maio), pp. 2225–2234. doi: 10.1093/mnras/stz526.

Moore, C. E., 1945, "A Multiplet Table of Astrophysical Interest. Revised Edition. Part I - Table of Multiplets", *Contributions from the Princeton University Observatory*, v. 20 (jan.), pp. 1–110.

Moore, C. E., Minnaert, M. G. J., Houtgast, J., 1966, *The solar spectrum 2935 A to 8770 A.*

Morgan, M., Bowler, B. P., Tran, Q. H., 2026, "Exploring Warm Jupiter Migration Pathways with Eccentricities. II. Correlations with Host Star Properties and Orbital Separation", Astron. J., 171(1):19. doi: 10.3847/1538-3881/ae0e16.

Mortier, A., Santos, N. C., Sousa, S. G., et al., 2013, "New and updated stellar parameters for 71 evolved planet hosts. On the metallicity-giant planet connection", Astron. Astrophys., 557:A70. doi: 10.1051/0004-6361/201321641.

Moses, J. I., Madhusudhan, N., Visscher, C., et al., 2013, "Chemical Consequences of the C/O Ratio on Hot Jupiters: Examples from WASP-12b, CoRoT-2b, XO-1b, and HD 189733b", Astrophys. J., 763(1):25. doi: 10.1088/0004-637X/763/1/25.

Moutou, C., Bruntt, H., Guillot, T., et al., 2008, "Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. V. CoRoT-Exo-4b: stellar and planetary parameters", Astron. Astrophys., v. 488, n. 2 (set.), pp. L47–L50. doi: 10.1051/0004-6361:200810273.

Mulders, G. D., Pascucci, I., Apai, D., et al., 2016, "A Super-solar Metallicity for Stars with Hot Rocky Exoplanets", Astron. J., 152(6):187. doi: 10.3847/0004-6256/152/6/187.

Mullally, F., Coughlin, J. L., Thompson, S. E., et al., 2015, "Planetary Candidates Observed by Kepler. VI. Planet Sample from Q1–Q16 (47 Months)", Astrophys. J. Suppl., 217(2):31. doi: 10.1088/0067-0049/217/2/31.

Muresan, A., Persson, C. M., Fridlund, M., 2026, "Diversities and similarities exhibited by multi-planetary systems and their architectures: II. Radii of singles and multis", Astron. Astrophys., 707:A355. doi: 10.1051/0004-6361/202557468.

Murgas, F., Nowak, G., Masseron, T., et al., 2022, "HD 20329b: An ultra-short-period planet around a solar-type star found by TESS", Astron. Astrophys., 668:A158. doi: 10.1051/0004-6361/202244459.

Murphy, M. M., Beatty, T. G., Welbanks, L., et al., 2025, "HST Transmission Spectra of the Hot Neptune HD 219666 b: Detection of Water and the Challenge of Constraining Both Water and Methane", Astron. J., 169(6):286. doi: 10.3847/1538-3881/adc684.

Nabbie, E., Huang, C. X., Burt, J. A., et al., 2024, "Surviving in the Hot-Neptune Desert: The Discovery of the Ultrahot Neptune TOI-3261b", Astron. J., 168 (3):132. doi: 10.3847/1538-3881/ad60be.

NASA Exoplanet Archive, 2025. "Planetary Systems". Disponível em: <https://catcopy.ipac.caltech.edu/dois/doi.php?id=10.26133/NEA12>.

Nascimbeni, V., Borsato, L., Zingales, T., et al., 2023, "A new dynamical modeling of the WASP-47 system with CHEOPS observations", Astron. Astrophys., 673: A42. doi: 10.1051/0004-6361/202245486.

Nicholson, B. A., Aigrain, S., Eisner, N. L., et al., 2024, "HD152843 b & c: the masses and orbital periods of a sub-Neptune and a superpuff Neptune", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 532, n. 4 (ago.), pp. 4632–4644. doi: 10.1093/mnras/stae1821.

Nielsen, L. D., Bouchy, F., Turner, O. D., et al., 2019, "WASP-169, WASP-171, WASP-175, and WASP-182: three hot Jupiters and one bloated sub-Saturn mass planet discovered by WASP-South", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 489, n. 2 (out.), pp. 2478–2487. doi: 10.1093/mnras/stz2351.

Nielsen, L. D., Gandolfi, D., Armstrong, D. J., et al., 2020, "Mass determinations of the three mini-Neptunes transiting TOI-125", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 492, n. 4 (mar.), pp. 5399–5412. doi: 10.1093/mnras/staa197.

Nikolov, N., Sing, D. K., Pont, F., et al., 2014, "Hubble Space Telescope hot Jupiter transmission spectral survey: a detection of Na and strong optical absorption in HAT-P-1b", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 437, n. 1 (jan.), pp. 46–66. doi: 10.1093/mnras/stt1859.

Nissen, P. E., 2013, "The carbon-to-oxygen ratio in stars with planets", Astron. Astrophys., 552:A73. doi: 10.1051/0004-6361/201321234.

Noguer, F. R., Corley, S., Pearson, K. A., et al., 2024, "Enhancing Exoplanet Ephemerides by Leveraging Professional and Citizen Science Data: A Test Case with WASP-77 A b", Publ. Astron. Soc. Pacific, 136(6):064401. doi: 10.1088/1538-3873/ad57f5.

Öberg, K. I., Murray-Clay, R., Bergin, E. A., 2011, "The Effects of Snowlines on C/O in Planetary Atmospheres", Astrophys. J. Lett., 743(1):L16. doi: 10.1088/2041-8205/743/1/L16.

Ohno, K., Fortney, J. J., 2023, "Nitrogen as a Tracer of Giant Planet Formation. II. Comprehensive Study of Nitrogen Photochemistry and Implications for Observing NH_3 and HCN in Transmission and Emission Spectra", Astrophys. J., 956 (2):125. doi: 10.3847/1538-4357/ace531.

Orell-Miquel, J., Nowak, G., Murgas, F., et al., 2023, "HD 191939 revisited: New and refined planet mass determinations, and a new planet in the habitable zone", Astron. Astrophys., 669:A40. doi: 10.1051/0004-6361/202244120.

Osborn, A., Armstrong, D. J., Fernández Fernández, J., et al., 2023, "TOI-332 b: a super dense Neptune found deep within the Neptunian desert", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 526, n. 1 (nov.), pp. 548–566. doi: 10.1093/mnras/stad2575.

Osborn, H. P., Armstrong, D. J., Adibekyan, V., et al., 2021, "A hot mini-Neptune in the radius valley orbiting solar analogue HD 110113", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 502, n. 4 (abr.), pp. 4842–4857. doi: 10.1093/mnras/stab182.

Otegi, J. F., Bouchy, F., Helled, R., et al., 2021, "TESS and HARPS reveal two sub-Neptunes around TOI 1062", Astron. Astrophys., 653:A105. doi: 10.1051/0004-6361/202040247.

Pacetti, E., Turrini, D., Schisano, E., et al., 2022, "Chemical Diversity in Protoplanetary Disks and Its Impact on the Formation History of Giant Planets", Astrophys. J., 937(1):36. doi: 10.3847/1538-4357/ac8b11.

Palle, E., Nowak, G., Luque, R., et al., 2019, "Detection and Doppler monitoring of K2-285 (EPIC 246471491), a system of four transiting planets smaller than Neptune", Astron. Astrophys., 623:A41. doi: 10.1051/0004-6361/201834001.

Pan, M., Liu, B., Jiang, L., et al., 2025, "Dependence of Planet Populations on Stellar Mass and Metallicity: A Pebble-accretion-based Planet Population Synthesis Model", Astrophys. J., 985(1):7. doi: 10.3847/1538-4357/adc7a9.

Perdigon, J., de Laverny, P., Recio-Blanco, A., et al., 2021, "The AMBRE Project: Origin and evolution of sulfur in the Milky Way", Astron. Astrophys., 647: A162. doi: 10.1051/0004-6361/202040147.

Persson, C. M., Georgieva, I. Y., Gandolfi, D., et al., 2022, "TOI-2196 b: Rare planet in the hot Neptune desert transiting a G-type star", Astron. Astrophys., 666: A184. doi: 10.1051/0004-6361/202244118.

Petigura, E. A., Howard, A. W., Marcy, G. W., et al., 2017, "The California-Kepler Survey. I. High-resolution Spectroscopy of 1305 Stars Hosting Kepler Transiting Planets", Astron. J., 154(3):107. doi: 10.3847/1538-3881/aa80dc.

Petigura, E. A., Crossfield, I. J. M., Isaacson, H., et al., 2018a, "Planet Candidates from K2 Campaigns 5-8 and Follow-up Optical Spectroscopy", Astron. J., 155(1):21. doi: 10.3847/1538-3881/aa9b83.

Petigura, E. A., Marcy, G. W., Winn, J. N., et al., 2018b, "The California-Kepler Survey. IV. Metal-rich Stars Host a Greater Diversity of Planets", Astron. J., 155(2): 89. doi: 10.3847/1538-3881/aaa54c.

Petigura, E. A., Livingston, J., Batygin, K., et al., 2020, "K2-19b and c are in a 3:2 Commensurability but out of Resonance: A Challenge to Planet Assembly by Convergent Migration", Astron. J., 159(1):2. doi: 10.3847/1538-3881/ab5220.

Plotnikova, A., Spina, L., Ratcliffe, B., et al., 2024, "The chemical evolution of the Milky Way thin disk using solar twins", Astron. Astrophys., 691:A298. doi: 10.1051/0004-6361/202451167.

Polanski, A. S., Lubin, J., Beard, C., et al., 2024, "The TESS-Keck Survey. XX. 15 New TESS Planets and a Uniform RV Analysis of All Survey Targets", Astrophys. J. Suppl., 272(2):32. doi: 10.3847/1538-4365/ad4484.

Pollack, J. B., Hubickyj, O., Bodenheimer, P., et al., 1996, "Formation of the Giant Planets by Concurrent Accretion of Solids and Gas", Icarus, v. 124, n. 1 (nov.), pp. 62–85. doi: 10.1006/icar.1996.0190.

Polman, J., Waters, L. B. F. M., Min, M., et al., 2023, "H_2S and SO_2 detectability in hot Jupiters. Sulphur species as indicators of metallicity and C/O ratio", Astron. Astrophys., 670:A161. doi: 10.1051/0004-6361/202244647.

Pope, B. J. S., Parviainen, H., Aigrain, S., 2016, "Transiting exoplanet candidates from K2 Campaigns 5 and 6", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 461, n. 4 (out.), pp. 3399–3409. doi: 10.1093/mnras/stw1373.

Psaridi, A., Bouchy, F., Lendl, M., et al., 2023, "Three Saturn-mass planets transiting F-type stars revealed with TESS and HARPS: TOI-615b, TOI-622b, and TOI-2641b", Astron. Astrophys., 675:A39. doi: 10.1051/0004-6361/202346406.

Queiroz, A. B. A., Anders, F., Santiago, B. X., et al., 2018, "StarHorse: a Bayesian tool for determining stellar masses, ages, distances, and extinctions for field stars", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 476, n. 2 (maio), pp. 2556–2583. doi: 10.1093/mnras/sty330.

Ramírez, I., Meléndez, J., Bean, J., et al., 2014, "The Solar Twin Planet Search. I. Fundamental parameters of the stellar sample", Astron. Astrophys., 572:A48. doi: 10.1051/0004-6361/201424244.

Rauer, H., Queloz, D., Csizmadia, S., et al., 2009, "Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. VII. The "hot-Jupiter"-type planet CoRoT-5b", Astron. Astrophys., v. 506, n. 1 (out.), pp. 281–286. doi: 10.1051/0004-6361/200911902.

Rice, M., Wang, X.-Y., Wang, S., et al., 2023, "Evidence for Low-level Dynamical Excitation in Near-resonant Exoplanet Systems", Astron. J., 166(6):266. doi: 10.3847/1538-3881/ad09de.

Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., et al., 2015, "Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)", *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1:014003. doi: 10.1117/1.JATIS.1.1.014003.

Robinson, S. E., Laughlin, G., Bodenheimer, P., et al., 2006, "Silicon and Nickel Enrichment in Planet Host Stars: Observations and Implications for the Core Accretion Theory of Planet Formation", Astrophys. J., v. 643, n. 1 (maio), pp. 484–500. doi: 10.1086/502795.

Rodriguez, J. E., Quinn, S. N., Zhou, G., et al., 2021, "TESS Delivers Five New Hot Giant Planets Orbiting Bright Stars from the Full-frame Images", Astron. J., 161(4):194. doi: 10.3847/1538-3881/abe38a.

Rodríguez Martínez, R., Eastman, J. D., Collins, K. A., et al., 2025, "Discovery and Characterization of an Eccentric, Warm Saturn Transiting the Solar Analog TOI-4994", Astron. J., 169(2):72. doi: 10.3847/1538-3881/ad9b90.

Rosário, N. M., Demangeon, O. D. S., Barros, S. C. C., et al., 2024, "Precise characterisation of HD 15337 with CHEOPS: A laboratory for planet formation and evolution", Astron. Astrophys., 686:A282. doi: 10.1051/0004-6361/202347759.

Ryabchikova, T., Piskunov, N., Kurucz, R. L., et al., 2015, "A major upgrade of the VALD database", Phys. Scripta, 90(5):054005. doi: 10.1088/0031-8949/90/5/054005.

Santerne, A., Hébrard, G., Lillo-Box, J., et al., 2016, "K2-29 b/WASP-152 b: An Aligned and Inflated Hot Jupiter in a Young Visual Binary", Astrophys. J., 824(1):55. doi: 10.3847/0004-637X/824/1/55.

Schneider, A. D., Bitsch, B., 2021a, "How drifting and evaporating pebbles shape giant planets. I. Heavy element content and atmospheric C/O", Astron. Astrophys., 654:A71. doi: 10.1051/0004-6361/202039640.

Schneider, A. D., Bitsch, B., 2021b, "How drifting and evaporating pebbles shape giant planets. II. Volatiles and refractories in atmospheres", Astron. Astrophys., 654: A72. doi: 10.1051/0004-6361/202141096.

Schneider, A. D., Bitsch, B., 2022. "How drifting and evaporating pebbles shape giant planets (Corrigendum)". Astronomy & Astrophysics, Volume 659, id.C3, 3 pp., mar.

Schulte, J., Rodriguez, J. E., Latham, D. W., et al., 2025, "Migration and Evolution of giant ExoPlanets (MEEP). II. Super-Jupiters and Lithium-rich host stars", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 543, n. 1 (out.), pp. 292–313. doi: 10.1093/mnras/staf1455.

Seager, S., Mallén-Ornelas, G., 2003, "A Unique Solution of Planet and Star Parameters from an Extrasolar Planet Transit Light Curve", Astrophys. J., v. 585, n. 2 (mar.), pp. 1038–1055. doi: 10.1086/346105.

Seager, S., Richardson, L. J., Hansen, B. M. S., et al., 2005, "On the Dayside Thermal Emission of Hot Jupiters", Astrophys. J., v. 632, n. 2 (out.), pp. 1122–1131. doi: 10.1086/444411.

Seidel, J. V., Lendl, M., Bourrier, V., et al., 2020, "Hot Exoplanet Atmospheres Resolved with Transit Spectroscopy (HEARTS). VI. Non-detection of sodium with HARPS on the bloated super-Neptune WASP-127b", Astron. Astrophys., 643: A45. doi: 10.1051/0004-6361/202039058.

Sha, L., Huang, C. X., Shporer, A., et al., 2021, "TOI-954 b and K2-329 b: Short-period Saturn-mass Planets that Test whether Irradiation Leads to Inflation", Astron. J., 161(2):82. doi: 10.3847/1538-3881/abd187.

Sha, L., Vanderburg, A. M., Huang, C. X., et al., 2023, "TESS spots a mini-neptune interior to a hot saturn in the TOI-2000 system", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 524, n. 1 (set.), pp. 1113–1138. doi: 10.1093/mnras/stad1666.

Sharma, A., Stonkutė, E., Drazdauska, A., et al., 2024, "Chemical composition of planetary hosts: C, N, and α-element abundances", Astron. Astrophys., 691:A160. doi: 10.1051/0004-6361/202451889.

Shaw, D. E., Weiss, L. M., Agol, E., et al., 2025, "Updated Masses for the Gas Giants in the Eight-planet Kepler-90 System Via Transit-timing Variation and Radial Velocity Observations", Astron. J., 170(3):146. doi: 10.3847/1538-3881/ade67b.

Shields, A. L., 2019, "The Climates of Other Worlds: A Review of the Emerging Field of Exoplanet Climatology", Astrophys. J. Suppl., 243(2):30. doi: 10.3847/1538-4365/ab2fe7.

Smith, A. M. S., 2015, "The Properties of XO-5b and WASP-82b Redetermined Using New High-Precision Transit Photometry and Global Data Analyses", Acta Astron., v. 65 (mar.), pp. 117. doi: 10.48550/arXiv.1412.0451.

Smith, A. M. S., Acton, J. S., Anderson, D. R., et al., 2021, "NGTS-14Ab: a Neptune-sized transiting planet in the desert", Astron. Astrophys., 646:A183. doi: 10.1051/0004-6361/202039712.

Sneden, C. A., 1973, *Carbon and Nitrogen Abundances in Metal-Poor Stars.* Tese de Doutorado, University of Texas, Austin, jan.

Soubiran, C., Brouillet, N., Casamiquela, L., 2022, "Assessment of [Fe/H] determinations for FGK stars in spectroscopic surveys", Astron. Astrophys., 663:A4. doi: 10.1051/0004-6361/202142409.

Soubiran, C., Le Campion, J.-F., Brouillet, N., et al., 2016, "The PASTEL catalogue: 2016 version", Astron. Astrophys., 591:A118. doi: 10.1051/0004-6361/201628497.

Sousa, S. G., Santos, N. C., Israelian, G., et al., 2007, "A new code for automatic determination of equivalent widths: Automatic Routine for line Equivalent widths in stellar Spectra (ARES)", Astron. Astrophys., v. 469, n. 2 (jul.), pp. 783–791. doi: 10.1051/0004-6361:20077288.

Sousa, S. G., Santos, N. C., Israelian, G., et al., 2011, "Spectroscopic stellar parameters for 582 FGK stars in the HARPS volume-limited sample. Revising the metallicity-planet correlation", Astron. Astrophys., 533:A141. doi: 10.1051/0004-6361/201117699.

Sousa, S. G., Santos, N. C., Adibekyan, V., et al., 2015, "ARES v2: new features and improved performance", Astron. Astrophys., 577:A67. doi: 10.1051/0004-6361/201425463.

Southworth, J., Mancini, L., Tregloan-Reed, J., et al., 2015, "Larger and faster: revised properties and a shorter orbital period for the WASP-57 planetary system from a pro-am collaboration", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 454, n. 3 (dez.), pp. 3094–3107. doi: 10.1093/mnras/stv2183.

Southworth, J., Tregloan-Reed, J., Andersen, M. I., et al., 2016, "High-precision photometry by telescope defocussing - VIII. WASP-22, WASP-41, WASP-42 and WASP-55", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 457, n. 4 (abr.), pp. 4205–4217. doi: 10.1093/mnras/stw279.

Sozzetti, A., Damasso, M., Bonomo, A. S., et al., 2021, "A sub-Neptune and a non-transiting Neptune-mass companion unveiled by ESPRESSO around the bright late-F dwarf HD 5278 (TOI-130)", Astron. Astrophys., 648:A75. doi: 10.1051/0004-6361/202040034.

Spite, M., Caffau, E., Andrievsky, S. M., et al., 2011, "First stars. XIV. Sulfur abundances in extremely metal-poor stars", Astron. Astrophys., 528:A9. doi: 10.1051/0004-6361/201015926.

Stassun, K. G., Collins, K. A., Gaudi, B. S., 2017, "Accurate Empirical Radii and Masses of Planets and Their Host Stars with Gaia Parallaxes", Astron. J., 153(3):136. doi: 10.3847/1538-3881/aa5df3.

Steffen, M., Prakapavičius, D., Caffau, E., et al., 2015, "The photospheric solar oxygen project. IV. 3D-NLTE investigation of the 777 nm triplet lines", Astron. Astrophys., 583:A57. doi: 10.1051/0004-6361/201526406.

Suárez-Andrés, L., Israelian, G., González Hernández, J. I., et al., 2018, "C/O vs. Mg/Si ratios in solar type stars: The HARPS sample", Astron. Astrophys., 614:A84. doi: 10.1051/0004-6361/201730743.

Takada-Hidai, M., Takeda, Y., Sato, S., et al., 2002, "Behavior of Sulfur Abundances in Metal-poor Giants and Dwarfs", Astrophys. J., v. 573, n. 2 (jul.), pp. 614–630. doi: 10.1086/340748.

Takeda, Y., Ohkubo, M., Sadakane, K., 2002, "Spectroscopic Determination of Atmospheric Parameters of Solar-Type Stars: Description of the Method and Application to the Sun", Publ. Astron. Soc. Japan, v. 54 (jun.), pp. 451–462. doi: 10.1093/pasj/54.3.451.

Takeda, Y., Omiya, M., Harakawa, H., et al., 2016, "Sulfur and zinc abundances of red giant stars†", Publ. Astron. Soc. Japan, 68(5):81. doi: 10.1093/pasj/psw071.

Tala Pinto, M., Jordán, A., Acuña, L., et al., 2025, "Three warm Jupiters orbiting TOI-6628, TOI-3837, and TOI-5027 and one sub-Saturn orbiting TOI-2328", Astron. Astrophys., 694:A268. doi: 10.1051/0004-6361/202452517.

Teske, J., Díaz, M. R., Luque, R., et al., 2020, "TESS Reveals a Short-period Sub-Neptune Sibling (HD 86226c) to a Known Long-period Giant Planet", Astron. J., 160(2):96. doi: 10.3847/1538-3881/ab9f95.

Teske, J. K., 2024, "The Star–Planet Composition Connection", Ann. Rev. Astron. Astrohys., v. 62, n. 1 (set.), pp. 333–368. doi: 10.1146/annurev-astro-071221-053007.

Teske, J. K., Schuler, S. C., Cunha, K., et al., 2013, "Carbon and Oxygen Abundances in the Hot Jupiter Exoplanet Host Star XO-2B and Its Binary Companion", Astrophys. J. Lett., 768(1):L12. doi: 10.1088/2041-8205/768/1/L12.

Teske, J. K., Cunha, K., Smith, V. V., et al., 2014, "C/O Ratios of Stars with Transiting Hot Jupiter Exoplanets", Astrophys. J., 788(1):39. doi: 10.1088/0004-637X/788/1/39.

Thiabaud, A., Marboeuf, U., Alibert, Y., et al., 2015a, "Gas composition of the main volatile elements in protoplanetary discs and its implication for planet formation", Astron. Astrophys., 574:A138. doi: 10.1051/0004-6361/201424868.

Thiabaud, A., Marboeuf, U., Alibert, Y., et al., 2015b, "Elemental ratios in stars vs planets", Astron. Astrophys., 580:A30. doi: 10.1051/0004-6361/201525963.

Thompson, S. E., Coughlin, J. L., Hoffman, K., et al., 2018, "Planetary Candidates Observed by Kepler. VIII. A Fully Automated Catalog with Measured Completeness and Reliability Based on Data Release 25", Astrophys. J. Suppl., 235 (2):38. doi: 10.3847/1538-4365/aab4f9.

Thygesen, E., Ranshaw, J. A., Rodriguez, J. E., et al., 2023, "The K2 and TESS Synergy. II. Revisiting 26 Systems in the TESS Primary Mission", Astron. J., 165(4):155. doi: 10.3847/1538-3881/acaf03.

Tody, D., 1986, "The IRAF Data Reduction and Analysis System". In: Crawford, D. L. (Ed.), *Instrumentation in astronomy VI*, v. 627, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, p. 733, jan. doi: 10.1117/12.968154.

Torres, G., Winn, J. N., Holman, M. J., 2008, "Improved Parameters for Extrasolar Transiting Planets", Astrophys. J., v. 677, n. 2 (abr.), pp. 1324–1342. doi: 10.1086/529429.

Tran, Q. H., Bowler, B. P., Endl, M., et al., 2022, "TOI-1670 b and c: An Inner Sub-Neptune with an Outer Warm Jupiter Unlikely to Have Originated from High-eccentricity Migration", Astron. J., 163(5):225. doi: 10.3847/1538-3881/ac5c4f.

Triaud, A. H. M. J., Queloz, D., Hellier, C., et al., 2011, "WASP-23b: a transiting hot Jupiter around a K dwarf and its Rossiter-McLaughlin effect", Astron. Astrophys., 531:A24. doi: 10.1051/0004-6361/201016367.

Triaud, A. H. M. J., Neveu-VanMalle, M., Lendl, M., et al., 2017, "Peculiar architectures for the WASP-53 and WASP-81 planet-hosting systems", Mon. Not, Roy. Astron. Soc., v. 467, n. 2 (maio), pp. 1714–1733. doi: 10.1093/mnras/stx154.

Turner, O. D., Anderson, D. R., Collier Cameron, A., et al., 2016, "WASP-120 b, WASP-122 b, AND WASP-123 b: Three Newly Discovered Planets from the WASP-South Survey", Publ. Astron. Soc. Pacific, v. 128, n. 964 (jun.), pp. 064401. doi: 10.1088/1538-3873/128/964/064401.

Turrini, D., Schisano, E., Fonte, S., et al., 2021, "Tracing the Formation History of Giant Planets in Protoplanetary Disks with Carbon, Oxygen, Nitrogen, and Sulfur", Astrophys. J., 909(1):40. doi: 10.3847/1538-4357/abd6e5.

Turtelboom, E. V., Weiss, L. M., Dressing, C. D., et al., 2022, "The TESS-Keck Survey. XI. Mass Measurements for Four Transiting Sub-Neptunes Orbiting K Dwarf TOI-1246", Astron. J., 163(6):293. doi: 10.3847/1538-3881/ac69e5.

Udry, S., Mayor, M., Benz, W., et al., 2006, "The HARPS search for southern extra-solar planets. V. A 14 Earth-masses planet orbiting HD 4308", Astron. Astrophys., v. 447, n. 1 (fev.), pp. 361–367. doi: 10.1051/0004-6361:20054084.

Ulmer-Moll, S., Lendl, M., Gill, S., et al., 2022, "Two long-period transiting exoplanets on eccentric orbits: NGTS-20 b (TOI-5152 b) and TOI-5153 b", Astron. Astrophys., 666:A46. doi: 10.1051/0004-6361/202243583.

Ulmer-Moll, S., Osborn, H. P., Tuson, A., et al., 2023, "TOI-5678b: A 48-day transiting Neptune-mass planet characterized with CHEOPS and HARPS", Astron. Astrophys., 674:A43. doi: 10.1051/0004-6361/202245478.

Valenti, J. A., Fischer, D. A., 2005, "Spectroscopic Properties of Cool Stars (SPOCS). I. 1040 F, G, and K Dwarfs from Keck, Lick, and AAT Planet Search Programs", Astrophys. J. Suppl., v. 159, n. 1 (jul.), pp. 141–166. doi: 10.1086/430500.

Vanderburg, A., Latham, D. W., Buchhave, L. A., et al., 2016, "Planetary Candidates from the First Year of the K2 Mission", Astrophys. J. Suppl., 222(1):14. doi: 10.3847/0067-0049/222/1/14.

Vanderburg, A., Huang, C. X., Rodriguez, J. E., et al., 2019, "TESS Spots a Compact System of Super-Earths around the Naked-eye Star HR 858", Astrophys. J. Lett., 881(1):L19. doi: 10.3847/2041-8213/ab322d.

Vivien, H. G., Hoyer, S., Deleuil, M., et al., 2024, "New ephemerides and detection of transit-timing variations in the K2-138 system using high-precision CHEOPS photometry", Astron. Astrophys., 688:A192. doi: 10.1051/0004-6361/202348013.

Vogt, S. S., Allen, S. L., Bigelow, B. C., et al., 1994, "HIRES: the high-resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m Telescope". In: Crawford, D. L., Craine, E. R. (Eds.), *Instrumentation in Astronomy VIII*, v. 2198, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, p. 362, jun. doi: 10.1117/12.176725.

Šubjak, J., Gandolfi, D., Goffo, E., et al., 2025, "TOI-2458 b: A mini-Neptune consistent with in situ hot Jupiter formation", Astron. Astrophys., 693:A235. doi: 10.1051/0004-6361/202451057.

Wallace, L., Hinkle, K. H., Livingston, W. C., et al., 2011, "An Optical and Near-infrared (2958-9250 Å) Solar Flux Atlas", Astrophys. J. Suppl., 195(1):6. doi: 10.1088/0067-0049/195/1/6.

Wanderley, F., Cunha, K., Souto, D., et al., 2025, "Metallicities of M Dwarf Planet Host Stars from Kepler, K2, and TESS Observed by APOGEE: Trends with Exoplanetary Radii and Orbital Periods", Astron. J., 170(3):177. doi: 10.3847/1538-3881/adef12.

Wang, J., Fischer, D. A., 2015, "Revealing a Universal Planet-Metallicity Correlation for Planets of Different Sizes Around Solar-type Stars", Astron. J., 149(1):14. doi: 10.1088/0004-6256/149/1/14.

Weiner Mansfield, M., Line, M. R., Wardenier, J. P., et al., 2024, "The Metallicity and Carbon-to-oxygen Ratio of the Ultrahot Jupiter WASP-76b from Gemini-S/IGRINS", Astron. J., 168(1):14. doi: 10.3847/1538-3881/ad4a5f.

Weiss, L. M., Marcy, G. W., Petigura, E. A., et al., 2018, "The California-Kepler Survey. V. Peas in a Pod: Planets in a Kepler Multi-planet System Are Similar in Size and Regularly Spaced", Astron. J., 155(1):48. doi: 10.3847/1538-3881/aa9ff6.

Wenger, M., Ochsenbein, F., Egret, D., et al., 2000, "The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects", Astron. Astrophys. Suppl., v. 143 (abr.), pp. 9–22. doi: 10.1051/aas:2000332.

Wilson, R. F., Teske, J., Majewski, S. R., et al., 2018, "Elemental Abundances of Kepler Objects of Interest in APOGEE. I. Two Distinct Orbital Period Regimes Inferred from Host Star Iron Abundances", Astron. J., 155(2):68. doi: 10.3847/1538-3881/aa9f27.

Wilson, R. F., Cañas, C. I., Majewski, S. R., et al., 2022, "The Influence of 10 Unique Chemical Elements in Shaping the Distribution of Kepler Planets", Astron. J., 163(3):128. doi: 10.3847/1538-3881/ac3a06.

Woosley, S. E., Weaver, T. A., 1995, "The Evolution and Explosion of Massive Stars. II. Explosive Hydrodynamics and Nucleosynthesis", Astrophys. J. Suppl., v. 101 (nov.), pp. 181. doi: 10.1086/192237.

Wright, J. T., Upadhyay, S., Marcy, G. W., et al., 2009, "Ten New and Updated Multiplanet Systems and a Survey of Exoplanetary Systems", Astrophys. J., v. 693, n. 2 (mar.), pp. 1084–1099. doi: 10.1088/0004-637X/693/2/1084.

Wright, J., Rice, M., Wang, X.-Y., et al., 2023, "SOLES. VII. The Spin-Orbit Alignment of WASP-106 b, a Warm Jupiter along the Kraft Break", Astron. J., 166(6): 217. doi: 10.3847/1538-3881/ad0131.

Xue, Q., Bean, J. L., Zhang, M., et al., 2024, "JWST Transmission Spectroscopy of HD 209458b: A Supersolar Metallicity, a Very Low C/O, and No Evidence of CH_4, HCN, or C_2H_2", Astrophys. J. Lett., 963(1):L5. doi: 10.3847/2041-8213/ad2682.

Yang, J., Hyder, A., Hu, R., et al., 2026, "Coupled 1D Chemical Kinetic Transport and 2D Hydrodynamic Modeling Supports a Modest 11.5× Supersolar Oxygen Abundance in Jupiter's Atmosphere", , 7(1):2. doi: 10.3847/PSJ/ae28d5.

Ye, X., Wu, W., Allende Prieto, C., et al., 2025, "Mapping the Milky Way with Gaia Bp/Rp spectra: I. Systematic flux corrections and atmospheric parameters for 68 million stars", Astron. Astrophys., 695:A75. doi: 10.1051/0004-6361/202452871.

Yee, S. W., Winn, J. N., Hartman, J. D., et al., 2022, "The TESS Grand Unified Hot Jupiter Survey. I. Ten TESS Planets", Astron. J., 164(2):70. doi: 10.3847/1538-3881/ac73ff.

Yee, S. W., Stefánsson, G., Thorngren, D., et al., 2025, "The Super-puff WASP-193 b is on a Well-aligned Orbit", Astron. J., 169(4):225. doi: 10.3847/1538-3881/adba5f.

Yu, L., Crossfield, I. J. M., Schlieder, J. E., et al., 2018, "Planetary Candidates from K2 Campaign 16", Astron. J., 156(1):22. doi: 10.3847/1538-3881/aac6e6.

Zhang, J., Huber, D., Weiss, L. M., et al., 2024, "A Testbed for Tidal Migration: The 3D Architecture of an Eccentric Hot Jupiter HD 118203 b Accompanied by a Possibly Aligned Outer Giant Planet", Astron. J., 168(6):295. doi: 10.3847/1538-3881/ad86c4.

Apêndice A

Pipelines Python

Todas as *pipelines* em Python desenvolvidas para este trabalho estão descritas de foma detalhada nesta seção.

A.1 Obtenção dos espectros

A.1.1 HARPS-Sul

Inicialmente, é necessário que o usuário interaja com o *site* do *archive* através deste *link*. A Figura A.1 apresenta a forma do *site* e contém regiões em destaque para guiar o usuário. O procedimento consiste em:

1. Clicar no botão "*Choose File*" (destacado em verde) para fazer o *upload* do arquivo de texto contendo as identificações das estrelas de interesse – neste caso, "lista_de_estrelas.txt";
2. Selecionar a opção "*spectrum*" (destacada em laranja);
3. Selecionar o instrumento "HARPS" (destacado em azul);
4. Selecionar a opção "*ascii csv/download*" (destacado em magenta);
5. Clicar no botão "*Search*" (destacado em vermelho).

Em seguida, o *download* de um arquivo chamado "lista_de_estrelas_eso.csv" será feito. Este arquivo contém os identificadores HARPS, relação sinal-ruído, coordenadas, intervalo de comprimento de onda, tempo de exposição e outras informações de cada espectro disponível publicamente. A partir deste ponto, é necessário colocar o arquivo da *pipeline* no mesmo diretório e ela pode ser utilizada (ver Código A.1).

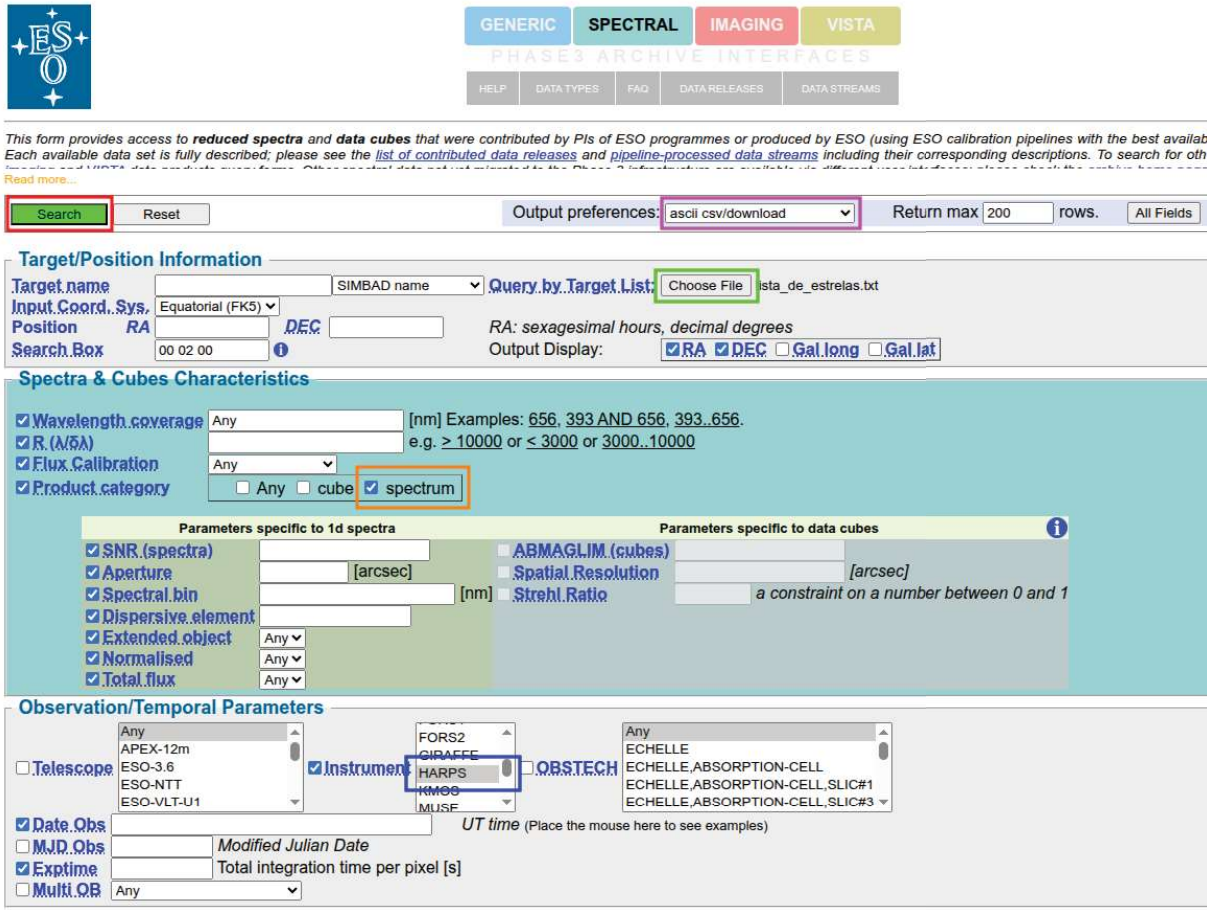


Figura A.1: Página *web* que disponibiliza os dados do HARPS-Sul.

```python
import os
import pandas as pd
from astropy.io import fits
from pyraf import iraf
iraf.noao()
iraf.onedspec()

# Criar diretorios para os dados
for folder in ['00_original', 'binary']:
    if folder not in os.listdir('.'): os.mkdir(folder)

eso = pd.read_csv(lista_de_estrelas_eso.csv, comment = '#')
eso = info[info['Object'].str.upper() != 'SUN']
eso = eso.rename(columns = {'Uploaded file input value': 'star', 'SNR (spectra)': 'SNR'})

nasa = pd.read_csv('PS_2025.09.12_08.55.39.csv', low_memory = False, comment = '#')
nasa = nasa[(pd.isna(nasa['ra']) == False) & (pd.isna(nasa['dec']) == False)]

```

```
stars = eso.drop_duplicates('star').reset_index(drop = True)['star']

for i in os.listdir('.'):
    if 'ADP.' in i: os.remove(i)

for s, star in enumerate(stars):

    if star.replace(' ', '') not in os.listdir('00_original'): print(s, star)

        if star.replace(' ', '') not in os.listdir('00_original'):
                os.mkdir('00_original/' + star.replace(' ', ''))

        temp = eso[eso['star'] == star].sort_values('SNR', ascending = False)

        # Coordenadas NASA Exoplanet Archive
        ra = nasa[nasa['hostname'] == star].reset_index(drop = True).loc[0, 'ra']
        dec = nasa[nasa['hostname'] == star].reset_index(drop = True).loc[0, 'dec']

        # Filtrando as coordenadas dos espectros
        temp = temp[(temp['RA'] > ra-0.02) & (temp['RA'] < ra+0.02) & (temp['DEC'] > dec-0.02) & (temp['DEC'] < dec+0.02)].reset_index(drop = True)

        if len(temp) != 0:

            for i, arcfile in enumerate(temp['ARCFILE']):

                if arcfile + '.fits' not in os.listdir('00_original/' + star.replace(' ', '')) and arcfile not in os.listdir('binary'):

                    # Baixando o espectro
                    os.system('wget https://dataportal.eso.org/dataportal_new/file/' + arcfile)

                    if arcfile in os.listdir('.'):

                        # Converter para txt
                        hdul = fits.open(arcfile)
                        hdr = hdul[1].data

                        f = open(arcfile + '.txt', 'w')
                        for i in range(len(hdr[0][0])):
                            f.write(str(hdr[0][0][i]) + '\t' + str(hdr[0][1][i]) + '\n')
```

```
58                          f.close()
59
60                          f = open(arcfile + '.txt', 'r').read()
61
62                          if len(f) != 0:
63
64                              os.system('mv ' + arcfile + ' binary/.')
65
66                              # Transformando arquivo txt em fits
67                              iraf.rspectext(input = arcfile + '.txt', output
    = '00_original/' + star.replace(' ', '') + '/' + arcfile + '.fits',
    dtype = 'interp')
68
69                          os.remove(arcfile + '.txt')
```

Código A.1: Conteúdo da *pipeline* responsável por baixar os espectros das estrelas hospedeiras do HARPS-Sul.

A.1.2 HARPS-Norte

Para baixar os espectros HARPS-Norte, é necessário interagir com a página *web* do *archive* do TNG (ver Figura A.2). O HARPS-Norte é totalmente automatizado (ver Código A.2) – diferente do HARPS-Sul (ver Apêndice A.1.1).

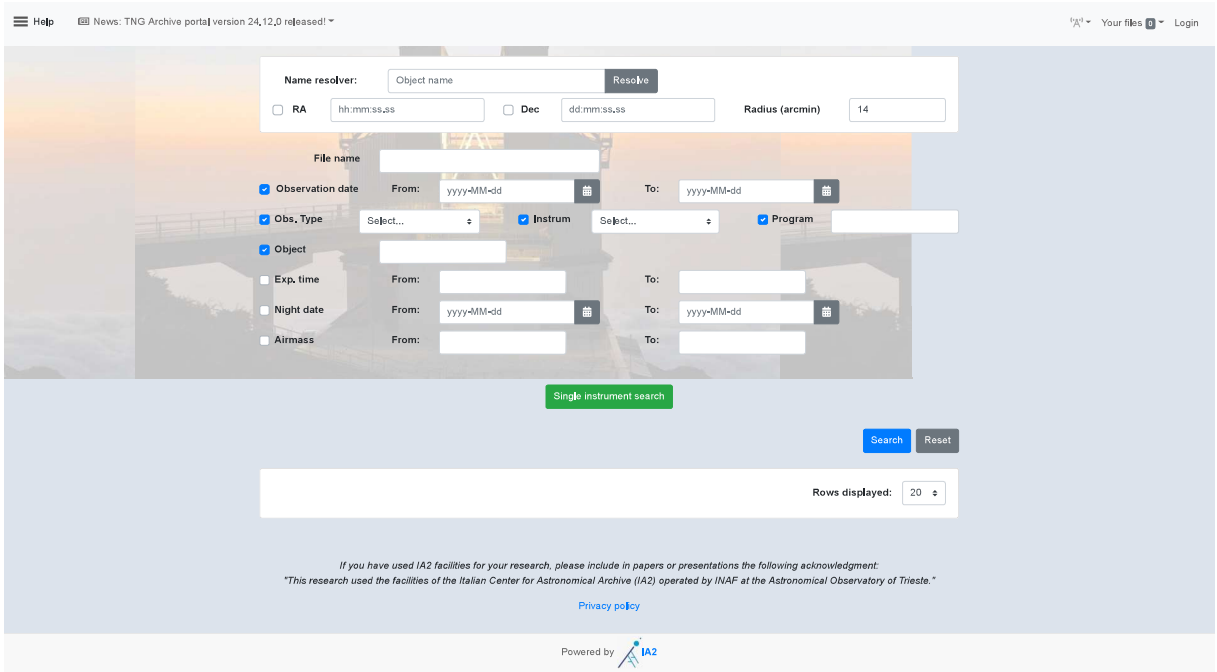


Figura A.2: Página *web* que disponibiliza os dados do HARPS-Norte.

```
import os
import time
import pandas as pd
from IPython.display import clear_output
from selenium import webdriver
from selenium.webdriver.chrome.service import Service
from webdriver_manager.chrome import ChromeDriverManager
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
from selenium.webdriver.support.ui import Select
from selenium.webdriver.common.by import By

# Funcao para transformar o conteudo da pagina em texto
def source_txt(driver):
    web = open('source.txt','w')
    web.write(driver.page_source)
    web.close()
    return(open('source.txt','r').read())

# Buscas que ultrapassam o limite de 30 s
def wait_for_page_load(driver, timeout = 30):
        old_page = driver.find_element_by_tag_name('html')
        yield
        WebDriverWait(driver, timeout).until(staleness_of(old_page))

# Lista de estrelas
df = pd.read_csv('lista_de_estrelas.txt', names = ['star'])

for folder in ['raw', '00_original']:
    if folder not in os.listdir('.'): os.mkdir(folder)

# Abrir site do TNG
driver = webdriver.Chrome(service=Service(ChromeDriverManager().install()))
driver.get('http://archives.ia2.inaf.it/tng/')
time.sleep(10)

txt_files = []

for s, star in enumerate(df['star']):

    # Data de hoje
    date = '2025-08-21-'

    Select(driver.find_element(By.ID, "__BVID__80")).select_by_visible_text
    ("HARPN")
    driver.find_element(By.ID, "__BVID__45").clear()
    driver.find_element(By.ID, "__BVID__45").send_keys('s1d_A')
    driver.find_element(By.ID, '__BVID__39').clear()
```

```
47      driver.find_element(By.ID, '__BVID__39').send_keys(star + '\n')
48
49      # Tempo para buscar a estrela
50      time.sleep(10)
51
52      # Verificar se a estrela foi encontrada
53      filedata = driver.page_source
54
55      if filedata.find('Object not found') != -1:
56
57          print(s, star + "s coordinates not found.")
58          w = open('results.txt', 'a+')
59          w.write(str(s) + ',' + star + ',no,0\n')
60          w.close()
61
62      else:
63
64          driver.find_element(By.ID, '__BVID__44').clear()
65          driver.find_element(By.ID, '__BVID__44').send_keys('2') # Raio de
    busca de 2 arcmin
66          driver.find_element(By.ID, "search-btn").click()
67
68          # Tempo para buscar os espectros
69          time.sleep(30)
70
71          filedata = driver.page_source
72
73          # Nenhum espectro encontrado
74          if 'Total results: 0' in filedata:
75
76              print(s, star + ' does not have spectra.')
77              w = open('results.txt', 'a+')
78              w.write(str(s) + ',' + star + ',no,0\n')
79              w.close()
80
81          # Espectros encontrados
82          else:
83
84              print(s, star + ' has spectra.')
85
86              driver.find_element(By.ID, 'download-dropdown').click()
87              time.sleep(1)
88              driver.find_element(By.ID, "create-csv").click()
89
90              filedata = driver.page_source
91
92             # Primeira rodada
```

```
93            if len(txt_files) == 0:
94
95                while date not in filedata:
96                    time.sleep(0.5)
97                    filedata = driver.page_source
98
99                filedata = filedata[filedata.find(date):]
100               txt_file = filedata[:filedata.find('.txt')+4] # Name of the
    txt file
101               txt_files.append(txt_file)
102
103           # Proximas rodadas
104           else:
105
106               while filedata.count(date) < (len(txt_files) + 1)*3:
107                   time.sleep(0.5)
108                   filedata = driver.page_source
109
110               filedata = filedata[filedata.find(date):]
111               txt_file = filedata[:filedata.find('.txt')+4]
112               txt_files.append(txt_file)
113
114           # Baixa o arquivo de texto contendo os links dos espectros
115           driver.find_element(By.ID, 'files-menu').click()
116           time.sleep(3)
117           driver.find_element(By.LINK_TEXT, txt_file).click()
118           # driver.find_element(By.ID, 'files-menu').click()
119
120           while txt_file not in os.listdir('/home/ecostalmeida/Downloads'
    ):
121               time.sleep(0.5)
122
123           # Abre arquivo de texto contendo os links dos espectros
124           links = pd.read_csv('/home/ecostalmeida/Downloads/' + txt_file)
125           links = links[links['policy'] == 'FREE'].reset_index(drop =
    True)
126
127           print(star + ' contains ' + str(len(links)) + ' spectra.')
128
129           w = open('results.txt', 'a+')
130           w.write(str(s) + ',' + star + ',yes,' + str(len(links)) + '\n')
131           w.close()
132
133           if len(links) != 0:
134
135               if star.replace(' ', '') not in os.listdir('raw'):
136                   os.system('mkdir raw/' + star.replace(' ', ''))
```

```
137
138                 if star.replace(' ', '') not in os.listdir('data'):
139                     os.system('mkdir 00_original/' + star.replace(' ', ''))
140
141                 # Baixa os espectros
142                 for link in links['file_url']:
143                     os.system('wget ' + link)
144                     time.sleep(5)
145                     clear_output(wait = False)
146
147                     os.system('gunzip ' + link[38:])
148                     os.system('cp ' + link[38:-3] + ' raw/' + star.replace(
    ' ', '') + '/' + link[38:-3])
149                     os.system('mv ' + link[38:-3] + ' 00_original/' + star.
    replace(' ', '') + '/' + link[38:-3])
150
151             os.system('rm /home/ecostalmeida/Downloads/' + txt_file)
```

Código A.2: Conteúdo da *pipeline* responsável por baixar os espectros das estrelas hospedeiras do HARPS-Norte.

A.2 Tratamento dos Espectros

A.2.1 Correção Doppler

Para que todos os espectros estejam no mesmo referencial heliocêntrico, é necessário corrigir as diferenças de velocidade devido ao movimento radial das estrelas. Para isso, utilizamos um espectro em repouso como referência. Neste trabalho, escolhemos o espectro solar Ceres da base do HARPS (ver Figura A.3). A tarefa `fxcor` do PyRAF se baseia nas linhas do espectro de referência e as compara com as linhas presentes no espectro observado. Assim, um $\Delta\lambda$ é calculado e, por transformação, um Δv é calculado – sendo este a velocidade relativa da estrela. Contudo, como nosso referencial está em repouso, a velocidade relativa é a própria velocidade radial da estrela. Neste trabalho, utilizamos o intervalo de comprimento de onda de 6040 Å – 6200 Å por ser uma região com a presença de linhas de intensidade moderada e, também, por não ter muitas contaminações telúricas. Para fazer tal comparação de linhas, é necessário que os dois espectros estejam normalizados na região de interesse. Portanto, a *pipeline* desenvolvida normaliza os espectros com a função `continuum`, aplica a função `fxcor` para determinar a velocidade relativa e, por fim, corrige a posição das linhas com a função `dopcor` (ver Código A.3).

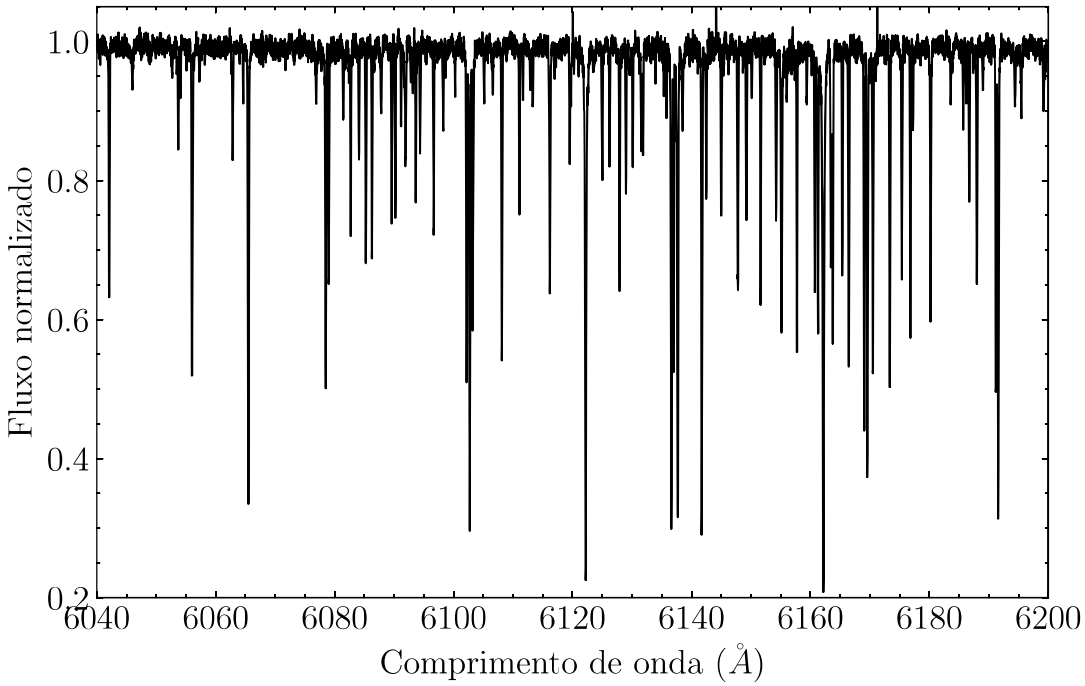


Figura A.3: Espectro solar Ceres 2009-08-02.

```
import os
import glob
import pandas as pd
from pyraf import iraf
iraf.noao()
iraf.onedspec()
iraf.rv()

# Diretorio para espectros pos correcao Doppler
if '01_rest' not in os.listdir('.'): os.mkdir('01_rest')

for i, star in enumerate(os.listdir('00_original')):

    for j, spectrum in enumerate(os.listdir('00_original/' + star)):

        if spectrum not in os.listdir('01_rest/' + star):

            if spectrum in os.listdir('.'): os.remove(spectrum)

            # Criando uma copia do espectro na regiao 6000 -- 6200 A
            iraf.scopy(input = '00_original/' + star + '/' + spectrum,
   output = 'temp.fits', w1 = 6000.0, w2 = 6200.0)
            iraf.continuum(input = 'temp.fits', output = spectrum, function
    = 'spline3', type = 'ratio', grow = 0, order = 5, low_reject = 1.,
   high_reject = 3., niterate = 10, interactive = 'no', lines = '*', bands
   = 1)
```

```
23              os.remove('temp.fits')
24
25 # Lista contendo todos os espectros
26 f = open('in', 'w')
27 f.write('\n'.join(glob.glob('ADP*.fits')) + '\n')
28 f.close()
29
30 # Trazendo o espectro solar em repouso para o diretorio
31 if 'sun.fits' not in os.listdir('.'): os.system('cp ' + files + 'sun.fits .
       ')
32
33 # Determinando as velocidades relativas dos espectros
34 iraf.fxcor(objects = '@in', templates = 'sun.fits', interactive = 'no',
       observatory = 'lasilla', output = 'fxcor_output', rsample = '*', osample
       = '6040:6200') # para HARPS-Norte, observatory = 'tng'
35
36 fx = pd.read_csv('fxcor_output.txt', names = ['ARCFILE', 'a', 'b', 'c', 'd'
       , 'e', 'f', 'g', 'h', 'i', 'VR', 'j', 'e_VR'], delim_whitespace = True,
       comment = '#')
37 os.remove('fxcor_output.gki')
38 os.remove('fxcor_output.log')
39
40
41 # Espectros com velocidade relativa calculadas
42 fx = fx[['ARCFILE', 'VR', 'e_VR']]
43 fx = fx[fx['VR'] != 'INDEF'].reset_index(drop = True)
44
45 for i, spectrum in enumerate(fx['ARCFILE']):
46
47     star = eso.loc[eso[eso['ARCFILE'] == spectrum[:-5]].index[0], 'star']
48     name = eso.loc[eso[eso['ARCFILE'] == spectrum[:-5]].index[0], 'name']
49
50     if star not in os.listdir('01_rest'): os.mkdir('01_rest/' + star)
51
52     if 'ADP' in spectrum: # para HARPS-Norte, 'HARPN'
53
54         VR = fx.loc[i, 'VR']
55
56         fx.loc[i, 'star'] = star
57         fx.loc[i, 'name'] = name
58
59         if spectrum in os.listdir('01_rest/' + star):
60
61             os.remove('01_rest/' + star + '/' + spectrum)
62
63         # Correcao Doppler
```

```
64          iraf.dopcor(input = '00_original/' + star + '/' + spectrum, output
    = '01_rest/' + star + '/' + spectrum, isvelocity = 'yes', redshift = VR)
65
66      os.remove(spectrum)
67
68  if 'logfile' in os.listdir('.'):
69      os.remove('logfile')
70
71  # Salvando velocidades relativas calculadas em arquivo csv
72  fx['ARCFILE'] = [i[:-5] for i in fx['ARCFILE']]
73  fx = fx[['star', 'name', 'ARCFILE', 'VR', 'e_VR']]
74  fx = fx.drop_duplicates('ARCFILE').reset_index(drop = True)
75  fx.to_csv('info.csv', index = False)
```

Código A.3: Normalização dos espectros entre 6040 Å – 6200 Å, cálculo das velocidades relativas e correções Doppler.

A.3 PARAM v1.3

Para a determinação dos parâmetros evolutivos, é necessário interagir com a página *web* (ver Figura A.4) do PARAM v1.3 (da Silva *et al.* 2006). Portanto, a interação foi totalmente automatizada através de uma *pipeline* escrita na linguagem Python (ver Código A.4). Para utilizá-la, é necessário ter no mesmo diretório um arquivo `csv` contendo os parâmetros de entrada temperatura efetiva, metalicidade, magnitude na banda V corrigida pela extinção do meio interestelar e paralaxe.

```
1  import time
2  import pandas as pd
3  from IPython.display import clear_output
4  from selenium import webdriver
5  from selenium.webdriver.chrome.service import Service
6  from webdriver_manager.chrome import ChromeDriverManager
7  from selenium.webdriver.common.keys import Keys
8  from selenium.webdriver.support.ui import Select
9  from selenium.webdriver.common.by import By
10
11 # Salva a pagina como um arquivo de texto
12 def source_txt(driver):
13     web = open('source.txt','w')
14     web.write(driver.page_source)
15     web.close()
16     return(open('source.txt','r').read())
17
18 # Pagina nao carregou
19 def wait_for_page_load(driver, timeout = 30):
```

PARAM 1.3 input form

A web interface for the Bayesian estimation of stellar parameters

See da Silva et al (2006) for details.

New: Version 1.3 released in May 8, 2013. Asteroseismology included.
New: Version 1.2 released in Apr 9, 2013. PARSEC tracks (with pre-main sequence) can now be used.

Help FAQ History

Submit Reset

Stellar observables

Enter with the stellar observed parameters together with their 1σ errors (here assumed to be Gaussian):

Name HD11977

T_{eff}= 4975 ± 70 K, [Fe/H]= -0.21 ± 0.05 dex

Information available:

○ Star of known parallax, as in da Silva et al (2006), with V= 4.68 ± 0.05 mag, parallax= 15.04 ± 0.47 mas

◉ Star with asteroseismology, as in Miglio et al. (2013), with Δν= 1.08 ± 0.04 μHz, νmax= 7.20 ± 1.10 μHz, and evolutionary stage ◉ unknown ○ RGB ○ red clump

Evolutionary tracks

New: **PARSEC** isochrones from Bressan et al. (2012), with scaled-solar composition and following the Y=0.2485+1.78Z relation. The solar metal content is $Z\odot$=0.0152. They include the pre-main sequence phase.

◉ PARSEC version 1.1: available for 0.0001≤Z≤0.06 (-2.2≤[M/H]≤+0.5), in the range 0.1≤$M/M\odot$<12. With revised diffusion+overshooting in low-mass stars, and improvements in interpolation scheme.

Previous sets: The following isochrones are available for all 0.0001≤Z≤0.03, and ages from 0 to 17 Gyr, in the range 0.15≤$M/M\odot$<100. The solar metal content in this case is $Z\odot$=0.019.

○ Basic set of Girardi et al. (2002) : Girardi et al. (2000) + simplified TP-AGB (for M≤7$M\odot$) + Bertelli et al. (1994) (for M>7$M\odot$) + additional Z=0.0001 and Z=0.001 tracks.

Bayesian priors

IMF for single stars: Chabrier (2001) lognormal

Star Formation Rate: constant

in the age interval from 0.1e9 yr to 12.0e9 yr

Submit Reset

This service is mantained by Léo Girardi at the Osservatorio Astronomico di Padova.
Questions, comments and special requests should be directed to leo.girardi@oapd·inaf·it .
Last modified: Wed Jul 9 12:44:55 2025

Figura A.4: Página *web* do PARAM v1.3.

```
    old_page = driver.find_element_by_tag_name('html')
    yield
    WebDriverWait(driver, timeout).until(staleness_of(old_page))

driver = webdriver.Chrome(service=Service(ChromeDriverManager().install()))
driver.get('https://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/param_1.3')
time.sleep(1.5)

df = pd.read_csv('PARAM.csv')

names1 = ['teff', 'e_teff', 'feh', 'e_feh', 'V', 'e_V', 'parallax', '
    parallax_error'] # Parametros de entrada no arquivo PARAM.csv
names2 = ['teff', 'sigteff', 'feh', 'sigfeh', 'vmag', 'sigvmag', 'parallax'
    , 'sigparallax'] # Parametros de entrada, nome como esta no site

for i, star in enumerate(df['star']):

    print(i, star, 'em progresso.')

    for j in range(8):

        driver.find_element('name', 'star_' + names2[j]).clear()
        driver.find_element('name', 'star_' + names2[j]).send_keys(str(df.
    loc[i, names1[j]]))

    # Selecionar o metodo que usa paralaxe, nao asterosismologia
    driver.find_element('name', 'flag_sismo').click()

    # Enviar
    driver.find_element(By.CSS_SELECTOR, "div > input:nth-child(14)").click
    ()

    # Ver conteudo da pagina
    filedata = driver.page_source

    # Esperar a pagina carregar
    while 'Your job was submitted on' not in filedata:

        filedata = driver.page_source

    # Reenviar a solicitacao, parametros nao foram calculados
    while 'Age' not in filedata:

        driver.back()
        driver.find_element(By.CSS_SELECTOR, "div > input:nth-child(14)").
    click()
        filedata = driver.page_source
```

```
62
63          # Esperar a pagina carregar
64          while 'Your job was submitted on' not in filedata:
65              filedata = driver.page_source
66
67      # Salvar os parametros evolutivos em PARAM.csv
68      if 'nan ± nan' not in filedata:
69
70          char_i = ['Age=', 'Mass=', 'log<i>g</i>=', '<i>R</i>=', '(<i>B–V</i
    )<sub>0</sub>=']
71          char_f = ['Gyr', '<i>M</i>', '(cgs)', '(<i>B–V</i>)<sub>0</sub>=',
    'mag\n <br>']
72          names3 = ['age', 'mass', 'logg_param', 'radius', 'bv0']
73
74          for j in range(5):
75
76              par = filedata[filedata.find(char_i[j]):filedata.find(char_f[j
    ])]
77
78              value = ''.join(c for c in par[:par.find('±')] if c.isdigit()
    or c == '.')
79              e_value = ''.join(c for c in par[par.find('±'):] if c.isdigit()
     or c == '.')
80
81              df.loc[i, names3[j]] = float(value)
82              df.loc[i, 'e_' + names3[j]] = float(e_value)
83
84      # Salvar PARAM.csv
85      df.to_csv('PARAM.csv', index = False)
86
87      # Voltar ao inicio
88      driver.back()
```

Código A.4: Conteúdo da *pipeline* responsável pela interação com a página *web* do PARAM v1.3 (da Silva *et al.* 2006).

A.4 Cálculo das larguras equivalentes com o ARES v2

Por mais que o ARES v2 (Sousa *et al.* 2007, 2015) calcule de forma automática as larguras equivalentes, é necessário que o usuário insira as informações no arquivo de entrada (`mine.opt`), faça uma cópia do espectro para o diretório no qual o ARES v2 foi instalado e, por fim, edite o arquivo de saída para que este seja compatível com o formato que o código MOOG lê. Portanto, todos estes passos foram automatizados através de uma *pipeline* escrita na linguagem Python (ver Código A.5). Nela, há três funções: *i*) `fe_lines`, responsável pelas EWs das linhas de Fe I e Fe II; *ii*) `abfind_lines`, responsável pelas

EWs das linhas de C I e Ni I; *iii*) `blends_lines`, responsável pelas EWs das linhas de S I.

```
    import os
    import numpy as np
    import pandas as pd
    from IPython.display import clear_output

    def enter(something):
        return([n for n, char in enumerate(something) if char == '\n'])
    def underline(something):
        return([n for n, char in enumerate(something) if char == '_'])

    doc = os.getcwd()[:os.getcwd().find('Documents/')+10]

    # Fe I e Fe II
    def fe_lines(star, SNR, path):

        os.system('cp line_lists/list_fe_lines.txt .')

        linelist = 'list_fe_lines.txt'
        ref = pd.read_csv('line_lists/pd_fe_lines.txt')

        # Arquivo de entrada ARES v2
        f = open('mine.opt', 'w')
        f.write("specfits='" + star + ".fits'\nreadlinedat='" + linelist +
    "'\nfileout='" + star + ".txt'\nlambdai=4000.\nlambdaf=9000.\nsmoothder
    =4\nspace=2.0\nrejt=" + SNR + "\nlineresol=0.1\nminiline=5\nplots_flag=0
    ")
        f.close()

        # Fazendo copia do espectro e executando o ARES v2
        os.system('cp ' + path + '/02_comb/' + star + '.fits .')
        os.system('./ARES')
        clear_output(wait = False)
        os.remove(star + '.fits')

        # Lendo o arquivo de saida
        ares_file = pd.read_csv(star + '.txt', sep = '\\s+', names = ['
    lambda', 'a', 'b', 'fwhm', 'ew', 'e_ew', 'd', 'e', 'f'])
        ares_file['ew'] = [str(np.round(i, 1)).rjust(5, ' ') for i in
    ares_file['ew']]
        ares_file['e_ew'] = [str(np.round(i, 1)).rjust(5, ' ') for i in
    ares_file['e_ew']]
        os.remove(star + '.txt')

        # Criando o arquivo de saida no formato MOOG
```

```
39        output = ares_file.merge(ref, left_on = 'lambda', right_on = '
    lcentral_ref')
40        output['e_ew/ew'] = pd.to_numeric(output['e_ew'])/pd.to_numeric(
    output['ew'])
41
42        # Formato MOOG com erro nas medidas de EW
43        output[['line_ref', 'ew', 'e_ew','fwhm']].to_csv(path + '/06
    _atmosphere/e_line_lists/ew_' + star + '.txt', index = False, header =
    False, sep = ' ')
44
45        file = open(path + '/06_atmosphere/e_line_lists/ew_' + star + '.txt
    ', 'r').read()
46        file = file.replace('"', '')
47        file = file.replace('\n    ', '\n  ')
48
49        f = open(path + '/06_atmosphere/e_line_lists/ew_' + star + '.txt','
    w')
50        f.write('#Line list for Fe I and II\n' + file)
51        f.close()
52
53        # Formato MOOG
54        output = output[output['ew'].astype(float) < 120] # Removendo
    linhas com EW >= 120 mA
55        output[['line_ref', 'ew']].to_csv(path + '/06_atmosphere/line_lists
    /ew_' + star + '.txt', index = False, header = False, sep = ' ')
56
57        file = open(path + '/06_atmosphere/line_lists/ew_' + star + '.txt',
     'r').read()
58        file = file.replace('"', '')
59        file = file.replace('\n    ', '\n  ')
60
61        # Verificar numero de linhas medidas
62        n_lines = enter(file)
63
64        if len(n_lines) <= 30:
65
66            os.remove(path + '/06_atmosphere/line_lists/ew_' + star + '.txt
    ')
67
68        else:
69
70            f = open(path + '/06_atmosphere/line_lists/ew_' + star + '.txt'
    ,'w')
71            f.write('#Line list for Fe I and II\n' + file)
72            f.close()
73
74            params = star + ',5777,4.44,0.00,1.000\n'
```

```
75
76          # Editando o arquivo list_stars.txt de entrada da pipeline de
    Ghezzi+18
77          if 'list_stars.txt' in os.listdir(path + '/06_atmosphere'):
78
79              line = params
80
81          else:
82
83              line = 'star,teff,logg,feh,vmic\n' + params
84
85          g = open(path + '/06_atmosphere/list_stars.txt', 'a')
86          g.write(line)
87          g.close()
88
89      # Editando o arquivo param.txt de entrada da pipeline de Ghezzi+18
90      g = open(path + '/06_atmosphere/param.txt', 'w')
91      g.write('modelatm      kurucz\ngrid          odfnew\nanalysis
    abs\nabfesun       7.50\nfirststar     1\nlaststar      ' + str(len(os.
    listdir(path + '/06_atmosphere/line_lists'))) + '\nmoogmol       2\
    nmoogdamp      1\nfixfeh        n\nfixteff       n\nfixvmic       n\
    nfixlogg       n\nnclip         2\nplot          y')
92      g.close()
93
94      os.remove('list_fe_lines.txt')
95
96      return('####### EWS OF FE I AND FE II LINES CALCULATED #######')
97
98  def abfind_lines(star, SNR, path):
99
100     os.system('cp line_lists/C5052.txt .')
101     os.system('cp line_lists/C5380.txt .')
102     os.system('cp line_lists/Ni.txt .')
103
104     ref = pd.read_csv('line_lists/pd_ele_abfind_lines.txt')
105
106     os.system('cp ' + path + '/02_comb/' + star + '.fits .')
107
108     lineresol = [0.2, 0.2, 0.1]
109
110     for i, linelist in enumerate(['C5052.txt', 'C5380.txt', 'Ni.txt']):
111
112         # Arquivo de entrada ARES v2
113         f = open('mine.opt', 'w')
114         f.write("specfits='" + star + ".fits'\nreadlinedat='" +
    linelist + "'\nfileout='" + star + "_" + str(i) + ".txt'\nlambdai=4000.\
    nlambdaf=9000.\nsmoothder=4\nspace=2.0\nrejt=" + str(SNR[i]) + "\
```

```
    nlineresol=" + str(lineresol[i]) + "\nminiline=5\nplots_flag=0")
115             f.close()
116             os.system('./ARES')
117             clear_output(wait = False)
118 
119         os.remove(star + '.fits')
120 
121         # Lendo arquivos de saida ARES e removendo linhas com EW >= 120 mA
122         ares_file0 = pd.read_csv(star + '_0.txt', sep = '\\s+', names = ['
    lambda', 'a', 'b', 'c', 'ew', 'e_ew', 'd', 'e', 'f'])
123         ares_file1 = pd.read_csv(star + '_1.txt', sep = '\\s+', names = ['
    lambda', 'a', 'b', 'c', 'ew', 'e_ew', 'd', 'e', 'f'])
124         ares_file2 = pd.read_csv(star + '_2.txt', sep = '\\s+', names = ['
    lambda', 'a', 'b', 'c', 'ew', 'e_ew', 'd', 'e', 'f'])
125 
126         # Juntando os arquivos
127         ares_file = pd.concat([ares_file0, ares_file1, ares_file2])
128         ares_file = ares_file[ares_file['ew'] < 120].reset_index(drop =
    True) # Removendo linhas com EW >= 120 mA
129 
130         ares_file['ew'] = [str(np.round(i, 1)).rjust(5, ' ') for i in
    ares_file['ew']]
131         ares_file['e_ew'] = [str(np.round(i, 1)).rjust(5, ' ') for i in
    ares_file['e_ew']]
132 
133         os.remove(star + '_0.txt')
134         os.remove(star + '_1.txt')
135         os.remove(star + '_2.txt')
136 
137         # Criando o arquivo de saida no formato MOOG
138         output = ares_file.merge(ref, left_on = 'lambda', right_on = '
    lcentral_ref')
139         output['e_ew/ew'] = pd.to_numeric(output['e_ew'])/pd.to_numeric(
    output['ew'])
140         output = output[pd.to_numeric(output['ew']) < 120] # Lines with EW
    < 120 mA
141 
142         # Formato MOOG com erro nas medidas de EW
143         output[['line_ref', 'ew', 'e_ew']].to_csv(path + '/07_abfind/
    e_line_lists/ew_' + star + '.txt', index = False, header = False, sep =
    ' ')
144 
145         file = open(path + '/07_abfind/e_line_lists/ew_' + star + '.txt', '
    r').read()
146         file = file.replace('"', '')
147         file = file.replace('\n ', '\n')
148         file = file.replace('\n', '\n ')
```

```
149
150         f = open(path + '/07_abfind/e_line_lists/ew_' + star + '.txt','w')
151         f.write('#Line list for elements with no HFS\n' + file)
152         f.close()
153
154         # Formato MOOG
155         output[['line_ref', 'ew']].to_csv(path + '/07_abfind/line_lists/ew_
    ' + star + '.txt', index = False, header = False, sep = ' ')
156         file = open(path + '/07_abfind/line_lists/ew_' + star + '.txt', 'r'
    ).read()
157         file = file.replace('"', '')
158         file = file.replace('\n   ', '\n  ')
159
160         f = open(path + '/07_abfind/line_lists/ew_' + star + '.txt','w')
161         f.write('#Line list for elements with no HFS\n' + file)
162         f.close()
163
164         os.remove('C5052.txt')
165         os.remove('C5380.txt')
166         os.remove('Ni.txt')
167
168         return('###### EWS OF C I AND NI I LINES CALCULATED ######')
169
170     def blends_lines(star, SNR, path):
171
172         os.system('cp line_lists/S6743.txt .')
173
174         ref = pd.read_csv('line_lists/pd_ele_blends_lines.txt')
175
176         linelist = 'S6743.txt'
177
178         os.system('cp ' + path + '/02_comb/' + star + '.fits .')
179
180         # Arquivo de entrada ARES v2
181         f = open('mine.opt', 'w')
182         f.write("specfits='" + star + ".fits'\nreadlinedat='" + linelist +
    "'\nfileout='" + star + ".txt'\nlambdai=4000.\nlambdaf=9000.\nsmoothder
    =4\nspace=3.0\nrejt=" + str(SNR) + "\nlineresol=0.1\nminiline=5\
    nplots_flag=0")
183         f.close()
184         os.system('./ARES')
185         clear_output(wait = False)
186
187         os.remove(star + '.fits')
188
189         # Lendo arquivos de saida ARES
190         ares_file = open(star + '.txt', 'r').read()
```

```
191         os.remove(star + '.txt')
192 
193         # Inserindo linhas ``negativas'' para o driver blends do MOOG
194         file = ares_file
195 
196         for lam in ['6743.580', '6757.150']:
197 
198             temp = file[file.find(lam) - 3:]
199             linha = temp[:temp.find('\n')+1]
200 
201 
202             if lam == '6743.580':
203 
204                 file = file.replace(linha, linha.replace(lam, '6743.483') +
     linha.replace(lam, '6743.540') + linha + linha.replace(lam, '6743.581')
     + linha.replace(lam, '6743.640'))
205 
206             if lam == '6757.150':
207 
208                 file = file.replace(linha, linha.replace(lam, '6756.750') +
     linha.replace(lam, '6756.851') + linha.replace(lam, '6756.960') + linha
    )
209 
210         g = open(star + '.txt', 'w')
211         g.write(file)
212         g.close()
213 
214         # Lendo arquivos de saida ARES
215         ares_file = pd.read_csv(star + '.txt', sep = '\\s+', names = ['
    lambda', 'a', 'b', 'c', 'ew', 'e_ew', 'd', 'e', 'f'])
216         ares_file = ares_file[ares_file['ew'] < 120].reset_index(drop =
    True) # Removendo linhas com EW >= 120 mA
217         ares_file['e_ew/ew'] = pd.to_numeric(ares_file['e_ew'])/pd.
    to_numeric(ares_file['ew'])
218         ares_file['ew'] = [str(np.round(i, 1)).rjust(5, ' ') for i in
    ares_file['ew']]
219         ares_file['e_ew'] = [str(np.round(i, 1)).rjust(5, ' ') for i in
    ares_file['e_ew']]
220         os.remove(star + '.txt')
221 
222         # Criando o arquivo de saida no formato MOOG
223         output = ares_file.merge(ref, left_on = 'lambda', right_on = '
    lcentral_ref')
224 
225         # Formato MOOG com erro nas medidas de EW
226         output[['line_ref', 'ew', 'e_ew']].to_csv(path + '/07_blends/
    e_line_lists/ew_' + star + '.txt', index = False, header = False, sep =
```

```
    ' ')
227
228         file = open(path + '/07_blends/e_line_lists/ew_' + star + '.txt', '
    r').read()
229         file = file.replace('"', '')
230         file = file.replace('\n    ', '\n  ')
231         file = file.replace('6743.581', '6743.580')
232
233         f = open(path + '/07_blends/e_line_lists/ew_' + star + '.txt','w')
234         f.write('#Line list for elements with no HFS\n' + file)
235         f.close()
236
237         # Formato MOOG
238         output[['line_ref', 'ew']].to_csv(path + '/07_blends/line_lists/ew_
    ' + star + '.txt', index = False, header = False, sep = ' ')
239         file = open(path + '/07_blends/line_lists/ew_' + star + '.txt', 'r'
    ).read()
240         file = file.replace('"', '')
241         file = file.replace('\n    ', '\n  ')
242
243         f = open(path + '/07_blends/line_lists/ew_' + star + '.txt','w')
244         f.write('#Line list for elements with no HFS\n' + file)
245         f.close()
246
247         os.remove('S6743.txt')
248
249         return('###### EWS OF S I LINES CALCULATED ######')
```

Código A.5: Conteúdo da *pipeline* responsável pela interação com o ARES v2 (Sousa *et al.* 2007, 2015).

A.5 Determinação das abundâncias

As determinações das abundâncias foram feitas com o código MOOG (Sneden 1973). Contudo, para agilizar a manipulação dos arquivos de saída e entrada, desenvolvemos *pipelines* escritas na linguagem Python (ver Apêndices A.5.1, A.5.2 e A.5.3).

A.5.1 Carbono e Níquel (*driver* `abfind`)

```
import os
import mod_atm
import numpy as np
import pandas as pd
from astropy.stats import median_absolute_deviation

# Funcao para ler os arquivos ab_star.txt (arquivos de saida MOOG)
def read_ab_file(star):

    ab_file = open(star, 'r').read().splitlines()

    elements = [i for i in range(len(ab_file)) if 'Abundance Results for Species' in ab_file[i]]
    averages = [i for i in range(len(ab_file)) if 'average abundance =' in ab_file[i]]

    results = pd.DataFrame(columns = [['Element', 'Abundance']])

    for i in range(len(elements)):

        element = ab_file[elements[i]][30:40]
        element = element.replace(' ', '')

        # Pegar a abundancia de cada linha
        ab_lines = [ab_file[j] for j in range(elements[i] + 2, averages[i])]
        abundances = [float(line[-14:-9]) for line in ab_lines if line[-16:-9] != '999.990']

        # MADclips
        for round in range(2):

            if len(abundances) >= 4:

                median = np.median(abundances)
                mad = median_absolute_deviation(abundances)

                new = [q for q in abundances if q > median-2*mad and q < median+2*mad]
                if len(new) != 0: abundances = new

            else:

                pass

```

```
41            abundances_final = abundances
42
43            results.loc[i, 'Element'] = element
44
45            if len(abundances_final) != 1:
46
47                results.loc[i, 'Abundance'] = np.mean(abundances_final)
48                results.loc[i, 'Uncertainty'] = np.std(abundances_final,
   ddof = 1)
49                results.loc[i, 'N_Lines'] = int(len(abundances_final))
50
51            else:
52
53                results.loc[i, 'Abundance'] = abundances_final[0]
54                results.loc[i, 'Uncertainty'] = 0.000
55                results.loc[i, 'N_Lines'] = 1
56
57        return(results)
58
59    # Executar o driver abfind do MOOG
60    def abfind(star, index):
61
62        print('####### abfind #######' + '\n\n' + star)
63
64        if 'results.csv' not in os.listdir('.'):
65
66            results_atm = pd.read_csv('../06_atmosphere/results.csv')
67
68        else:
69
70            results_atm = pd.read_csv('results.csv')
71
72        if 'errors.csv' not in os.listdir('.'):
73
74            save_errors = pd.DataFrame()
75
76        else:
77
78            save_errors = pd.read_csv('errors.csv')
79
80        errors = pd.DataFrame()
81
82        snr = pd.read_csv('../info_clean.csv')
83
84        if 'ew_' + star + '.txt' in os.listdir('line_lists'):
85
```

```
86            teff, e_teff, logg, e_logg, feh, e_feh, vmic, e_vmic =
    results_atm.loc[index, 'teff'], results_atm.loc[index, 'e_teff'],
    results_atm.loc[index, 'logg'], results_atm.loc[index, 'e_logg'],
    results_atm.loc[index, 'feh'], results_atm.loc[index, 'e_feh'],
    results_atm.loc[index, 'vmic'], results_atm.loc[index, 'e_vmic']
87
88        # Criando os arquivos de atmosfera para o calculo das incertezas (
    parametro +- incerteza_parametro)
89            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff - e_teff),
    logg, feh, vmic, 'temporary_atm_teff1.txt')
90            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff + e_teff),
    logg, feh, vmic, 'temporary_atm_teff2.txt')
91            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, np.round(logg -
    e_logg, 2), feh, vmic, 'temporary_atm_logg1.txt')
92            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, np.round(logg +
    e_logg, 2), feh, vmic, 'temporary_atm_logg2.txt')
93            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, np.round(
    feh - e_feh, 2), vmic, 'temporary_atm_feh1.txt')
94            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, np.round(
    feh + e_feh, 2), vmic, 'temporary_atm_feh2.txt')
95            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, feh, np.
    round(vmic - e_vmic, 3), 'temporary_atm_vmic1.txt')
96            mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, feh, np.
    round(vmic + e_vmic, 3), 'temporary_atm_vmic2.txt')
97
98            os.system('cp line_lists/ew_' + star + '.txt .')
99
100          # Rodar o MOOG para os arquivos de atmosfera para o calculo das
    incertezas
101           for atm_file in [i for i in os.listdir('.') if 'temporary_atm'
    in i]:
102
103               f = open('batch.par', 'w')
104               f.write("abfind\nterminal       'x11'\nstandard_out   '")
105               f.write("output.txt'\nsummary_out    '")
106               f.write("final.txt'\nmodel_in       '")
107               f.write(atm_file + "'\nlines_in        'ew_")
108               f.write(star + ".txt'\natmosphere    1\nmolecules     2\
    nlines          1\nflux/int      0\ndamping       1\nunits          0\
    nplot           0")
109               f.close()
110
111               os.system('moogfeb2017silent')
112
113               os.remove(atm_file)
114               os.remove('output.txt')
115
```

```
116                 results = read_ab_file('final.txt')
117                 os.remove('final.txt')
118 
119                 for n in range(len(results)):
120 
121                     errors.loc[0, results.loc[n]['Element'] + '_' +
    atm_file[14:-4]] = results.loc[n]['Abundance']
122 
123                 del results
124 
125             # Rodar o MOOG para a atmosfera da estrela
126             mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff), logg, feh,
    vmic, 'atm_' + star + '.txt')
127 
128             f = open('batch.par', 'w')
129             f.write("abfind\nterminal       'x11'\nstandard_out    'out_")
130             f.write(star + ".txt'\nsummary_out     'ab_")
131             f.write(star + ".txt'\nmodel_in        'atm_")
132             f.write(star + ".txt'\nlines_in        'ew_")
133             f.write(star + ".txt'\natmosphere    1\nmolecules     2\nlines
                1\nflux/int      0\ndamping       1\nunits          0\nplot
    0")
134             f.close()
135 
136             os.system('moogfeb2017silent')
137 
138             os.system('mv atm_' + star + '.txt atms/.')
139             os.remove('ew_' + star + '.txt')
140 
141             if 'ab_' + star + '.txt' in os.listdir('abs'):
142 
143                 ab_old = open('abs/ab_' + star + '.txt', 'r').read()
144                 ab_new = open('ab_' + star + '.txt', 'r').read()
145 
146                 f = open('abs/ab_' + star + '.txt', 'w')
147                 f.write(ab_old + ab_new[226:])
148                 f.close()
149 
150             os.remove('out_' + star + '.txt')
151             os.remove('batch.par')
152 
153             # Abundancias determinadas
154             results = read_ab_file('ab_' + star + '.txt')
155             os.system('mv ab_' + star + '.txt abs/.')
156 
157             save_errors.loc[index, 'star'] = star
```

```
158             save_errors.loc[index, 'SNR'] = int(np.sqrt((snr[snr['star'] ==
    star]['SNR']**2).sum()))
159 
160             if len(snr[snr['star'] == star]) == 1: save_errors.loc[index, '
    e_SNR'] = 0
161             else: save_errors.loc[index, 'e_SNR'] = int(np.std(snr[snr['
    star'] == star]['SNR'], ddof = 1))
162 
163             for n in range(len(results)):
164 
165                 results_atm.loc[index, results.loc[n]['Element']] = results
    .loc[n]['Abundance']
166 
167                 element = results.loc[n]['Element']
168 
169                 # Incertezas finais
170                 eteff = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_teff1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_teff2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
171                 elogg = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_logg1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_logg2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
172                 efeh = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_feh1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_feh2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
173                 evmic = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_vmic1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_vmic2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
174                 elines = results.loc[n, 'Uncertainty']
175 
176                 e = np.sqrt(np.sum(eteff**2 + elogg**2 + efeh**2 + evmic**2
     + elines**2))
177 
178                 results_atm.loc[index, 'e_' + element] = e
179                 results_atm.loc[index, 'n_' + element] = results.loc[n]['
    N_Lines']
180 
181                 save_errors.loc[index, element + '_eteff'] = eteff
182                 save_errors.loc[index, element + '_efeh'] = efeh
183                 save_errors.loc[index, element + '_elogg'] = elogg
184                 save_errors.loc[index, element + '_evmic'] = evmic
185                 save_errors.loc[index, element + '_elines'] = float(elines)
186 
187             index2 = snr[snr['star'] == star].index[0]
188 
189             results_atm.loc[index, 'SNR'] = int(np.sqrt((snr[snr['star'] ==
     star]['SNR']**2).sum()))
```

```
190             if len(snr[snr['star'] == star]) == 1: results_atm.loc[index, '
    e_SNR'] = 0
191             else: results_atm.loc[index, 'e_SNR'] = int(np.std(snr[snr['
    star'] == star]['SNR'], ddof = 1))
192 
193             # Salvar
194             results_atm.to_csv('results.csv', index = False)
195             save_errors.to_csv('errors.csv', index = False)
196 
197             del results_atm, results, save_errors, errors
198 
199         else:
200 
201             print('Files of ' + star + ' are missing.')
202 
203         return('###### abfind ######')
```

Código A.6: Conteúdo da *pipeline* responsável pela interação com o *driver* `abfind` do código MOOG (Sneden 1973).

A.5.2 Enxofre (*driver* `blends`)

```
1   import os
2   import mod_atm
3   import numpy as np
4   import pandas as pd
5   from astropy.stats import median_absolute_deviation
6 
7   # Executar o driver blends do MOOG
8   def blends(star, index):
9 
10      print('###### blends ######' + '\n\n' + star)
11 
12      results_atm = pd.read_csv('results.csv')
13 
14      if 'errors.csv' not in os.listdir('.'):
15 
16          save_errors = pd.DataFrame()
17 
18      else:
19 
20          save_errors = pd.read_csv('errors.csv')
21 
22      errors = pd.DataFrame()
23 
24      if ('ew_' + star + '.txt' in os.listdir('line_lists')) and ('atm_'
    + star + '.txt' in os.listdir('atms')):
```

```
25
26          teff, e_teff, logg, e_logg, feh, e_feh, vmic, e_vmic =
    results_atm.loc[index, 'teff'], results_atm.loc[index, 'e_teff'],
    results_atm.loc[index, 'logg'], results_atm.loc[index, 'e_logg'],
    results_atm.loc[index, 'feh'], results_atm.loc[index, 'e_feh'],
    results_atm.loc[index, 'vmic'], results_atm.loc[index, 'e_vmic']
27
28          # Criando os arquivos de atmosfera para o calculo das
    incertezas (parametro +- incerteza_parametro)
29          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff - e_teff),
    logg, feh, vmic, 'temporary_atm_teff1.txt')
30          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff + e_teff),
    logg, feh, vmic, 'temporary_atm_teff2.txt')
31          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, np.round(logg -
    e_logg, 2), feh, vmic, 'temporary_atm_logg1.txt')
32          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, np.round(logg -
    e_logg, 2), feh, vmic, 'temporary_atm_logg2.txt')
33          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, np.round(
    feh - e_feh, 2), vmic, 'temporary_atm_feh1.txt')
34          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, np.round(
    feh + e_feh, 2), vmic, 'temporary_atm_feh2.txt')
35          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, feh, np.
    round(vmic - e_vmic, 3), 'temporary_atm_vmic1.txt')
36          mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, feh, np.
    round(vmic + e_vmic, 3), 'temporary_atm_vmic2.txt')
37
38          os.system('cp line_lists/ew_' + star + '.txt .')
39
40         # Rodar o MOOG para os arquivos de atmosfera para o calculo das
    incertezas
41          for atm_file in [i for i in os.listdir('.') if 'temporary_atm'
    in i]:
42
43              f = open('batch.par', 'w')
44              f.write("blends\nterminal       'x11'\nstandard_out   '")
45              f.write("output.txt'\nsummary_out     '")
46              f.write("final.txt'\nmodel_in       '")
47              f.write(atm_file + "'\nlines_in        'ew_")
48              f.write(star + ".txt'\natmosphere    1\nmolecules     2\
    nlines          1\nflux/int      0\ndamping       1\nunits         0\
    nplot           0\n")
49              f.write('blenlimits\n  0.5    0.001    16.0')
50              f.close()
51
52              os.system('moogfeb2017silent')
53              clear_output(wait = False)
54
```

```
                os.remove(atm_file)
                os.remove('output.txt')

                results = read_ab_file('final.txt')
                os.remove('final.txt')

                for n in range(len(results)):

                    errors.loc[0, results.loc[n]['Element'] + '_' +
atm_file[14:-4]] = results.loc[n]['Abundance']

                del results

            # Rodar o MOOG para a atmosfera da estrela
            os.system('cp atms/atm_' + star + '.txt .')

            f = open('batch.par', 'w')
            f.write("blends\nterminal       'x11'\nstandard_out    'out_")
            f.write(star + ".txt'\nsummary_out     'ab_")
            f.write(star + ".txt'\nmodel_in        'atm_")
            f.write(star + ".txt'\nlines_in        'ew_")
            f.write(star + ".txt'\natmosphere    1\nmolecules     2\nlines
        1\nflux/int      0\ndamping       1\nunits          0\nplot
    0\n")
            f.write('blenlimits\n  0.5    0.001    16.0')
            f.close()

            os.system('moogfeb2017silent')
            clear_output(wait = False)

            os.remove('atm_' + star + '.txt')
            os.remove('ew_' + star + '.txt')
            os.remove('out_' + star + '.txt')
            os.remove('batch.par')

            # Abundancias determinadas
            results = read_ab_file('ab_' + star + '.txt')
            os.system('mv ab_' + star + '.txt abs/.')

            save_errors.loc[index, 'star'] = star
            save_errors.loc[index, 'SNR'] = results_atm.loc[index, 'SNR']

            for n in range(len(results)):

                results_atm.loc[index, results.loc[n]['Element']] = results
.loc[n]['Abundance']

```

```
98                element = results.loc[n]['Element']
99
100               # Incertezas finais
101               eteff = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_teff1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_teff2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
102               elogg = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_logg1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_logg2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
103               efeh = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_feh1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_feh2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
104               evmic = np.max([abs(errors.loc[0, element + '_vmic1'] -
    results.loc[n, 'Abundance']), abs(errors.loc[0, element + '_vmic2'] -
    results.loc[n, 'Abundance'])])
105               elines = results.loc[n, 'Uncertainty']
106
107               e = np.sqrt(np.sum(eteff**2 + elogg**2 + efeh**2 + evmic**2
    + elines**2))
108
109               results_atm.loc[index, 'e_' + element] = e
110               results_atm.loc[index, 'n_' + element] = int(results.loc[n
    ]['N_Lines'])
111
112               save_errors.loc[index, element + '_eteff'] = eteff
113               save_errors.loc[index, element + '_efeh'] = efeh
114               save_errors.loc[index, element + '_elogg'] = elogg
115               save_errors.loc[index, element + '_evmic'] = evmic
116               save_errors.loc[index, element + '_elines'] = elines[0]
117
118           # Salvar
119           results_atm.to_csv('results.csv', index = False)
120           save_errors.to_csv('errors.csv', index = False)
121
122           del results_atm, results, save_errors, errors
123
124       else:
125
126           print('Files of ' + star + ' are missing.')
127
128       return('####### blends #######')
```

Código A.7: Conteúdo da *pipeline* responsável pela interação com o *driver* `blends` do código MOOG (Sneden 1973). A função `read_ab_file` foi definida no Código A.6.

A.5.3 Oxigênio (*driver* `synth`)

Contaminação por linhas telúricas

O Código A.8 contém o procedimento que checa se há linhas telúricas contaminando a linha do [O I] em 6300 Å.

```
import pandas as pd

info = pd.read_csv('info.csv')

# Converter velocidade em comprimento de onda
def dl(l, v):

    return(v * l/299792.458)

lines = [6298.456, 6299.230, 6302.004, 6302.765]

for i, arcfile in enumerate(info['ARCFILE']):

    hdul = fits.open('binary/' + arcfile)

    hdr = hdul[0].header

    berv = hdr['HIERARCH ESO DRS BERV']
    info.loc[i, 'BERV'] = berv

    overlap = []

    for line in [6298.456, 6299.230, 6302.004, 6302.765]:

        vr = dl(line, info.loc[i, 'VR']) # Velocidade radial calculada pelo fxcor
        berv = dl(line, info.loc[i, 'BERV'])

        pos = line - vr + berv

        a1 = pos - 0.11
        a2 = pos + 0.11

        b1 = 6300.304 - 0.15
        b2 = 6300.304 + 0.15

        if max(a2, b2) - min(a1, b1) < (a2 - a1) + (b2 - b1):

            overlap.append('y')

        else:
```

```
41
42                  overlap.append('n')
43
44          if 'y' in overlap:
45
46              info.loc[i, 'O_flag'] = 'contaminated'
47
48          else:
49
50              info.loc[i, 'O_flag'] = 'clean'
51
52          info.to_csv('info.csv', index = False)
```

Código A.8: Conteúdo da *pipeline* responsável pela identificação das contaminações telúricas na linha proibida do oxigênio em 6300 Å.

Determinação das abundâncias

```
1   import os
2   import mod_atm
3   import numpy as np
4   import pandas as pd
5   import matplotlib.pyplot as plt
6   from IPython.display import clear_output
7
8   def moog_synthesis_fe(star, fwhm_gauss = 0.055, iron = 0.00):
9
10      moogfile = open('batch.par', 'w')
11      moogfile.write("synth\n")
12      moogfile.write("standard_out 'out1_" + star + ".txt'\n")
13      moogfile.write("summary_out 'out2_" + star + ".txt'\n")
14      moogfile.write("smoothed_out 'out3_" + star + ".txt'\n")
15      moogfile.write("model_in 'atm_" + star + ".txt'\n")
16      moogfile.write("lines_in 'linelist_6240.dat'\n")
17      moogfile.write("observed_in '" + star + ".txt'\n")
18      moogfile.write("atmosphere 1\n")
19      moogfile.write("units 0\n")
20      moogfile.write("lines 1\n")
21      moogfile.write("molecules 2\n")
22      moogfile.write("flux/int 0\n")
23      moogfile.write("damping 1\n")
24      moogfile.write("plot 0\n")
25      moogfile.write("abundances 3 1\n")
26      moogfile.write("          8    0.00\n")
27      moogfile.write("         26    " + '{:.2f}'.format(iron) + "\n")
28      moogfile.write("         28    0.00\n")
29      moogfile.write("synlimits\n")
```

```
30          moogfile.write("    6240.0 6241.5 0.001 5.00\n")
31          moogfile.write("plotpars 1\n")
32          moogfile.write("6300.1 6300.5 0.8 1.05\n")
33          moogfile.write("0.000 0.000 0.000 1.000\n")
34          moogfile.write("g " + '{:.3f}'.format(fwhm_gauss) + " 0.0 0.0 0.0
    0.0\n")
35          moogfile.write("obspectrum 5")
36          moogfile.close()
37
38          os.system('export MOOGPATH=/home/ecostalmeida/Documents/pymoogi/
    pymoogi/moog')
39          os.system('pymoogi batch.par')
40          clear_output(wait = False)
41          os.remove('batch.par')
42
43          return('####### MOOG SYNTH #######')
44
45      def moog_synthesis_o(star, fwhm_gauss = 0.055, oxygen = 0.00, iron =
    0.00, nickel = 0.00):
46
47          moogfile = open('batch.par', 'w')
48          moogfile.write("synth\n")
49          moogfile.write("standard_out 'out1_" + star + ".txt'\n")
50          moogfile.write("summary_out 'out2_" + star + ".txt'\n")
51          moogfile.write("smoothed_out 'out3_" + star + ".txt'\n")
52          moogfile.write("model_in 'atm_" + star + ".txt'\n")
53          moogfile.write("lines_in 'linelist_OI6300_no_molecules.dat'\n")
54          moogfile.write("observed_in '" + star + ".txt'\n")
55          moogfile.write("atmosphere 1\n")
56          moogfile.write("units 0\n")
57          moogfile.write("lines 1\n")
58          moogfile.write("molecules 2\n")
59          moogfile.write("flux/int 0\n")
60          moogfile.write("damping 1\n")
61          moogfile.write("plot 0\n")
62          moogfile.write("abundances 3 1\n")
63          moogfile.write("         8    " + '{:.2f}'.format(oxygen) + "\n")
64          moogfile.write("        26    " + '{:.2f}'.format(iron) + "\n")
65          moogfile.write("        28    " + '{:.2f}'.format(nickel) + "\n")
66          moogfile.write("synlimits\n")
67          moogfile.write("    6295.0 6305.0 0.001 5.00\n")
68          moogfile.write("plotpars 1\n")
69          moogfile.write("6300.0 6300.6 0.8 1.05\n")
70          moogfile.write("0.000 0.000 0.000 1.000\n")
71          moogfile.write("g " + '{:.3f}'.format(fwhm_gauss) + " 0.0 0.0 0.0
    0.0\n")
72          moogfile.write("obspectrum 5")
```

```
73          moogfile.close()
74
75          os.system('export MOOGPATH=/home/ecostalmeida/Documents/pymoogi/
    pymoogi/moog')
76          os.system('pymoogi batch.par')
77          clear_output(wait = False)
78          os.remove('batch.par')
79
80          return('####### MOOG SYNTH #######')
81
82      # Ajuste de comprimento de onda
83      def fixing_wavelength(star, element, fwhm_gauss = 0.055):
84
85          start_time = time.time()
86
87          # Rodar a sintese
88          if element == 'O':
89
90              lambda_i = 6300.1
91              lambda_f = 6300.5
92              os.system('cp txts/' + star + '.txt .')
93              moog_synthesis_o(star, fwhm_gauss)
94          if element == 'Fe':
95
96              lambda_i = 6240.5
97              lambda_f = 6240.78
98              os.system('cp txts/05_final/' + star + '.txt .')
99              moog_synthesis_fe(star, fwhm_gauss)
100
101         for round in range(2):
102
103             chi2s = pd.DataFrame(columns = ['delta_lambda', 'delta_flux', '
    chi2'])
104
105             # Ajuste moderado
106             if round == 0:
107
108                 lambda_range = np.arange(-0.05, 0.06, 0.01)
109                 flux_range = np.arange(-0.05, 0.06, 0.01)
110
111             # AJuste fino
112             if round == 1:
113
114                 lambda_range = np.arange(w - 0.01, w + 0.01, 0.001)
115                 flux_range = np.arange(f - 0.01, f + 0.011, 0.001)
116
117             for delta_lambda in lambda_range:
```

```
118
119                 for delta_flux in flux_range:
120
121                     delta_lambda = np.round(delta_lambda, 3)
122                     delta_flux = np.round(delta_flux, 3)
123
124                     # Espectro observado
125                     obs = pd.read_csv(star + '.txt', delim_whitespace =
    True, names = ['wave', 'flux_obs'])
126                     obs['wave'] = obs['wave'].round(3)
127                     obs['wave'] = obs['wave'] + delta_lambda
128                     obs['flux_obs'] = obs['flux_obs'] + delta_flux
129                     obs = obs[(obs['wave'] >= lambda_i) & (obs['wave'] <=
    lambda_f)]
130
131                     # Espectro sintetico
132                     syn = pd.read_csv('out3_' + star + '.txt', skiprows =
    2, delim_whitespace = True, names = ['wave', 'flux_syn'])
133                     syn['wave'] = syn['wave'].round(3)
134
135                     model = obs.merge(syn).reset_index(drop = True)
136
137                     sigma = snr**-1
138
139                     p = 2
140
141                     d = len(model) - p
142                     chi2 = ((1 / (d-1)) * np.sum((model['flux_obs'] - model
    ['flux_syn'])**2) / sigma**2)
143
144
145                     temporary = pd.DataFrame([[delta_lambda, delta_flux,
    chi2]], columns = ['delta_lambda', 'delta_flux', 'chi2'])
146                     chi2s = pd.concat([chi2s, temporary], ignore_index =
    True)
147                     del temporary
148
149             if round == 0:
150
151                 chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
152                 w = chi2s.loc[0, 'delta_lambda']
153                 f = chi2s.loc[0, 'delta_flux']
154                 del chi2s
155
156             if round == 1:
157
158                 chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
```

```
159                 delta_lambda = chi2s.loc[0, 'delta_lambda']
160                 del chi2s
161 
162         dt = (float(time.time()) - float(start_time))/60
163 
164         return(delta_lambda, np.round(dt, 2))
165 
166     # Ajuste de fluxo ao redor da linha do Fe I em 6140 AA
167     def fixing_flux_fwhm(star, delta_lambda_fwhm, lambda_i = 6241.0,
    lambda_f = 6241.3):
168 
169         start_time = time.time()
170 
171         chi2s = pd.DataFrame(columns = ['delta_flux', 'chi2'])
172 
173         flux_range = np.arange(-0.050, 0.051, 0.001)
174 
175         for delta_flux in flux_range:
176 
177             delta_flux = np.round(delta_flux, 3)
178 
179             obs = pd.read_csv(star + '.txt', delim_whitespace = True, names
     = ['wave', 'flux_obs'])
180             obs['wave'] = obs['wave'].round(3)
181             obs['wave'] = obs['wave'] + delta_lambda_fwhm
182             obs['flux_obs'] = obs['flux_obs'] + delta_flux
183             obs = obs[(obs['wave'] >= lambda_i) & (obs['wave'] <= lambda_f)
    ]
184 
185             syn = pd.read_csv('out3_' + star + '.txt', skiprows = 2,
    delim_whitespace = True, names = ['wave', 'flux_syn'])
186             syn['wave'] = syn['wave'].round(3)
187 
188             x = [i for i in obs['wave'].values.tolist() if i not in syn['
    wave'].values.tolist()]
189             empty = pd.DataFrame({'wave' : x, 'flux' : np.nan})
190 
191             model = obs.merge(syn).reset_index(drop = True)
192 
193             sigma = snr**-1
194 
195             p = 1
196 
197             d = len(model) - p
198             chi2 = ((1 / (d-1)) * np.sum((model['flux_obs'] - model['
    flux_syn'])**2) / sigma**2)
199 
```

```
200             temporary = pd.DataFrame([[delta_flux, chi2]], columns = ['
    delta_flux', 'chi2'])
201             chi2s = pd.concat([chi2s, temporary], ignore_index = True)
202             del temporary
203 
204         chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
205         delta_flux = chi2s.loc[0, 'delta_flux']
206         del chi2s
207 
208         dt = (float(time.time()) - float(start_time))/60
209 
210         return(delta_flux, np.round(dt, 2))
211 
212     # Ajuste da suavizacao gaussiana (g)
213     def fixing_gaussian(star, feh, delta_lambda_fwhm, delta_flux_fwhm,
    lambda_i = 6240.50, lambda_f = 6240.78):
214 
215         start_time = time.time()
216 
217         os.system('cp txts/05_final/' + star + '.txt .')
218 
219         ab_file = open('../06_atmosphere/results/' + star + '/ab_' + star +
     '.txt', 'r').read().splitlines()
220         ab_file = [line for line in ab_file if '6240.646' in line]
221 
222         if len(ab_file) != 0: fe_6240 = float(ab_file[0][-14:-9]) - 7.50 -
    feh
223         else: fe_6240 = 0.00
224 
225         for round in range(3):
226 
227             chi2s = pd.DataFrame(columns = ['feh', 'fwhm_gauss', 'chi2'])
228 
229             # Rough values
230             if round == 0:
231 
232                 fwhm_range = np.arange(0.01, 0.26, 0.05)
233 
234             # Second round
235             if round == 1:
236 
237                 fwhm_range = np.arange(g - 0.05, g + 0.06, 0.01)
238 
239             # Fine tuning
240             if round == 2:
241 
242                 fwhm_range = np.arange(g - 0.01, g + 0.011, 0.001)
```

```
243
244             for fwhm_gauss in fwhm_range:
245
246                 fe = np.round(fe_6240, 2)
247                 fwhm_gauss = np.round(fwhm_gauss, 3)
248
249                 moog_synthesis_fe(star, fwhm_gauss, fe)
250
251                 obs = pd.read_csv(star + '.txt', delim_whitespace = True,
    names = ['wave', 'flux_obs'])
252                 obs['wave'] = obs['wave'].round(3)
253                 obs['wave'] = obs['wave'] + delta_lambda_fwhm
254                 obs['flux_obs'] = obs['flux_obs'] + delta_flux_fwhm
255                 obs = obs[(obs['wave'] >= lambda_i) & (obs['wave'] <=
    lambda_f)]
256
257                 syn = pd.read_csv('out3_' + star + '.txt', skiprows = 2,
    delim_whitespace = True, names = ['wave', 'flux_syn'])
258                 syn['wave'] = syn['wave'].round(3)
259
260                 model = obs.merge(syn).reset_index(drop = True)
261
262                 sigma = snr**-1
263
264                 p = 1
265
266                 d = len(model) - p
267                 chi2 = ((1 / (d-1)) * np.sum((model['flux_obs'] - model['
    flux_syn'])**2) / sigma**2)
268
269                 temporary = pd.DataFrame([[fe, fwhm_gauss, chi2]], columns
    = ['feh', 'fwhm_gauss', 'chi2'])
270                 chi2s = pd.concat([chi2s, temporary], ignore_index = True)
271                 del temporary
272
273             if round == 0 or round == 1:
274
275                 chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
276                 g = chi2s.loc[0, 'fwhm_gauss']
277                 del chi2s
278
279             if round == 2:
280
281                 chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
282                 FeI = chi2s.loc[0, 'feh']
283                 fwhm_gauss = chi2s.loc[0, 'fwhm_gauss']
284                 chi2s.to_csv('chi2s_1/' + star + '.txt', index = False)
```

```
285                 del chi2s
286
287         dt = (float(time.time()) - float(start_time))/60
288
289         return(FeI, fwhm_gauss, np.round(dt, 2))
290
291     def moving_average(data, window_size):
292
293         return np.convolve(data, np.ones(window_size) / window_size, mode =
     'valid')
294
295     # Ajuste fluxo ao redor da linha do [O I] em 6300 AA
296     def fixing_flux_oxygen(star):
297
298         start_time = time.time()
299
300         obs = pd.read_csv('txts/' + star + '.txt', delim_whitespace = True,
     names = ['wave', 'flux_obs'])
301         obs['wave'] = obs['wave'] + delta_lambda_o
302         obs['wave'] = obs['wave'].round(3)
303         obs = obs[(obs['wave'] >= 6299.9) & (obs['wave'] <= 6300.9)].
    reset_index(drop = True)
304
305         syn = pd.read_csv('out3_' + star + '.txt', delim_whitespace = True,
     skiprows = 2, names = ['wave', 'flux_syn'])
306         syn = syn[((syn['wave'] >= 6300.0) & (syn['wave'] <= 6300.15)) | ((
    syn['wave'] >= 6300.45) & (syn['wave'] <= 6300.55))]
307         max_syn = syn['flux_syn'].max()
308
309         flux_moving_average = moving_average(obs['flux_obs'].values.tolist
    (), window_size = 5)
310
311         obs2 = obs[2:-2]
312         obs2['flux_obs_filtered'] = list(flux_moving_average)
313         obs2 = obs2[(obs2['wave'] >= 6300.) & (obs2['wave'] <= 6300.55)]
314         max_obs = obs2['flux_obs_filtered'].max()
315
316         delta_flux = max_syn - max_obs
317
318         dt = (float(time.time()) - float(start_time))/60
319
320         return(delta_flux, np.round(dt, 2))
321
322     # Determinar a abundancia de O
323     def oxygen_synth(star, delta_lambda_o, delta_flux_o, fwhm_gauss, feh,
    ni, e_ni, lambda_i = 6300.15, lambda_f = 6300.45):
324
```

```
325         start_time = time.time()
326 
327         obs = pd.read_csv(star + '.txt', sep = '\s+', names = ['wave', '
    flux_obs'])
328         obs['wave'] = obs['wave'] + delta_lambda_o
329         obs['flux_obs'] = obs['flux_obs'] + delta_flux_o
330         obs = obs[(obs['wave'] >= lambda_i - 0.15) & (obs['wave'] <=
    lambda_f + 0.15)]
331         obs['wave'] = obs['wave'].round(3)
332 
333         new = pd.DataFrame(columns = ['wave', 'flux_obs'])
334         new['wave'] = np.arange(lambda_i, lambda_f + 0.001, 0.001)
335         new['wave'] = new['wave'].round(3)
336         new['flux_obs'] = np.nan
337 
338         for round in range(2):
339 
340             chi2s = pd.DataFrame(columns = ['oxygen', 'nickel', 'dw', 'chi2
    '])
341 
342             # Rough values
343             if round == 0:
344 
345                 oxygen_range = np.arange(-0.5, 0.6, 0.1)
346 
347             # Fine tuning
348             if round == 1:
349 
350                 oxygen_range = np.arange(o - 0.10, o + 0.11, 0.01)
351 
352             for o, oxygen in enumerate(oxygen_range):
353 
354                 oxygen = np.round(oxygen, 2)
355                 nickel = np.round(ni, 2)
356 
357                 moog_synthesis_o(star, fwhm_gauss, oxygen, 0.00, nickel)
358                 clear_output(wait = False)
359 
360                 syn = pd.read_csv('out3_' + star + '.txt', skiprows = 2,
    sep = '\s+', names = ['wave', 'flux_syn'])
361                 syn['wave'] = syn['wave'].round(3)
362                 syn = syn[(syn['wave'] >= lambda_i) & (syn['wave'] <=
    lambda_f)]
363 
364                 for dw in np.arange(-0.01, 0.011, 0.001):
365 
366                     dw = np.round(dw, 3)
```

```
367
368                     temp = obs
369                     temp['wave'] = temp['wave'] + dw
370                     temp['wave'] = temp['wave'].round(3)
371
372                     temp = pd.concat([temp, new]).reset_index(drop = True)
373                     temp = temp.drop_duplicates('wave').reset_index(drop =
    True)
374                     temp = temp.sort_values('wave').reset_index(drop = True
    )
375                     temp = temp.interpolate(method = 'linear')
376
377                     model = temp.merge(syn)
378
379                     sigma = snr**-1
380
381                     p = 2
382
383                     d = len(model) - p
384                     chi2 = ((1 / (d - 1)) * np.sum((model['flux_obs'] -
    model['flux_syn'])**2) / sigma**2)
385
386                     temporary = pd.DataFrame([[np.round(oxygen, 2), np.
    round(nickel, 2), np.round(dw, 3), chi2]], columns = ['oxygen', 'nickel'
    , 'dw', 'chi2'])
387                     chi2s = pd.concat([chi2s, temporary], ignore_index =
    True)
388                     del temporary
389
390             if round == 0:
391
392                 chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
393                 o = chi2s.loc[0, 'oxygen']
394                 del chi2s
395
396             if round == 1:
397
398                 chi2s = chi2s.sort_values('chi2').reset_index(drop = True)
399                 oxygen = chi2s.loc[0, 'oxygen']
400                 final_dw = chi2s.loc[0, 'dw']
401                 chi2s.to_csv('chi2s_2/' + star + '.csv', index = False)
402                 del chi2s
403
404         dt = (float(time.time()) - float(start_time))/60
405         return(oxygen, final_dw, dt)
406
407     # Calculo das incertezas
```

```
408     def uncertainties():
409 
410         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff - e_teff), logg,
    feh, vmic, 'temporary_atm_teff1.txt')
411         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', int(teff + e_teff), logg,
    feh, vmic, 'temporary_atm_teff2.txt')
412         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, np.round(logg -
    e_logg, 2), feh, vmic, 'temporary_atm_logg1.txt')
413         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, np.round(logg +
    e_logg, 2), feh, vmic, 'temporary_atm_logg2.txt')
414         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, np.round(feh -
     e_feh, 2), vmic, 'temporary_atm_feh1.txt')
415         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, np.round(feh +
     e_feh, 2), vmic, 'temporary_atm_feh2.txt')
416         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, feh, np.round(
    vmic - e_vmic, 3), 'temporary_atm_vmic1.txt')
417         mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg, feh, np.round(
    vmic + e_vmic, 3), 'temporary_atm_vmic2.txt')
418 
419         # Running MOOG
420 
421         for atm_file in [j for j in os.listdir('.') if 'temporary_atm' in j
    ]:
422 
423             which = atm_file[14:-4]
424 
425             ni_value = ni
426             fe_value = feh
427 
428             if 'feh' in which:
429 
430                 if which == 'feh1': fe_value = feh - e_feh
431                 else: fe_value = feh + e_feh
432 
433             elif 'ni' in which:
434 
435                 if which == 'ni1': ni_value = ni - e_ni
436                 else: ni_value = ni + e_ni
437 
438             else: pass
439 
440             oxygen_value = oxygen_var_ni(star, atm_file, delta_lambda_o,
    delta_flux_o, fwhm_gauss, fe_value, ni_value, e_ni)
441             oxygen_value = oxygen_value + 8.69 + fe_value
442 
443             errors.loc[i, 'O_' + which] = oxygen_value
444             errors.to_csv('errors.csv', index = False)
```

```
445
446         OI_eteff = np.max([abs(errors.loc[i, 'O_teff1'] - OI), abs(errors.
    loc[i, 'O_teff2'] - OI)])
447         OI_elogg = np.max([abs(errors.loc[i, 'O_logg1'] - OI), abs(errors.
    loc[i, 'O_logg2'] - OI)])
448         OI_efeh = np.max([abs(errors.loc[i, 'O_feh1'] - OI), abs(errors.loc
    [i, 'O_feh2'] - OI)])
449         OI_evmic = np.max([abs(errors.loc[i, 'O_vmic1'] - OI), abs(errors.
    loc[i, 'O_vmic2'] - OI)])
450         OI_eni= np.max([abs(errors.loc[i, 'O_ni1'] - OI), abs(errors.loc[i,
     'O_ni2'] - OI)])
451
452         e = np.sqrt(np.sum(OI_eteff**2 + OI_elogg**2 + OI_efeh**2 +
    OI_evmic**2 + OI_eni**2))
453
454         errors.loc[i, 'eteff'] = OI_eteff
455         errors.loc[i, 'efeh'] = OI_efeh
456         errors.loc[i, 'elogg'] = OI_elogg
457         errors.loc[i, 'evmic'] = OI_evmic
458         errors.loc[i, 'eni'] = OI_eni
459         errors.loc[i, 'e_OI'] = e
460         errors.to_csv('errors.csv', index = False)
461
462         return(e)
463
464     # Gerar plot
465     def plotting(folder, star, delta_lambda_o, delta_flux_o,
    delta_lambda_fwhm, delta_flux_fwhm, fe_fwhm, fwhm_gauss, oxygen = 0.00,
    iron = 0.00, nickel = 0.00):
466
467         fig, axes = plt.subplots(1, 2, figsize = (15,10), width_ratios =
    [1, 3])
468         fig.add_subplot(111, frameon = False)
469
470         plt.tick_params(labelcolor = 'none', which = 'both', top = False,
    bottom = False, left = False, right = False)
471         plt.xlabel(r'$\mathrm{Wavelength}\ (\AA)$', fontsize = 10)
472         plt.ylabel('Normalized Flux\n', fontsize = 10)
473         plt.title(star, fontsize = 10)
474
475         plt.ticklabel_format(style = 'plain')
476
477         for e, element in enumerate(['Fe', 'O']):
478
479             # Fe I em 6240 AA
480             if element == 'Fe':
481
```

```
482                 lambda_i = 6240.50
483                 lambda_f = 6240.78
484 
485                 delta_lambda = delta_lambda_fwhm
486                 delta_flux = delta_flux_fwhm
487 
488                 os.system('cp txts/05_final/' + star + '.txt .')
489                 moog_synthesis_fe(star, fwhm_gauss, fe_fwhm)
490                 os.system('cp out3_' + star + '.txt out3_1/' + star + '_fe.
    txt')
491 
492             # [O I] em 6300 AA
493             if element == 'O':
494 
495                 lambda_i = 6300.15
496                 lambda_f = 6300.45
497 
498                 delta_lambda = delta_lambda_o
499                 delta_flux = delta_flux_o
500 
501                 os.system('cp txts/' + star + '.txt .')
502                 moog_synthesis_o(star, fwhm_gauss, oxygen, iron, nickel)
503                 os.system('cp out3_' + star + '.txt out3_1/' + star + '_o.
    txt')
504 
505             obs = pd.read_csv(star + '.txt', delim_whitespace = True, names
     = ['wave', 'flux'])
506             obs['wave'] = obs['wave'].round(3)
507             obs['wave'] = obs['wave'] + delta_lambda
508             obs['flux'] = obs['flux'] + delta_flux
509 
510             syn = pd.read_csv('out3_' + star + '.txt', skiprows = 2,
    delim_whitespace = True, names = ['wave', 'flux'])
511             syn['wave'] = syn['wave'].round(3)
512 
513             axes[e].plot(obs['wave'], obs['flux'], c = 'k')
514             axes[e].plot(syn['wave'], syn['flux'], color = 'red')
515 
516             if e == 0:
517 
518                 axes[e].set_ylim(.4, 1.025)
519                 axes[e].set_xlim(lambda_i - 0.5, lambda_f + 0.5)
520 
521             if e == 1:
522 
523                 axes[e].set_ylim(0.9, 1.025)
524                 axes[e].set_xlim(lambda_i - .5, lambda_f + .5)
```

```
525
526             axes[e].tick_params(axis = 'both', labelsize = 10, direction =
    'in')
527             axes[e].ticklabel_format(useOffset = False)
528             axes[e].yaxis.set_ticks_position('both')
529             axes[e].xaxis.set_ticks_position('both')
530             axes[e].yaxis.set_ticks_position('both')
531             axes[e].xaxis.set_ticks_position('both')
532
533         plt.savefig(folder + '/' + star + '.png', dpi = 200)
534         plt.close()
535
536         return('#######' + star + '#######\n')
537
538     for folder in ['plots_1', 'chi2s_1', 'out3_1', 'plots_2', 'chi2s_2', '
    out3_2']:
539
540         if folder not in os.listdir('.'):
541
542             os.mkdir(folder)
543
544     os.system('cp linelists/linelist_6240.dat .')
545     os.system('cp linelists/linelist_OI6300_no_molecules.dat .')
546
547     data = pd.read_csv('results.csv')
548     snr_file = pd.read_csv('../info_oxygen_clean.csv')
549
550     for i, star in enumerate(data['star']):
551
552         if i >= 0:
553
554             os.system('cp txts/05_final/' + star + '.txt .')
555             os.system('cp atms/atm_' + star + '.txt .')
556
557             if star + '.txt' in os.listdir('.') and data.loc[i, 'e_teff'] <
     100:
558
559                 teff = data.loc[i, 'teff']
560                 logg = data.loc[i, 'logg']
561                 feh = data.loc[i, 'feh']
562                 e_feh = data.loc[i, 'e_feh']
563                 vmic = data.loc[i, 'vmic']
564                 ni = data.loc[i, 'NiI'] - 6.22 if math.isnan(data.loc[i, '
    NiI']) == False else 0.00
565                 e_ni = data.loc[i, 'e_NiI'] if math.isnan(data.loc[i, '
    e_NiI']) == False else 0.05
566                 snr = int(np.sqrt((snr_file[snr_file['star'] == star]['
```

```
    O6300'])**2).sum()))
567
568                 if 'atm_' + star + '.txt' not in os.listdir('.'):
569
570                     file = 'atm_' + star + '.txt'
571                     mod_atm.model_interp('kurucz', 'odfnew', teff, logg,
    feh, vmic, file)
572
573                 delta_lambda_fwhm, dt31 = fixing_wavelength(star, 'Fe')
574                 delta_flux_fwhm, dt32 = fixing_flux_fwhm(star,
    delta_lambda_fwhm)
575                 fe_fwhm, fwhm_gauss, dt33 = fixing_gaussian(star, feh,
    delta_lambda_fwhm, delta_flux_fwhm)
576
577                 dt3 = dt31 + dt32 + dt33
578
579                 delta_lambda_o, dt1 = fixing_wavelength(star, 'O',
    fwhm_gauss)
580                 delta_flux_o, dt2 = fixing_flux_oxygen(star)
581
582
583                 dt = dt1 + dt2 + dt3
584
585                 plotting('plots_1', star, delta_lambda_o, delta_flux_o,
    delta_lambda_fwhm, delta_flux_fwhm, fe_fwhm, fwhm_gauss)
586
587                 data.loc[i, 'SNR_O'] = snr
588                 data.loc[i, 'delta_lambda_o'] = delta_lambda_o
589                 data.loc[i, 'delta_flux_o'] = delta_flux_o
590                 data.loc[i, 'delta_Fe_FWHM'] = np.round(fe_fwhm, 2)
591                 data.loc[i, 'FWHM_gauss'] = fwhm_gauss
592                 data.loc[i, 'delta_lambda_FWHM'] = delta_lambda_fwhm
593                 data.loc[i, 'delta_flux_FWHM'] = delta_flux_fwhm
594                 data.loc[i, 'time'] = np.round(dt, 2)
595
596                 oxygen, final_dw, dt4 = oxygen_synth(star, delta_lambda_o,
    delta_flux_o, fwhm_gauss, feh, ni, e_ni)
597
598                 plotting('plots_2', star, delta_lambda_o, delta_flux_o,
    delta_lambda_fwhm, delta_flux_fwhm, fe_fwhm, fwhm_gauss, oxygen, 0.00,
    ni)
599
600                 data.loc[i, 'OI'] = np.round(oxygen + feh + 8.69, 2)
601                 data.loc[i, 'dw'] = np.round(final_dw, 3)
602                 data.loc[i, 'time2'] = np.round(dt4, 2)
603
604                 e = uncertainties()
```

```
605
606                 data.loc[i, 'e_OI'] = e
607
608                 data.to_csv('results.csv', index = False)
609
610                 os.remove(star + '.txt')
611                 os.remove('atm_' + star + '.txt')
612                 os.remove('out1_' + star + '.txt')
613                 os.remove('out2_' + star + '.txt')
614                 os.remove('out3_' + star + '.txt')
615
616     os.remove('linelist_6240.dat')
617     os.remove('linelist_OI6300_no_molecules.dat')
```

Código A.9: Conteúdo da *pipeline* responsável pela interação com o *driver* `synth` do código MOOG (Sneden 1973).

Apêndice B

Tabelas

Tabela B.1: Informações gerais das estrelas da nossa amostra. A coluna 1 apresenta a identificação das estrelas. As colunas 2 e 3 contêm as coordenadas ascensão reta (RA) e declinação (DEC), respectivamente. As colunas 4, 5 e 6 apresentam de qual instrumento vieram os espectros (HARPS-Sul e/ou HARPS-Norte, isto é, S e/ou N), o número total espectros e o número de espectros sem contaminação na linha do [O I] em 6300 Å que foram combinados, respectivamente. A coluna 7 contém a velocidade radial calculada neste trabalho utilizando a função `fxcor` do IRAF. As colunas 8, 9 e 10 apresentam a magnitude na banda G, a cor G_{BP-RP} e a paralaxe Gaia, respectivamente. A coluna 11 apresenta a magnitude V calculada a partir das relações fotométricas. A coluna 12 apresenta o valor de extinção calculado pelo `StarHorse`. A coluna 13 indica o *data release* do Gaia que foram tirados os valores de G, G_{BP-RP}, π e A_V.

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
55 Cnc	133.1468	28.3298	N	3	2	27.648±0.106	5.7144	1.0135	79.4274±0.0777	5.9169	0.4184	2
BD+20 594	53.6511	20.5990	S	24	25	-20.094±0.042	10.8665	0.8733	5.6384±0.0143	11.0361	0.2418	E3
CoRoT-1	102.0799	-3.1021	S	34	20	23.795±0.158	13.4454	0.7692	1.3000±0.0167	13.5825	0.3345	E3
CoRoT-4	102.1946	-0.6728	S	25	18	32.556±0.151	13.5490	0.7600	1.3623±0.0157	13.6835	0.1365	E3
CoRoT-5	101.2772	0.8152	S	15	9	49.100±0.142	13.8898	0.7918	1.1535±0.0188	14.0337	0.2883	E3
CoRoT-7	100.9562	-1.0630	S	44	44	31.387±0.060	11.5199	0.9949	6.2676±0.0139	11.7322	0.1861	E3
CoRoT-8	291.5886	1.4263	S	18	12	-37.255±0.112	14.2046	1.6261	3.0903±0.0207	14.7172	1.2897	E3
CoRoT-9	280.7866	6.2041	S	32	28	20.001±0.079	13.4892	1.0478	2.3412±0.0160	13.7216	0.5304	E3
CoRoT-19	97.0336	-0.1707	S	14	19	24.474±0.200	13.7714	1.1437	1.1899±0.0181	14.0428	1.1433	E3
CoRoT-32	100.1952	9.2574	S	20	21	17.138±0.110	13.5795	0.8391	1.7619±0.0162	13.7380	0.2225	E3
EPIC 201595106	183.7204	1.9682	S/N	53	67	0.936±0.030	11.6414	0.8396	4.2672±0.0183	11.8000	0.1566	E3
EPIC 211945201	136.5742	19.4021	N	6	8	0.752±0.054	10.0564	0.7189	5.5311±0.0170	10.1793	0.1551	E3
EPIC 220674823	13.0800	10.7947	S/N	29	12	-15.501±0.047	11.9438	0.9380	4.0854±0.0180	12.1354	0.2926	E3
EPIC 229004835	186.4860	-1.4047	N	16	14	-31.144±0.039	10.0531	0.7873	8.2242±0.0219	10.1956	0.1613	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
HAT-P-1	344.4454	38.6749	N	13	13	-2.397±0.055	10.1820	0.7857	6.2438±0.0146	10.3240	0.1964	E3
HAT-P-2	245.1514	41.0480	N	9	9	-19.512±0.439	8.6086	0.6043	7.7811±0.0118	8.7026	0.1681	E3
HAT-P-3	206.0940	48.0286	N	40	39	-23.175±0.098	11.2787	1.0778	7.4159±0.0143	11.5229	0.2206	E3
HAT-P-4	229.9912	36.2295	N	21	23	-1.067±0.065	11.0628	0.7741	3.1071±0.0154	11.2014	0.1971	E3
HAT-P-7	292.2472	47.9695	N	16	16	-10.112±0.092	10.3677	0.6358	2.9991±0.0114	10.4692	0.2049	E3
HAT-P-8	343.0415	35.4472	N	11	5	-22.063±0.232	10.1538	0.7027	4.6606±0.0208	10.2723	0.0890	E3
HAT-P-15	66.2481	39.4606	N	57	57	32.008±0.055	11.7162	1.2277	5.1856±0.0166	12.0243	0.4987	E3
HAT-P-16	9.5730	42.4631	N	14	6	-16.205±0.071	10.7587	0.7194	4.4958±0.0155	10.8817	0.1195	E3
HAT-P-17	324.5360	30.4882	N	37	43	20.517±0.057	10.2785	1.0002	10.8195±0.0182	10.4927	0.2137	E3
HAT-P-21	171.2749	41.0280	N	53	11	-52.690±0.085	11.5572	0.8517	3.5190±0.0228	11.7197	0.1861	E3
HAT-P-22	155.6815	50.1287	N	27	25	12.935±0.084	9.5255	0.9792	12.2731±0.0155	9.7319	0.2732	E3
HAT-P-24	108.8251	14.2626	N	10	9	-1.484±0.400	11.6326	0.6289	2.4202±0.0148	11.7324	0.1778	E3
HAT-P-26	213.1566	4.0594	N	21	0	14.061±0.099	11.4618	1.0785	6.9985±0.0204	11.7063	0.1942	E3
HAT-P-27	222.7673	5.9474	S	33	33	-15.547±0.086	11.9557	1.0469	4.9528±0.0169	12.1878	0.3607	E3
HAT-P-29	33.1311	51.7788	N	28	9	-21.348±0.101	11.7277	0.8578	3.1358±0.0201	11.8922	0.4092	E3
HAT-P-30	123.9498	5.8369	N	8	9	45.004±0.074	10.3042	0.6750	4.8037±0.0148	10.4155	0.0704	E3
HAT-P-31	271.5377	26.4266	N	13	12	-2.698±0.071	11.4481	0.7976	2.9151±0.0134	11.5937	0.3542	E3
HAT-P-32	31.0428	46.6879	N	3	3	-23.334±0.976	-	-	-	-	-	-
HAT-P-33	113.1842	33.8350	N	38	47	23.884±0.482	11.0244	0.5867	2.5186±0.0195	11.1144	0.0610	E3
HAT-P-36	188.2662	44.9154	N	16	16	-15.981±0.110	12.0850	0.8713	3.4055±0.0110	12.2539	0.0756	E3
HAT-P-41	297.3227	4.6724	N	35	65	33.079±0.610	10.9403	0.7284	2.8477±0.0176	11.0658	0.3192	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
HAT-P-44	213.1439	47.0148	N	6	6	-33.864±0.081	12.9631	0.9962	2.8705±0.0144	13.1758	0.1261	E3
HAT-P-50	118.0634	12.1393	N	32	40	6.685±0.385	11.6777	0.6687	2.0383±0.0444	11.7874	0.0199	E3
HATS-17	192.1896	-47.6137	S	34	14	23.251±0.071	12.2076	0.8739	2.5068±0.0124	12.3773	0.3439	E3
HATS-27	193.5525	-46.5877	S	14	15	-3.282±0.218	12.6648	0.6525	1.2474±0.0178	12.7704	0.3788	E3
HATS-38	154.2711	-25.2763	S	22	21	4.390±0.054	12.2685	0.8724	2.9473±0.0135	12.4378	0.2126	E3
HATS-56	180.1651	-45.7995	S	3	3	38.219±0.144	11.4866	0.7072	1.7570±0.0216	11.6063	0.3439	E3
HATS-58 A	186.7873	-48.9784	S	7	6	19.807±0.131	-	-	-	-	-	-
HD 1397	4.4472	-66.3589	S	13	23	31.054±0.062	7.6057	0.9289	12.4934±0.0170	7.7941	0.1298	E3
HD 3167	8.7401	4.3807	S/N	12	12	19.743±0.059	8.7724	0.9819	21.1363±0.0187	8.9798	0.2369	E3
HD 5278	12.5468	-83.7438	S	1	1	-30.042±0.071	7.8159	0.6854	17.4177±0.0178	7.9299	0.1103	E3
HD 6061	15.5981	37.1854	N	4	6	10.462±0.044	8.7094	0.7526	14.7714±0.0155	8.8417	0.1373	E3
HD 15337	36.8679	-27.6361	S	9	17	-3.612±0.078	8.8650	1.0390	22.2922±0.0160	9.0940	0.3187	E3
HD 17156	42.4366	71.7531	N	3	9	-2.907±0.042	8.0437	0.7455	12.9142±0.0177	8.1741	0.0849	E3
HD 18599	44.2620	-56.1919	S	14	16	0.342±0.098	8.7417	1.0631	25.8847±0.0128	8.9801	0.3271	E3
HD 20329	49.1781	15.6564	N	18	0	-71.306±0.033	8.6008	0.8588	15.6585±0.0232	8.7656	0.3479	E3
HD 28109	65.2383	-68.1027	S	11	12	2.488±0.077	9.3063	0.6750	7.1305±0.0098	9.4176	0.1379	E3
HD 39091	84.2993	-80.4646	S	2	2	11.290±0.027	5.4907	0.7743	54.7052±0.0671	5.6174	0.1592	2
HD 42813	93.0578	-14.6493	S	5	3	82.095±0.084	9.2822	0.9816	14.7065±0.0159	9.4896	0.1841	E3
HD 63935	117.9246	9.3852	N	11	11	-19.950±0.032	8.4036	0.8880	20.4700±0.0190	8.5780	0.1517	E3
HD 73344	129.6894	23.6853	N	3	3	6.558±0.052	6.7626	0.7077	28.3757±0.0213	6.8825	0.1189	E3
HD 80606	140.6570	50.6038	N	6	6	4.253±0.066	8.8290	0.9008	15.1439±0.0170	9.0077	0.2090	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
HD 86226	149.1235	-24.0992	S	7	7	20.027±0.021	7.7838	0.7722	21.9301±0.0267	7.9219	0.1736	E3
HD 89345	154.6711	10.1288	S/N	24	23	2.618±0.100	-	-	-	-	-	-
HD 93963 A	162.7767	25.6411	N	12	12	13.528±0.028	9.0403	0.7650	12.1506±0.0171	9.1763	0.1701	E3
HD 95338	164.8563	-56.6236	S	15	8	96.874±0.088	8.3923	1.0376	27.0521±0.0168	8.6207	0.2037	E3
HD 97658	168.6377	25.7106	S	2	2	-1.347±0.066	7.5268	1.0163	46.3763±0.0221	7.7471	0.2056	E3
HD 106315	183.4725	-0.3934	S	5	5	-3.070±0.243	8.8954	0.6108	9.1725±0.0221	8.9909	0.0598	E3
HD 108236	186.5741	-51.3631	S	8	10	17.006±0.038	9.0956	0.8216	15.4861±0.0127	9.2486	0.0689	E3
HD 109833	189.7759	-74.5740	S	30	37	10.813±0.110	9.1448	0.7834	12.5686±0.0118	9.2861	0.1097	E3
HD 110113	190.0366	-44.3121	S	14	21	17.443±0.031	9.9148	0.8485	9.4499±0.0158	10.0763	0.1160	E3
HD 118203	203.5100	53.7282	N	14	22	-28.890±0.053	7.9050	0.8261	10.8643±0.0180	8.0594	0.3745	E3
HD 136352	230.4401	-48.3188	S	1	0	-68.470±0.039	5.4619	0.8306	68.0818±0.0915	5.6046	0.0922	2
HD 137496	231.7421	-16.5090	S	30	30	-2.688±0.028	9.7798	0.8940	6.4217±0.0189	9.9563	0.3829	E3
HD 149026	247.6230	38.3475	N	32	32	-17.742±0.061	8.0266	0.7262	13.1203±0.0162	8.1515	0.1941	E3
HD 152843	253.7849	20.4915	N	16	21	10.283±0.115	8.7728	0.6751	9.1607±0.0152	8.8840	0.1555	E3
HD 183579	293.2866	-54.5327	S	10	13	-15.294±0.023	8.5265	0.8067	17.6090±0.0162	8.6749	0.1017	E3
HD 189733	300.1821	22.7098	S/N	11	11	-2.055±0.096	7.4284	1.0959	50.5668±0.0162	7.6800	0.1336	E3
HD 191939	302.0256	66.8503	N	23	21	-9.010±0.042	8.7828	0.9142	18.6967±0.0133	8.9662	0.2322	E3
HD 202772 A	319.6996	-26.6164	S	9	9	-17.773±0.085	8.2439	0.6457	6.1367±0.0449	8.3478	0.2103	E3
HD 209458	330.7950	18.8842	S/N	8	8	-14.381±0.044	7.5212	0.7130	20.7694±0.0266	7.6426	0.1978	E3
HD 213885	338.9837	-59.8648	S	7	7	36.404±0.024	7.8168	0.7859	20.9317±0.0218	7.9589	0.2879	E3
HD 219666	349.5593	-56.9040	S	24	13	-19.860±0.043	9.6554	0.8924	10.6224±0.0121	9.8313	0.1306	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
HD 332231	306.7411	33.7444	N	26	26	-23.114±0.058	8.4280	0.7056	12.4074±0.0142	8.5474	0.1141	E3
HIP 9618	30.9050	21.2813	N	11	11	-15.831±0.027	9.0335	0.8588	14.8601±0.0155	9.1982	0.1223	E3
HIP 41378	126.6158	10.0804	S	15	11	50.984±0.073	8.8185	0.6479	9.4360±0.0208	8.9230	0.1366	E3
HIP 94235	287.7411	-60.2726	S	7	7	10.459±0.363	-	-	-	-	-	-
HR 858	42.9850	-30.8141	S	1	1	9.889±0.088	6.2650	0.6545	31.5418±0.0352	6.3710	0.0867	E3
K2-10	172.1216	1.6906	N	19	4	8.429±0.059	12.2078	0.8890	3.6647±0.0140	12.3825	0.1942	E3
K2-19	174.9603	0.6036	S/N	48	43	7.550±0.065	12.8060	0.9693	3.3410±0.0196	13.0088	0.0665	E3
K2-27	171.5152	1.2306	S/N	26	16	-37.564±0.075	12.4432	1.0173	4.0219±0.0160	12.6639	0.2096	E3
K2-29	62.6704	24.4017	N	24	24	33.169±0.109	12.2008	1.2720	5.5745±0.0408	12.5074	0.4562	2
K2-30	52.3421	22.2993	S/N	12	12	35.918±0.084	13.1950	1.2623	2.9987±0.0138	13.5190	0.7399	E3
K2-31	245.4406	-23.5483	S	3	3	-4.639±0.058	10.5383	0.9842	9.0760±0.0167	10.7465	0.1829	E3
K2-32	252.4260	-19.5431	S	140	127	-1.973±0.059	11.9952	1.2147	6.3939±0.0153	12.2974	0.3916	E3
K2-34	127.5787	22.2359	N	14	18	46.744±0.155	11.4352	0.7212	2.8764±0.0265	11.5588	0.0842	E3
K2-58	333.8218	-14.0499	N	16	13	6.853±0.106	12.1280	1.1062	5.4932±0.0194	12.3838	0.1426	E3
K2-79	55.2559	13.5192	S/N	15	13	-9.899±0.052	11.7994	1.1097	3.8412±0.0146	12.0566	0.9686	E3
K2-98	126.4882	11.5111	S/N	9	3	77.043±0.108	12.0307	0.6911	1.9121±0.0131	12.1462	0.2525	E3
K2-100	129.6011	20.1060	N	35	69	34.768±0.146	10.4102	0.7394	5.4723±0.0244	10.5388	0.1328	E3
K2-105	125.4203	13.4975	N	39	29	-32.152±0.064	11.7056	0.9521	5.0105±0.0154	11.9022	0.1478	E3
K2-108	123.3818	16.4195	N	3	3	31.342±0.073	12.1619	0.9350	2.1242±0.0141	12.3524	0.1521	E3
K2-131	182.7514	-9.7652	N	38	36	-6.508±0.100	11.8899	1.0846	6.4786±0.0212	12.1369	0.2408	E3
K2-138	348.9490	-10.8497	S	100	145	0.866±0.064	12.0222	0.9952	4.9437±0.0150	12.2346	0.2469	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
K2-165	184.9005	0.9683	S	8	8	-0.871±0.072	11.3301	1.0310	7.6186±0.0267	11.5561	0.1562	E3
K2-167	336.5761	-18.0117	S/N	25	25	-17.182±0.085	8.1161	0.6981	12.4224±0.0286	8.2334	0.1223	E3
K2-173	60.3752	15.6251	N	11	2	101.749±0.106	12.1755	1.0787	4.4121±0.0168	12.4202	0.8624	E3
K2-179	58.7968	23.7568	N	3	3	-2.327±0.116	12.6789	1.2283	5.3107±0.0153	12.9873	0.3411	E3
K2-180	126.4644	10.2466	N	16	4	-76.420±0.096	12.3948	0.9640	4.9130±0.0134	12.5957	0.2422	E3
K2-182	130.1800	10.9830	S/N	6	2	23.109±0.088	11.7202	1.0490	6.4709±0.0286	11.9531	0.1429	E3
K2-184	129.1405	14.4619	N	1	0	-33.148±0.059	10.1345	1.0020	13.2175±0.0172	10.3494	0.1592	E3
K2-188	129.8137	23.3574	N	19	12	-34.189±0.092	12.4784	0.7719	2.2799±0.0146	12.6163	0.1629	E3
K2-189	203.6214	-15.0365	S/N	13	12	16.025±0.057	12.2429	0.9472	4.1223±0.0164	12.4378	0.1463	E3
K2-197	202.3935	-7.3740	S	5	5	-6.295±0.033	11.9846	0.8786	4.0113±0.0218	12.1559	0.1960	E3
K2-198	198.8437	-6.4650	N	3	3	2.394±0.087	11.0129	1.0326	8.9659±0.0266	11.2394	0.1910	E3
K2-222	16.4625	11.7537	S/N	58	62	2.040±0.085	9.3659	0.7310	10.0427±0.0186	9.4922	0.1547	E3
K2-223	185.3062	-10.2821	N	51	49	9.588±0.034	11.2712	0.8458	4.8500±0.0216	11.4319	0.2307	E3
K2-229	186.8729	-6.7218	S/N	63	50	23.194±0.072	10.7922	1.0283	9.7621±0.0215	11.0171	0.1961	E3
K2-232	73.7668	18.6543	S/N	17	17	22.682±0.058	9.7320	0.7766	7.7059±0.0170	9.8713	0.1304	E3
K2-237	253.7688	-28.7106	S	11	0	-21.975±0.286	11.4669	0.7559	3.2542±0.0292	11.6002	0.2307	E3
K2-244	183.4686	-3.8318	N	3	2	-19.757±0.077	11.6263	0.8364	4.6490±0.0246	11.7839	0.1582	E3
K2-265	342.0316	-14.4948	S/N	53	48	-17.955±0.044	10.9292	0.9593	7.1550±0.0161	11.1284	0.2448	E3
K2-269	130.1551	13.0147	N	1	1	-3.056±0.142	11.3834	0.6820	2.7202±0.0300	11.4965	0.0206	E3
K2-274	129.2824	20.3993	N	20	18	42.657±0.098	12.8745	1.0845	4.3778±0.0190	13.1215	0.2045	E3
K2-285	349.3843	1.3002	N	10	10	14.863±0.077	11.7991	1.0701	6.4368±0.0165	12.0403	0.2976	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
K2-291	76.4459	21.5482	S/N	14	17	25.355±0.037	9.8705	0.9011	11.1714±0.0162	10.0493	0.0706	E3
K2-333	136.7893	15.2057	S/N	22	21	22.079±0.036	11.9768	0.8077	2.8479±0.0184	12.1255	0.1666	E3
K2-334	136.4894	16.3255	S	2	2	18.874±0.191	11.3467	0.6558	2.6276±0.0249	11.4531	0.1558	E3
K2-352	140.4451	18.4696	S/N	8	8	-8.678±0.030	11.1170	0.8360	5.6146±0.0259	11.2745	0.0724	E3
K2-370	67.8205	19.8317	S/N	52	41	-21.742±0.041	10.8858	0.9705	7.0955±0.0199	11.0891	0.1814	E3
KELT-3	148.6431	40.3879	N	25	25	28.239±0.139	9.7689	0.6196	4.7860±0.0272	9.8665	0.0385	E3
KELT-4 A	157.0626	25.5731	N	3	3	-23.206±0.114	9.9656	0.6512	4.5860±0.0158	10.0708	0.0816	E3
KELT-6	195.9818	30.6401	N	68	67	1.444±0.124	10.1977	0.6517	4.1062±0.0176	10.3031	0.1898	E3
KELT-10	284.5484	-47.0033	S	83	83	32.211±0.062	10.7029	0.8033	5.2834±0.0174	10.8503	0.1547	E3
KOI-351	284.4335	49.3051	N	10	0	-16.977±0.131	13.7272	0.7518	1.1695±0.0112	13.8593	0.2090	E3
Kepler-9	285.5740	38.4008	N	30	14	2.574±0.121	13.7693	0.8528	1.5823±0.0120	13.9322	0.2007	E3
Kepler-19	290.4210	37.8517	N	70	29	-10.396±0.048	11.8694	0.9004	4.5296±0.0087	12.0480	0.2165	E3
Kepler-20	287.6980	42.3386	N	79	67	-20.696±0.058	12.4455	0.9264	3.4936±0.0095	12.6330	0.1920	E3
Kepler-21	287.3620	38.7141	N	3	3	-18.897±0.103	8.1396	0.6799	9.2181±0.0173	8.2521	0.0889	E3
Kepler-25	286.6384	39.4879	N	47	47	-8.134±0.198	10.6335	0.6699	4.1456±0.0113	10.7434	0.0144	E3
Kepler-36	291.2502	49.2318	N	4	4	8.858±0.111	12.0702	0.7394	1.8528±0.0087	12.1988	0.1398	E3
Kepler-37	284.0593	44.5184	N	1	0	-58.371±0.296	9.5569	0.9255	15.6253±0.0105	9.7441	0.2486	E3
Kepler-50	288.1009	50.0337	N	10	8	-2.528±0.166	10.3642	0.6791	3.9654±0.0152	10.4766	0.0596	E3
Kepler-63	289.2263	49.5483	N	13	13	-21.993±0.084	11.5359	0.9037	5.1157±0.0096	11.7156	0.1301	E3
Kepler-65	288.6887	41.1511	N	8	5	-17.151±0.118	10.9665	0.6977	3.3184±0.0108	11.0837	0.1535	E3
Kepler-68	291.0323	49.0402	N	72	72	-20.527±0.045	9.9381	0.8014	6.9298±0.0100	10.0849	0.1689	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
Kepler-100	291.3861	41.9901	N	6	1	-61.189±0.045	11.1286	0.8106	3.2578±0.0101	11.2782	0.1860	E3
Kepler-107	297.0282	48.2086	N	80	33	5.910±0.066	12.4556	0.8397	1.9259±0.0092	12.6142	0.2285	E3
Kepler-126	289.3474	44.2084	N	7	7	-20.718±0.170	10.4573	0.6514	4.3258±0.0118	10.5626	0.0847	E3
Kepler-372	291.2562	49.2589	N	4	4	8.858±0.111	-	-	-	-	-	-
Kepler-381	285.1829	43.8310	N	1	1	-3.315±0.152	10.5487	0.6174	3.7357±0.0107	10.6458	0.2108	E3
Kepler-421	283.2568	45.0877	N	6	6	-25.069±0.095	13.3375	0.9967	2.9019±0.0151	13.5504	0.2088	E3
Kepler-444	289.7528	41.6319	N	4	6	-121.167±0.085	8.6546	1.0253	27.3578±0.0125	8.8783	0.3779	E3
Kepler-449	293.7328	41.9006	N	17	4	-54.026±0.128	-	-	-	-	-	-
Kepler-477	288.0674	42.3553	N	5	5	9.151±0.117	-	-	-	-	-	-
Kepler-489	290.8332	38.1842	N	8	8	-15.421±0.122	-	-	-	-	-	-
Kepler-491	287.1306	42.3502	N	11	11	-59.810±0.084	13.9498	0.9461	1.5621±0.0119	14.1443	0.2378	E3
Kepler-511	282.9455	47.5749	N	9	4	1.399±0.132	12.5766	0.7964	1.5286±0.0099	12.7218	0.2185	E3
Kepler-538	297.4866	49.6234	N	79	28	-37.106±0.040	11.1643	0.8894	6.4260±0.0124	11.3392	0.1492	E3
Kepler-849	290.8518	48.5213	N	6	4	-28.910±0.117	12.8279	0.7780	1.2302±0.0103	12.9676	0.1466	E3
Kepler-990	297.9382	46.8813	N	1	1	-11.905±0.068	14.4838	0.9314	1.2478±0.0168	14.6730	0.2623	E3
Kepler-1247	294.5336	46.6182	N	3	3	-70.661±0.060	15.8891	1.0566	0.9571±0.0293	16.1250	0.3441	E3
Kepler-1300	289.0331	40.0869	N	40	41	-28.235±0.074	12.7589	0.7955	1.2755±0.0100	12.9039	0.4189	E3
Kepler-1323	292.8723	46.0987	N	20	2	2.317±0.116	12.3369	0.7253	2.1318±0.0094	12.4616	0.1620	E3
Kepler-1514	292.6275	37.8602	N	67	37	-27.569±0.159	11.8218	0.6919	2.4733±0.0110	11.9375	0.1203	E3
Kepler-1515	290.9739	48.1782	N	21	8	-37.441±0.198	11.9918	0.6544	1.8023±0.0100	12.0978	0.0637	E3
Kepler-1622	297.3288	47.8155	N	1	1	-22.809±0.119	-	-	-	-	-	-

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
Kepler-1655	286.6896	39.2121	N	80	30	-40.409±0.103	11.0150	0.7160	4.6634±0.0115	11.1371	0.1135	E3
Kepler-1704	291.2013	51.1442	N	4	4	-20.425±0.079	13.2387	0.8610	1.1868±0.0094	13.4042	0.2991	E3
Kepler-1869	292.6150	42.7643	N	11	11	10.359±0.025	10.0985	0.8302	8.8182±0.0115	10.2542	0.1546	E3
Kepler-1911	299.3036	41.4410	N	2	0	-39.591±0.050	12.1055	0.8718	3.6806±0.0093	12.2746	0.3482	E3
LTT 9779	358.6689	-37.6282	S	42	42	-10.539±0.067	9.6056	0.9483	12.3381±0.0166	9.8008	0.1668	E3
NGTS-4	89.5989	-30.8118	S	14	0	111.078±0.102	-	-	-	-	-	-
NGTS-5	221.0583	5.6054	S	15	16	-5.287±0.116	13.5163	1.1187	3.2114±0.0137	13.7773	0.3368	E3
NGTS-11	23.5214	-14.4191	S	22	22	21.627±0.096	12.1774	1.0869	5.2943±0.0180	12.4254	0.1459	E3
NGTS-12	176.2499	-35.6406	S	8	8	-12.351±0.063	12.1184	0.8769	2.2471±0.0130	12.2892	0.2143	E3
NGTS-14 A	328.5175	-38.3774	S	16	16	30.490±0.082	13.0890	1.0202	3.1209±0.0166	13.3108	0.1403	E3
NGTS-30	173.7149	-24.6055	S	19	11	45.832±0.133	12.1646	0.9559	4.1305±0.0157	12.3625	0.2330	E3
PH2	289.7636	51.9627	N	30	25	-18.518±0.072	12.5749	0.8389	2.9134±0.0105	12.7333	0.1062	E3
TIC 257060897	227.5322	72.7103	N	11	8	-11.365±0.093	11.6617	0.7578	1.9695±0.0112	11.7956	0.2682	E3
TOI-125	23.5934	-66.6763	S	53	53	11.338±0.060	10.7179	0.9938	9.0623±0.0101	10.9298	0.1649	E3
TOI-128	79.5209	-80.9644	S	14	14	11.606±0.045	8.3839	0.7342	14.6568±0.0160	8.5111	0.2980	E3
TOI-132	338.3997	-43.4369	S	20	6	-20.013±0.069	11.3219	0.9769	6.0810±0.0213	11.5275	0.0921	E3
TOI-199	80.1059	-59.8954	S	48	48	51.588±0.089	10.5783	1.0368	9.8296±0.0105	10.8065	0.1547	E3
TOI-201	87.4018	-54.9104	S	26	26	17.224±0.082	8.9493	0.6715	8.9141±0.0142	9.0597	0.1420	E3
TOI-216	73.9800	-63.2603	S	15	14	36.942±0.116	12.1576	1.1288	5.6152±0.0096	12.4228	0.2342	E3
TOI-220	91.7997	-61.9972	S	26	26	26.347±0.051	10.1937	0.9563	10.9969±0.0116	10.3918	0.1673	E3
TOI-238	349.2311	-18.6066	S	50	25	-13.405±0.091	-	-	-	-	-	-

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	$N_{\rm O}$	VR (km s^{-1})	G (mag)	$G_{\rm BP-RP}$ (mag)	π (mas)	V (mag)	$A_{\rm V}$ (mag)	DR
TOI-257	47.5173	-50.8323	S	13	13	0.350±0.092	7.4310	0.7260	13.0107±0.0172	7.5559	0.3795	E3
TOI-261	15.2181	-24.4240	S	16	16	10.998±0.046	9.4311	0.7222	8.7997±0.0225	9.5549	0.1155	E3
TOI-286	90.9843	-60.6663	S	6	6	17.991±0.077	9.6567	1.0504	16.8709±0.0125	9.8902	0.1648	E3
TOI-332	348.0590	-44.8765	S	18	18	-6.466±0.082	12.0545	1.0168	4.5416±0.0265	12.2750	0.1592	E3
TOI-421	81.8533	-14.2767	S	27	11	79.761±0.058	9.7834	0.9706	13.3337±0.0117	9.9866	0.1996	E3
TOI-451	62.9664	-37.9397	S	26	25	20.096±0.072	10.7561	0.9176	8.0993±0.0108	10.9405	0.2265	E3
TOI-480	88.3785	-16.2654	N	6	6	5.513±0.074	7.1591	0.6803	18.4230±0.0192	7.2717	0.1336	E3
TOI-561	148.1852	6.2161	N	20	13	79.906±0.051	10.0181	0.9253	11.8342±0.0208	10.2052	0.2436	E3
TOI-628	99.2631	1.7675	N	8	4	19.401±0.059	10.0609	0.7501	5.3855±0.0249	10.1926	0.0925	E3
TOI-640	99.7346	-36.6461	S	62	62	40.807±0.108	10.4032	0.6870	2.9493±0.0134	10.5176	0.2332	E3
TOI-733	159.4093	-40.8883	S	19	19	-23.587±0.022	9.2966	0.8460	13.2847±0.0127	9.4573	0.1120	E3
TOI-757	187.9948	-35.5545	S	27	27	-6.821±0.053	9.5615	0.9628	16.5816±0.0162	9.7620	0.2281	E3
TOI-763	194.4681	-39.7581	S	41	34	-13.760±0.030	10.0043	0.8956	10.4655±0.0183	10.1813	0.1725	E3
TOI-849	28.7158	-29.4217	S	45	45	9.579±0.073	12.0565	0.9761	4.4347±0.0142	12.2618	0.2082	E3
TOI-907	262.1834	-62.8404	S	8	0	-19.208±0.086	10.3302	0.7208	3.2948±0.0168	10.4536	0.0621	E3
TOI-908	53.1594	-81.2507	S	35	30	9.337±0.037	11.1050	0.8565	5.6856±0.0101	11.2690	0.1931	E3
TOI-954	61.9411	-25.2088	S	4	4	-7.053±0.077	10.2353	0.8560	4.1829±0.0156	10.3992	0.4046	E3
TOI-1011	113.9848	-32.8420	S	67	67	46.750±0.050	8.7392	0.9340	19.0911±0.0125	8.9295	0.2531	E3
TOI-1052	337.5103	-75.6466	S	30	26	55.210±0.044	9.4068	0.7119	7.7410±0.0133	9.5278	0.0641	E3
TOI-1062	38.1210	-78.0237	S	34	27	-4.409±0.069	10.0054	0.9977	12.1436±0.0100	10.2187	0.1007	E3
TOI-1117	273.6021	-66.4200	S	130	54	-24.644±0.041	10.8622	0.8613	5.9951±0.0154	11.0278	0.1262	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
TOI-1135	193.3964	85.1295	N	27	27	-21.001±0.160	9.4186	0.7208	8.7579±0.0112	9.5421	0.1679	E3
TOI-1136	192.1849	64.8553	N	74	29	7.618±0.044	9.3755	0.8142	11.8236±0.0108	9.5262	0.1128	E3
TOI-1246	251.1159	70.4300	N	28	26	-38.029±0.077	11.7248	1.0484	5.8469±0.0111	11.9575	0.2363	E3
TOI-1248	259.0236	63.1056	N	10	10	-32.958±0.074	11.6512	1.0373	5.8976±0.0209	11.8623	0.1718	2
TOI-1288	313.1670	65.6088	N	57	30	-67.843±0.064	10.4507	0.9817	8.7201±0.0132	10.6581	0.2083	E3
TOI-1294	223.0926	70.4766	N	7	0	-94.497±0.073	11.3967	0.8524	3.0144±0.0122	11.5595	0.1716	E3
TOI-1295	256.6722	67.8715	N	13	13	-18.695±0.135	11.1295	0.6235	2.4656±0.0150	11.2280	0.0695	E3
TOI-1333	325.0145	48.4068	N	4	4	-15.060±0.278	9.3570	0.5906	5.1004±0.0130	9.4479	0.1371	E3
TOI-1472	14.1143	48.6375	N	50	30	-14.647±0.087	11.1107	1.0888	8.1802±0.0880	11.3411	0.1817	2
TOI-1601	38.3616	41.0134	N	4	4	-7.295±0.064	10.5295	0.7997	2.9860±0.0247	10.6758	0.1775	E3
TOI-1670	259.0173	72.1612	N	7	7	-11.183±0.107	9.8232	0.6602	6.0224±0.0133	9.9307	0.2143	E3
TOI-1710	94.2838	76.2110	N	54	33	-38.584±0.026	9.3674	0.8455	12.3247±0.0103	9.5279	0.1344	E3
TOI-1736	43.4345	69.1013	N	36	29	-25.084±0.033	8.7885	0.8487	11.3435±0.0150	8.9500	0.3517	E3
TOI-1758	354.7416	75.6852	N	35	24	-27.812±0.067	10.6255	1.0301	10.4195±0.0096	10.8510	0.1876	E3
TOI-1776	164.7773	40.9837	N	40	20	-24.146±0.039	8.1019	0.8139	22.3465±0.0329	8.2525	0.1559	E3
TOI-1836	245.9079	54.6901	N	66	0	-50.080±0.110	9.6509	0.6559	5.2725±0.0131	9.7574	0.1767	E3
TOI-2000	146.3971	-66.6866	S	75	41	8.348±0.078	10.8542	0.9389	5.7604±0.0105	11.0461	0.2921	E3
TOI-2046	16.1849	74.3313	N	31	31	-20.421±0.185	11.4081	0.7851	3.4729±0.0127	11.5500	0.1451	E3
TOI-2076	217.3920	39.7904	N	11	11	-12.571±0.086	8.9181	1.0304	23.8052±0.0125	9.1438	0.1485	E3
TOI-2196	312.3401	-70.4851	S	74	73	35.846±0.047	11.8175	0.8683	3.7882±0.0132	11.9854	0.1643	E3
TOI-2202	51.2284	-73.9575	S	21	0	0.130±0.102	12.7540	1.1271	4.2257±0.0186	13.0185	0.3542	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
TOI-2207	307.5967	-44.8876	S	2	2	-35.345±0.198	11.3516	0.7303	2.6638±0.0201	11.4777	0.1166	E3
TOI-2211	308.5391	-29.6726	S	17	9	-46.392±0.074	9.7798	0.9941	14.1943±0.0154	9.9918	0.2430	E3
TOI-2328	31.6907	-81.2474	S	23	0	-0.507±0.068	12.1029	0.9950	4.3202±0.0090	12.3152	0.3438	E3
TOI-2338	81.3446	-34.6682	S	17	8	84.382±0.077	12.1785	0.9082	3.2591±0.0096	12.3597	0.1707	E3
TOI-2447	70.9976	-31.9066	S	49	46	3.265±0.043	10.4412	0.8062	6.6956±0.0115	10.5894	0.1430	E3
TOI-2458	79.6215	1.2534	S	20	19	57.664±0.040	9.1054	0.7251	8.9739±0.0172	9.2300	0.1486	E3
TOI-2498	95.4162	11.2516	S	16	16	7.696±0.047	11.2661	0.7945	3.6087±0.0208	11.4108	0.1712	E3
TOI-2529	118.9945	-52.3548	S	28	28	21.598±0.066	11.1902	0.9856	3.3565±0.0150	11.3990	0.4405	E3
TOI-2545	135.5458	-3.4208	S	9	9	37.267±0.032	9.3023	0.7308	9.4925±0.0170	9.4285	0.0919	E3
TOI-2589	107.4882	-37.2309	S	21	9	68.840±0.066	11.1979	0.8940	5.0140±0.0147	11.3743	0.2287	E3
TOI-2641	171.1304	-42.7321	S	7	7	-6.338±0.085	11.5648	0.7181	2.8836±0.0173	11.6875	0.1686	E3
TOI-2981	163.4874	-25.5246	S	15	14	13.430±0.224	13.1776	0.8157	1.8722±0.0166	13.3288	0.3451	E3
TOI-3071	173.2791	-56.5034	S	18	7	9.656±0.063	12.2670	0.7624	2.0101±0.0097	12.4022	0.3547	E3
TOI-3261	47.7285	-73.5320	S	34	0	-1.670±0.109	13.0466	1.0822	3.3278±0.0089	13.2927	0.2362	E3
TOI-3493	205.7990	-22.5854	S	20	20	33.054±0.032	9.1271	0.7878	10.2945±0.0206	9.2698	0.1515	E3
TOI-3837	152.6663	24.2731	S	7	0	-56.179±0.116	11.8051	0.8269	3.0772±0.0266	11.9597	0.3925	E3
TOI-4406	18.0485	-56.9254	S	13	13	24.446±0.056	10.9552	0.7268	3.8182±0.0117	11.0803	0.1190	E3
TOI-4600	258.4504	64.5662	N	17	17	10.250±0.098	12.4340	1.0750	4.6200±0.0114	12.6772	0.2664	E3
TOI-4914	204.5427	-28.1429	S	23	27	11.856±0.101	12.0930	0.8228	3.3803±0.0156	12.2464	0.2323	E3
TOI-4994	283.1325	-78.4344	S	7	6	5.667±0.185	12.4792	1.0093	3.0080±0.0229	12.6802	0.4440	2
TOI-5005	238.1082	-48.1451	S	37	15	18.106±0.043	11.6341	0.9615	4.7601±0.0170	11.8340	0.3970	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
TOI-5027	243.8850	-69.2171	S	1	0	-34.055±0.080	11.3319	0.7983	4.8413±0.0176	11.4777	0.1126	E3
TOI-5082	106.5696	22.6831	N	6	6	26.829±0.022	8.0926	0.8676	23.2381±0.0259	8.2602	0.1955	E3
TOI-5143	165.3651	5.1395	N	10	10	13.623±0.071	11.8203	1.0354	5.5942±0.0189	12.0479	0.2356	E3
TOI-5153	91.5403	-19.9534	S	9	6	-34.940±0.224	11.5756	0.6821	2.5634±0.0229	11.6887	0.2109	E3
TOI-5398	161.8796	36.3294	N	71	55	-9.175±0.096	9.9875	0.7582	7.6190±0.0143	10.1214	0.0777	E3
TOI-5542	302.7984	-61.1355	S	18	9	-54.152±0.096	12.2716	0.8216	2.8042±0.0139	12.4245	0.2041	E3
TOI-5678	47.3842	-34.1985	S	24	24	0.286±0.051	11.1485	0.9054	6.0987±0.0137	11.3288	0.1280	E3
TOI-5795	304.8688	-7.5477	S	19	5	-66.742±0.060	10.6388	0.8549	6.1900±0.0213	10.8023	0.2110	E3
TOI-6628	225.8371	-35.2306	S	19	18	2.871±0.111	12.6319	1.0607	3.2531±0.0165	12.8694	0.3719	E3
TOI-6695	129.5720	-23.5502	S	54	52	0.409±0.092	10.7461	0.7348	3.5377±0.0121	10.8735	0.2430	E3
TrES-1	286.0409	36.6325	N	18	18	-20.268±0.069	11.5522	1.0100	6.2648±0.0111	11.7701	0.2240	E3
TrES-2	286.8085	49.3164	N	15	10	-0.134±0.053	11.2819	0.8150	4.6154±0.0224	11.4201	0.3420	2
TrES-4	268.3043	37.2117	N	19	15	-15.808±0.160	11.4699	0.6752	1.9686±0.0136	11.5812	0.0873	E3
WASP-1	5.1670	31.9900	N	7	5	-13.135±0.087	11.5322	0.7522	2.6108±0.0218	11.6645	0.2954	E3
WASP-2	307.7256	6.4293	S	42	18	-27.543±0.082	11.5723	1.0821	6.5777±0.0270	11.8183	0.2537	E3
WASP-4	353.5629	-42.0618	S	49	0	58.040±0.071	12.3053	0.9197	3.6623±0.0147	12.4906	0.1588	E3
WASP-5	359.3490	-41.2772	S	62	62	20.229±0.060	11.9879	0.8436	3.1883±0.0150	12.1478	0.1315	E3
WASP-6	348.1571	-22.6741	S	99	98	11.694±0.079	11.9686	0.9409	5.0073±0.0130	12.1612	0.1541	E3
WASP-7	311.0428	-39.2255	S	19	14	-28.882±0.443	9.3837	0.6074	6.1902±0.0176	9.4784	0.0723	E3
WASP-8	359.9009	-35.0313	S	101	101	-1.288±0.051	9.6193	0.8821	11.1052±0.0175	9.7918	0.2788	E3
WASP-12	97.6366	29.6723	N	76	73	19.334±0.107	11.4986	0.7509	2.4213±0.0166	11.6305	0.2372	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
WASP-13	140.1030	33.8823	N	17	15	10.113±0.068	10.3830	0.7507	4.3310±0.0195	10.5148	0.0941	E3
WASP-14	218.2766	21.8947	N	15	15	-4.341±0.119	9.6527	0.6049	6.2205±0.0172	9.7468	0.0692	E3
WASP-15	208.9280	-32.1597	S	54	54	-2.016±0.122	10.7977	0.6628	3.4891±0.0176	10.9058	0.1682	E3
WASP-16	214.6830	-20.2754	S	78	68	-1.666±0.046	11.1212	0.8999	5.1912±0.0262	11.2996	0.3051	E3
WASP-18	24.3545	-45.6778	S	73	72	3.646±0.171	9.1739	0.6340	8.1443±0.0116	9.2749	0.2139	E3
WASP-19	148.4168	-45.6591	S	82	88	21.077±0.090	12.1012	0.9532	3.7516±0.0090	12.2982	0.2139	E3
WASP-20	5.1606	-23.9358	S	63	62	1.554±0.063	10.8391	0.7570	3.4699±0.7095	10.9727	0.1124	E3
WASP-21	347.4928	18.3962	S/N	137	8	-89.212±0.097	11.3983	0.8235	3.9089±0.0197	11.5519	0.4876	E3
WASP-22	52.8180	-23.8198	S	37	18	-6.950±0.065	11.5849	0.7442	3.1532±0.0327	11.7148	0.0218	E3
WASP-23	101.1275	-42.7622	S	37	31	5.888±0.096	12.3136	1.0698	4.8598±0.0086	12.5547	0.1582	E3
WASP-24	227.2155	2.3433	S/N	77	73	-17.533±0.143	11.3945	0.7375	3.0764±0.0424	11.5114	0.2561	2
WASP-25	195.3598	-27.5222	S	54	15	-2.404±0.092	11.6824	0.8889	4.6501±0.0230	11.8571	0.1848	E3
WASP-26	4.6030	-15.2674	S/N	42	38	8.729±0.061	10.9935	0.7653	3.9574±0.0247	11.1295	0.0729	E3
WASP-28	353.6163	-1.5800	S	33	33	24.440±0.144	12.0209	0.7624	2.9215±0.0151	12.1561	0.1562	E3
WASP-31	169.4389	-19.0548	S/N	68	63	0.176±0.202	11.8085	0.6804	2.5758±0.0163	11.9212	0.1419	E3
WASP-32	3.9617	1.2005	S/N	48	44	18.528±0.107	11.4094	0.7289	3.5706±0.0373	11.5351	0.0302	E3
WASP-34	165.3994	-23.8609	S	12	6	50.068±0.036	10.2053	0.8458	7.6211±0.0164	10.3659	0.1345	E3
WASP-35	76.0819	-6.2298	N	68	66	17.988±0.091	10.8548	0.7749	4.9411±0.0160	10.9937	0.1603	E3
WASP-36	131.5804	-8.0270	S/N	31	35	-12.857±0.129	12.6176	0.7821	2.6493±0.0129	12.7586	0.1681	E3
WASP-38	243.9597	10.0324	S/N	93	93	-9.448±0.120	9.2177	0.7015	7.3373±0.0181	9.3359	0.1673	E3
WASP-39	217.3266	-3.4445	N	23	0	-58.226±0.063	11.8808	0.9642	4.6435±0.0144	12.0818	0.3333	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
WASP-41	190.6188	-30.6398	S	89	44	3.567±0.055	11.2799	0.9388	6.1193±0.0203	11.4718	0.1571	E3
WASP-42	192.9812	-42.0736	S	35	31	-4.557±0.094	11.9616	1.1460	5.6209±0.0153	12.2340	0.2902	E3
WASP-44	3.9033	-11.9383	S	18	18	-3.742±0.117	12.8836	0.9372	2.7644±0.0199	13.0750	0.2021	E3
WASP-45	5.2378	-35.9985	S	20	20	4.812±0.103	12.0401	1.0436	4.6520±0.0226	12.2709	0.2934	E3
WASP-46	318.7370	-55.8719	S	16	16	-3.375±0.171	12.8402	0.8384	2.6878±0.0131	12.9984	0.1163	E3
WASP-47	331.2031	-12.0191	N	70	39	-26.920±0.076	11.7817	0.9423	3.7010±0.0201	11.9748	0.1334	E3
WASP-48	291.1624	55.4730	N	38	35	-19.319±0.254	11.5189	0.6899	2.1639±0.0104	11.6341	0.2381	E3
WASP-49	91.0897	-16.9654	S/N	141	133	41.960±0.050	11.2891	0.8954	5.1315±0.0158	11.4660	0.2128	E3
WASP-50	43.6881	-10.8980	S/N	25	23	25.745±0.060	11.5444	0.9398	5.4865±0.0174	11.7367	0.1385	E3
WASP-52	348.4948	8.7611	S	42	20	-0.682±0.121	11.9464	1.0957	5.7262±0.0134	12.1979	0.1721	E3
WASP-54	205.4542	-0.1282	S/N	56	55	-2.873±0.100	10.2481	0.7030	3.9859±0.0200	10.3667	0.1390	E3
WASP-55	203.7582	-17.5035	S/N	44	11	-4.096±0.094	11.7675	0.8006	3.4194±0.0204	11.9140	0.2119	E3
WASP-57	223.8200	-2.0577	N	18	19	-22.945±0.140	12.7208	0.8654	2.4676±0.0162	12.8877	0.1963	E3
WASP-60	356.6667	31.1559	N	22	22	-26.258±0.092	12.0103	0.8597	2.3243±0.0194	12.1754	0.2526	E3
WASP-61	75.2997	-26.0541	S	33	33	19.228±0.363	12.0607	0.6535	2.0649±0.0094	12.1665	0.1985	E3
WASP-62	87.1398	-63.9883	S	39	38	15.276±0.117	10.0773	0.6781	5.6910±0.0113	10.1894	0.1189	E3
WASP-68	305.0957	-19.3147	S	42	40	28.598±0.059	10.4114	0.8609	4.3473±0.0144	10.5768	0.2838	E3
WASP-70 A	315.4772	-13.4334	S	13	0	-65.065±0.097	11.0320	0.8204	4.3371±0.0263	11.1846	0.1076	E3
WASP-71	29.2635	0.7588	S	30	30	8.141±0.114	10.5685	0.7599	2.8158±0.0265	10.7030	0.1211	E3
WASP-73	319.9497	-58.1489	S	1	1	10.726±0.082	10.2607	0.7541	3.1292±0.0293	10.3820	0.1953	2
WASP-74	304.5388	-1.0760	S/N	57	57	-15.477±0.069	9.5783	0.8345	6.6900±0.0149	9.7354	0.1247	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
WASP-76	26.6329	2.7004	S	66	64	-0.771±0.060	9.4149	0.6931	5.2899±0.0826	9.5309	0.0602	E3
WASP-77 A	37.1555	-7.0607	S	40	33	2.058±0.036	10.0956	0.8863	9.4629±0.0183	10.2694	0.2925	E3
WASP-78	63.7563	-22.1164	S	132	60	0.744±0.229	12.1769	0.6788	1.3851±0.0136	12.2891	0.0688	E3
WASP-81	304.2080	3.2939	S	32	0	-60.521±0.131	12.3248	0.8393	2.4842±0.0152	12.4833	0.3160	E3
WASP-84	131.1070	1.8599	S/N	72	69	-11.382±0.077	10.5792	1.0121	9.9636±0.0149	10.7979	0.2538	E3
WASP-87	185.3247	-52.8408	S	17	17	-13.074±0.121	10.7106	0.6816	3.3231±0.0194	10.8235	0.1068	E3
WASP-88	309.5112	-48.4621	S	1	0	-6.432±0.171	11.4727	0.6794	1.7844±0.0185	11.5851	0.4385	E3
WASP-89	313.9000	-18.9714	S	48	39	21.429±0.136	12.9810	1.1236	3.4801±0.0242	13.2440	0.2308	E3
WASP-94 A	313.7832	-34.1358	S	64	64	-8.510±0.064	10.0334	0.7226	4.7498±0.0242	10.1574	0.1377	E3
WASP-98	58.4290	-34.3283	S	21	21	-38.009±0.167	12.8576	0.8957	3.5717±0.0119	13.0346	0.0647	E3
WASP-99	39.8977	-50.0082	S	27	26	25.293±0.059	9.3319	0.7409	6.2438±0.0112	9.4609	0.1230	E3
WASP-101	98.3511	-23.4861	S	74	71	43.018±0.178	10.1417	0.6526	5.0067±0.0128	10.2473	0.0949	E3
WASP-103	249.3149	7.1834	N	44	29	-41.674±0.227	12.1921	0.8191	1.8332±0.1073	12.3442	0.3957	E3
WASP-105	24.1679	-50.6593	S	58	58	24.920±0.098	11.8588	1.0827	4.6026±0.0893	12.1050	0.2649	E3
WASP-106	166.4296	-5.0795	S/N	72	45	17.521±0.151	11.3623	0.7071	2.7828±0.0181	11.4820	0.0722	E3
WASP-117	36.7758	-50.2844	S	81	77	-15.799±0.060	10.0317	0.7244	6.3409±0.0129	10.1562	0.0990	E3
WASP-118	19.5506	2.7028	N	27	0	6.215±0.305	10.9188	0.6820	2.5854±0.0236	11.0319	0.1642	E3
WASP-120	62.6161	-45.8982	S	45	45	20.209±0.376	10.8987	0.5909	2.6143±0.0150	10.9896	0.1453	E3
WASP-121	107.6002	-39.0973	S	141	141	38.706±0.277	10.3752	0.6005	3.7996±0.0104	10.4684	0.2704	E3
WASP-123	289.4792	-32.8601	S	1	1	17.194±0.037	10.9014	0.8867	5.0088±0.0203	11.0754	0.3428	E3
WASP-127	160.5588	-3.8350	S	96	93	-8.956±0.046	10.0582	0.7987	6.2241±0.0175	10.2041	0.1284	E3

Continua na próxima página

Tabela B.1 – Continuação

Estrela	RA (J2000)	DEC (J2000)	H	N	N_O	VR (km s^{-1})	G (mag)	G_{BP-RP} (mag)	π (mas)	V (mag)	A_V (mag)	DR
WASP-129	176.2991	-42.0640	S	39	39	22.257±0.070	11.8042	0.8234	3.1735±0.0159	11.9577	0.3278	E3
WASP-130	203.1060	-42.4753	S	56	18	1.753±0.058	10.9740	0.9053	5.7294±0.0187	11.1543	0.1870	E3
WASP-131	210.1936	-30.5836	S	56	28	-19.361±0.070	9.8734	0.7409	5.1765±0.0365	10.0024	0.1468	E3
WASP-139	49.5622	-41.3020	S	30	22	-12.785±0.083	12.2641	1.0346	4.6984±0.0098	12.4914	0.2596	E3
WASP-140	60.3855	-20.4510	S	49	47	2.417±0.070	10.8202	0.9885	8.4749±0.0429	11.0138	0.1560	2
WASP-148	254.1305	44.3025	N	62	37	-5.278±0.074	12.0790	0.9321	4.0154±0.0098	12.2686	0.1749	E3
WASP-161	126.3378	-11.5010	N	4	4	38.590±0.573	-	-	-	-	-	-
WASP-162	168.2929	-17.6578	N	38	37	17.326±0.093	12.0562	0.9381	3.2496±0.0171	12.2478	0.2631	E3
WASP-166	144.8751	-20.9824	S	39	39	23.903±0.046	9.2636	0.7265	8.7523±0.0141	9.3886	0.0303	E3
WASP-173 A	354.1687	-34.6113	S	41	41	-7.463±0.092	11.3940	0.8275	4.2443±0.0204	11.5488	0.1357	E3
WASP-174	195.7940	-41.3849	S	26	25	5.289±0.412	-	-	-	-	-	-
WASP-180 A	123.3922	-1.9828	S	25	25	29.592±0.573	10.9126	0.6678	3.9752±0.0190	11.0221	0.1020	E3
WASP-182	311.6733	-41.8210	S	14	2	-33.847±0.058	11.9096	0.8743	3.0451±0.0155	12.0794	0.2852	E3
WASP-190	7.7095	-40.5735	S	36	36	1.265±0.409	11.6292	0.5986	1.7910±0.0233	11.7219	0.0391	E3
WASP-193	164.3491	-29.9971	S	14	14	-2.917±0.115	12.0327	0.7683	2.6475±0.0152	12.1696	0.2323	E3
XO-1	240.5493	28.1696	N	13	11	2.093±0.065	11.0032	0.8586	6.1489±0.0136	11.1679	0.1891	E3
XO-2 N	117.0268	50.2251	N	15	11	47.178±0.089	10.9709	0.9980	6.6588±0.0158	11.1842	0.1648	E3
XO-2 S	117.0310	50.2169	N	61	36	46.774±0.077	10.9271	0.9696	6.6721±0.0151	11.1301	0.2578	E3
XO-3	65.4696	57.8172	N	63	68	-10.283±0.854	9.7430	0.5651	4.8687±0.0261	9.8282	0.1250	E3
XO-4	110.3880	58.2681	N	12	8	1.665±0.164	10.5151	0.6534	3.7812±0.0156	10.6209	0.1885	E3
XO-5	116.7164	39.0945	N	7	7	-9.674±0.059	11.9431	0.9299	3.6517±0.0173	12.1319	0.2401	E3

Tabela B.2: Parâmetros atmosféricos e evolutivos das estrelas. A coluna 1 apresenta a identificação da estrela. As colunas 2, 3, 4 e 5 apresentam os parâmetros atmosféricos, temperatura efetiva, gravidade superficial, metalicidade e velocidade de microturbulência, respectivamente. As colunas 6, 7 e 8 apresentam os parâmetros evolutivos das estrelas, idade, raio e massa, respectivamente. A coluna 9 apresenta a SNR do espectro combinado da estrela.

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
55 Cnc	5283±49	4.44±0.13	0.40±0.03	0.730±0.080	10.638±0.930	1.091±0.015	0.946±0.013	486
BD+20 594	5690±13	4.34±0.04	-0.16±0.01	0.979±0.030	11.085±0.517	1.134±0.023	0.913±0.006	150
CoRoT-1	6337±30	4.42±0.06	-0.05±0.02	1.463±0.070	2.325±0.408	1.263±0.024	1.191±0.016	87
CoRoT-4	6295±38	4.62±0.09	0.11±0.02	1.426±0.070	0.288±0.147	1.123±0.026	1.205±0.009	75
CoRoT-5	6129±30	4.27±0.08	-0.17±0.02	1.331±0.080	5.256±0.528	1.224±0.030	1.054±0.015	48
CoRoT-7	5278±21	4.54±0.04	0.08±0.01	0.839±0.050	10.087±1.222	0.871±0.004	0.867±0.012	288
CoRoT-8	5017±46	4.32±0.10	0.15±0.02	0.309±0.310	9.095±2.272	0.830±0.007	0.848±0.015	31
CoRoT-9	5632±18	4.51±0.04	-0.03±0.01	0.806±0.040	6.595±1.052	0.951±0.013	0.937±0.013	74
CoRoT-19	6303±70	4.27±0.19	-0.01±0.05	1.883±0.170	3.026±0.517	1.644±0.053	1.291±0.041	42
CoRoT-32	5845±24	4.58±0.05	0.09±0.02	1.052±0.040	1.185±0.868	0.996±0.013	1.072±0.017	60
EPIC 201595106	5728±5	4.49±0.04	-0.01±0.01	0.942±0.020	6.822±0.333	1.001±0.008	0.972±0.009	287
EPIC 211945201	6152±20	4.32±0.06	0.13±0.02	1.375±0.040	3.036±0.163	1.381±0.008	1.233±0.008	116
EPIC 220674823	5528±16	4.44±0.06	0.11±0.01	0.820±0.030	10.464±0.618	1.048±0.006	0.935±0.008	140
EPIC 229004835	5852±14	4.49±0.04	-0.12±0.01	1.054±0.030	7.201±0.473	1.047±0.004	0.962±0.011	274
HAT-P-1	6082±20	4.39±0.08	0.15±0.02	1.291±0.040	2.485±0.385	1.203±0.004	1.176±0.013	181
HAT-P-2	6807±268	4.28±0.43	0.29±0.15	0.618±0.410	0.795±0.593	1.621±0.096	1.497±0.042	380
HAT-P-3	5115±45	4.38±0.13	0.33±0.02	0.641±0.110	8.940±2.407	0.893±0.021	0.888±0.017	141

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
HAT-P-4	6049±20	4.26±0.06	0.33±0.02	1.256±0.030	2.818±0.097	1.638±0.034	1.347±0.008	142
HAT-P-7	6527±32	4.09±0.06	0.18±0.02	1.890±0.070	1.820±0.069	2.001±0.023	1.545±0.010	192
HAT-P-8	6499±82	4.40±0.21	0.02±0.05	1.547±0.210	1.350±0.711	1.363±0.039	1.298±0.029	190
HAT-P-15	5639±16	4.43±0.03	0.28±0.01	0.904±0.030	0.287±0.126	0.953±0.009	1.059±0.012	151
HAT-P-16	6244±23	4.47±0.07	0.14±0.02	1.323±0.030	0.604±0.355	1.189±0.024	1.238±0.016	131
HAT-P-17	5270±30	4.50±0.08	0.06±0.01	0.615±0.060	10.783±0.759	0.909±0.011	0.870±0.007	282
HAT-P-21	5735±17	4.36±0.06	0.07±0.02	1.071±0.040	8.917±0.393	1.287±0.030	1.014±0.012	145
HAT-P-22	5329±32	4.41±0.11	0.34±0.02	0.722±0.060	11.202±0.436	1.128±0.025	0.955±0.001	338
HAT-P-24	6330±88	4.41±0.17	-0.45±0.06	3.456±1.320	5.442±0.756	1.499±0.049	1.055±0.032	71
HAT-P-26	5071±31	4.51±0.09	0.04±0.02	0.426±0.120	9.344±1.906	0.832±0.002	0.845±0.014	62
HAT-P-27	5238±33	4.45±0.10	0.28±0.02	0.759±0.060	10.849±0.709	0.970±0.021	0.914±0.005	71
HAT-P-29	6201±26	4.52±0.05	0.20±0.02	1.347±0.040	1.182±0.442	1.230±0.028	1.246±0.016	104
HAT-P-30	6326±28	4.31±0.05	0.05±0.02	1.392±0.060	2.017±0.308	1.311±0.020	1.237±0.014	142
HAT-P-31	6083±20	4.26±0.06	0.08±0.01	1.386±0.030	4.052±0.531	1.557±0.035	1.225±0.033	95
HAT-P-33	6383±106	3.93±0.23	-0.31±0.06	3.485±0.680	3.628±0.602	1.767±0.060	1.212±0.050	114
HAT-P-36	5695±32	4.54±0.07	0.28±0.02	0.998±0.050	1.632±1.186	1.004±0.012	1.075±0.018	86
HAT-P-41	6646±196	4.83±0.31	-0.0±0.11	2.522±0.760	1.583±0.789	1.632±0.104	1.402±0.052	195
HAT-P-44	5275±42	4.38±0.11	0.35±0.03	0.582±0.100	8.814±2.074	0.957±0.019	0.926±0.017	48
HAT-P-50	6129±78	3.74±0.13	-0.37±0.05	1.683±0.210	5.916±0.406	1.722±0.064	1.072±0.023	63
HATS-17	5826±18	4.39±0.05	0.33±0.01	1.074±0.030	4.235±0.482	1.380±0.007	1.193±0.021	102
HATS-27	6622±78	4.44±0.16	0.09±0.05	1.981±0.190	1.764±0.224	1.761±0.056	1.460±0.022	49

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
HATS-38	5699±14	4.40±0.04	0.13±0.01	0.937±0.030	7.604±0.401	1.146±0.011	1.012±0.012	102
HATS-56	6703±108	4.06±0.17	0.23±0.06	1.604±0.160	1.420±0.195	2.036±0.079	1.616±0.024	32
HATS-58 A	6565±60	4.29±0.13	-0.01±0.04	1.991±0.150	-	-	-	61
HD 1397	5511±14	3.91±0.06	0.16±0.02	1.065±0.020	4.024±0.079	2.396±0.018	1.345±0.011	343
HD 3167	5325±27	4.51±0.10	0.08±0.02	0.776±0.050	8.513±2.899	0.907±0.014	0.895±0.022	394
HD 5278	6148±32	4.29±0.10	-0.16±0.02	1.260±0.070	4.982±0.512	1.237±0.028	1.068±0.015	110
HD 6061	5964±18	4.47±0.06	-0.09±0.01	1.067±0.040	3.933±0.601	1.044±0.011	1.027±0.012	217
HD 15337	5166±33	4.46±0.10	0.14±0.01	0.622±0.060	9.079±2.205	0.894±0.020	0.884±0.017	308
HD 17156	6023±20	4.20±0.04	0.18±0.02	1.306±0.030	3.699±0.414	1.515±0.011	1.249±0.028	303
HD 18599	5108±30	4.47±0.11	0.04±0.01	0.943±0.050	8.154±2.872	0.831±0.007	0.854±0.018	380
HD 20329	5610±12	4.38±0.04	-0.08±0.01	0.889±0.020	11.39±0.199	1.249±0.021	0.934±0.003	380
HD 28109	6245±28	4.26±0.06	0.01±0.02	1.490±0.060	3.099±0.151	1.471±0.033	1.252±0.013	373
HD 39091	5968±18	4.34±0.05	0.09±0.01	1.080±0.030	4.729±0.307	1.247±0.023	1.112±0.012	408
HD 42813	5317±28	4.42±0.07	0.32±0.02	0.681±0.050	10.818±0.767	1.032±0.022	0.934±0.004	145
HD 63935	5560±13	4.46±0.05	0.07±0.01	0.834±0.030	8.203±1.898	0.997±0.019	0.942±0.021	261
HD 73344	6203±20	4.49±0.06	0.18±0.01	1.228±0.040	0.808±0.332	1.202±0.003	1.240±0.015	372
HD 80606	5567±25	4.38±0.06	0.36±0.02	0.904±0.040	6.717±0.752	1.129±0.025	1.032±0.013	191
HD 86226	5910±13	4.46±0.05	-0.01±0.01	1.097±0.020	5.072±1.221	1.101±0.021	1.038±0.020	407
HD 93963 A	5972±13	4.53±0.03	0.09±0.01	1.104±0.030	2.408±0.363	1.096±0.003	1.109±0.013	384
HD 95338	5148±27	4.40±0.11	0.15±0.02	0.611±0.070	9.035±2.228	0.877±0.015	0.880±0.016	316
HD 97658	5167±20	4.55±0.04	-0.30±0.01	0.671±0.060	9.127±2.217	0.759±0.006	0.775±0.016	166

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
HD 106315	6561±148	4.58±0.32	-0.17±0.08	0.900±0.370	1.410±1.158	1.244±0.046	1.192±0.047	347
HD 108236	5693±13	4.50±0.04	-0.27±0.02	0.910±0.030	8.552±0.986	0.886±0.020	0.855±0.011	365
HD 109833	6008±38	4.65±0.09	0.08±0.03	1.189±0.080	0.428±0.307	1.000±0.004	1.095±0.010	216
HD 110113	5704±13	4.49±0.04	0.14±0.01	0.871±0.030	3.356±1.910	1.003±0.020	1.031±0.025	339
HD 118203	5835±18	4.00±0.06	0.24±0.01	1.254±0.020	3.104±0.153	2.332±0.052	1.471±0.020	280
HD 136352	5679±13	4.38±0.04	-0.34±0.01	0.967±0.030	11.346±0.269	1.047±0.019	0.873±0.006	383
HD 137496	5804±5	4.11±0.01	-0.04±0.01	1.229±0.020	7.185±0.127	1.715±0.036	1.096±0.001	387
HD 149026	6180±18	4.44±0.06	0.33±0.02	1.377±0.030	2.211±0.107	1.510±0.016	1.322±0.010	285
HD 152843	6253±36	4.16±0.07	-0.24±0.03	1.671±0.090	5.046±0.440	1.492±0.032	1.108±0.022	350
HD 183579	5790±8	4.51±0.01	-0.03±0.01	0.955±0.020	4.686±0.412	1.000±0.002	0.992±0.011	367
HD 189733	5015±42	4.51±0.10	0.00±0.02	0.798±0.090	7.776±4.149	0.782±0.017	0.809±0.019	452
HD 191939	5427±11	4.48±0.06	-0.19±0.01	0.746±0.030	11.474±0.064	0.955±0.0171	0.871±0.012	364
HD 202772 A	6452±36	4.00±0.10	0.25±0.02	1.870±0.060	1.570±0.036	2.663±0.055	1.738±0.003	183
HD 209458	6119±20	4.43±0.05	0.03±0.01	1.240±0.040	3.557±0.289	1.248±0.022	1.143±0.011	470
HD 213885	5915±13	4.45±0.04	0.01±0.01	1.121±0.020	6.007±0.882	1.193±0.027	1.053±0.017	403
HD 219666	5534±10	4.39±0.04	0.08±0.01	0.831±0.030	10.462±0.986	1.073±0.025	0.939±0.010	306
HD 332231	6181±18	4.38±0.06	0.04±0.02	1.374±0.040	3.120±0.256	1.272±0.024	1.178±0.009	395
HIP 9618	5624±10	4.46±0.04	-0.07±0.01	0.910±0.020	9.452±1.468	0.992±0.017	0.907±0.016	201
HIP 41378	6340±23	4.30±0.06	-0.03±0.02	1.646±0.050	2.637±0.204	1.368±0.025	1.224±0.012	399
HR 858	6267±34	4.26±0.07	-0.10±0.02	1.504±0.080	3.639±0.386	1.320±0.014	1.152±0.015	385
K2-10	5581±16	4.48±0.05	-0.02±0.01	0.833±0.030	9.576±0.833	0.984±0.022	0.912±0.011	86

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
K2-19	5331±21	4.54±0.04	0.06±0.02	0.727±0.040	5.781±2.245	0.854±0.020	0.893±0.019	154
K2-27	5231±25	4.41±0.09	0.12±0.02	0.583±0.060	10.994±0.594	0.912±0.002	0.873±0.006	98
K2-29	5343±30	4.60±0.06	0.14±0.02	0.928±0.060	0.361±0.264	0.797±0.009	0.929±0.009	49
K2-30	5524±21	4.48±0.06	0.09±0.01	0.783±0.050	5.911±1.305	0.936±0.021	0.948±0.015	47
K2-31	5385±28	4.50±0.10	0.16±0.01	0.922±0.040	6.653±2.030	0.913±0.012	0.928±0.019	67
K2-32	5292±21	4.50±0.06	-0.02±0.01	0.656±0.040	1.710±1.827	0.772±0.017	0.859±0.016	261
K2-34	6163±34	4.31±0.12	0.04±0.02	1.358±0.060	3.447±0.321	1.373±0.027	1.198±0.012	87
K2-58	5010±31	4.48±0.11	0.17±0.01	0.682±0.080	9.820±1.600	0.831±0.006	0.840±0.011	52
K2-79	5916±13	4.31±0.05	-0.02±0.01	1.214±0.030	7.278±0.203	1.347±0.031	1.051±0.009	105
K2-98	6178±40	4.23±0.10	-0.20±0.03	2.059±0.140	4.993±0.486	1.703±0.039	1.148±0.029	89
K2-100	6173±103	4.57±0.29	0.10±0.07	1.328±0.210	1.648±1.361	1.187±0.037	1.176±0.039	301
K2-105	5393±18	4.50±0.08	0.23±0.01	0.797±0.040	7.665±1.094	0.955±0.005	0.942±0.013	125
K2-108	5555±25	4.11±0.05	0.38±0.02	1.055±0.040	6.782±0.214	1.682±0.035	1.143±0.011	47
K2-131	5129±22	4.54±0.05	-0.08±0.01	1.036±0.050	9.600±1.741	0.791±0.011	0.800±0.010	131
K2-138	5277±25	4.52±0.04	0.13±0.02	0.745±0.050	10.259±1.190	0.911±0.007	0.881±0.012	270
K2-165	5170±25	4.47±0.11	-0.02±0.02	0.758±0.050	9.544±1.846	0.821±0.017	0.827±0.014	70
K2-167	6069±21	4.11±0.06	-0.40±0.01	1.623±0.070	7.499±0.149	1.581±0.016	1.000±0.001	353
K2-173	5613±20	4.47±0.05	-0.49±0.02	0.919±0.060	-	-	-	63
K2-179	4877±39	4.41±0.15	0.02±0.02	0.701±0.100	8.502±2.858	0.758±0.004	0.791±0.014	38
K2-180	5194±11	4.51±0.04	-0.72±0.01	0.547±0.060	-	-	-	107
K2-182	5084±38	4.47±0.10	0.02±0.02	0.595±0.080	9.434±2.011	0.816±0.019	0.828±0.014	44

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
K2-184	5167±22	4.49±0.09	-0.16±0.01	0.640±0.050	9.126±2.109	0.793±0.007	0.805±0.013	53
K2-188	5959±18	4.40±0.05	-0.06±0.01	1.186±0.040	6.285±0.365	1.200±0.012	1.035±0.012	97
K2-189	5443±25	4.46±0.07	-0.06±0.02	0.709±0.040	8.945±1.741	0.880±0.017	0.869±0.016	87
K2-197	5629±16	4.49±0.06	0.04±0.01	0.874±0.030	6.390±0.838	0.969±0.021	0.959±0.012	86
K2-198	5192±34	4.56±0.10	-0.05±0.02	1.117±0.060	8.123±3.035	0.802±0.015	0.828±0.017	82
K2-222	6006±20	4.40±0.04	-0.30±0.01	1.343±0.040	8.031±0.468	1.132±0.024	0.939±0.011	304
K2-223	5808±11	4.48±0.04	0.15±0.01	1.001±0.020	3.484±0.409	1.048±0.006	1.069±0.009	255
K2-229	5198±27	4.61±0.07	0.01±0.02	0.827±0.060	8.506±2.418	0.829±0.011	0.843±0.016	401
K2-232	5988±13	4.42±0.04	0.04±0.01	1.222±0.030	4.852±0.244	1.203±0.006	1.096±0.005	113
K2-237	6554±111	4.93±0.24	0.09±0.06	1.781±0.280	0.846±0.714	1.197±0.032	1.218±0.034	86
K2-244	5659±26	4.39±0.08	-0.39±0.02	0.998±0.050	10.747±0.805	0.922±0.018	0.833±0.010	51
K2-265	5441±20	4.49±0.06	0.10±0.02	0.739±0.040	10.226±0.965	0.965±0.019	0.909±0.013	342
K2-269	6137±54	4.18±0.14	-0.17±0.04	1.378±0.120	5.595±0.677	1.468±0.039	1.097±0.027	36
K2-274	5020±28	4.53±0.04	-0.24±0.01	0.510±0.080	7.559±3.586	0.725±0.003	0.761±0.017	84
K2-285	5113±22	4.52±0.04	0.01±0.02	0.691±0.050	8.357±2.979	0.825±0.015	0.841±0.018	101
K2-291	5545±13	4.54±0.04	0.12±0.01	0.899±0.030	2.079±0.945	0.911±0.005	0.988±0.013	223
K2-333	5845±13	4.37±0.03	0.12±0.01	1.094±0.020	6.267±0.293	1.257±0.010	1.073±0.007	150
K2-334	6521±110	4.67±0.21	0.05±0.07	2.419±0.340	1.392±0.760	1.433±0.054	1.332±0.034	46
K2-352	5733±10	4.54±0.03	0.01±0.01	0.977±0.020	2.767±0.614	0.953±0.008	1.004±0.010	125
K2-370	5675±13	4.54±0.04	0.13±0.01	1.047±0.030	0.827±0.718	0.912±0.001	1.012±0.014	242
KELT-3	6543±54	4.26±0.13	0.12±0.04	1.621±0.100	1.602±0.279	1.533±0.035	1.384±0.019	242

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
KELT-4 A	6488±54	4.30±0.12	-0.05±0.04	1.650±0.120	2.288±0.254	1.523±0.032	1.304±0.018	78
KELT-6	6297±28	4.12±0.07	-0.29±0.02	1.673±0.090	4.546±0.201	1.735±0.018	1.149±0.014	411
KELT-10	5847±10	4.40±0.04	0.10±0.01	1.077±0.020	6.050±0.827	1.204±0.022	1.063±0.016	205
KOI-351	6098±40	4.52±0.08	0.09±0.03	1.291±0.080	3.362±0.622	1.267±0.027	1.166±0.019	34
Kepler-9	5809±24	4.58±0.05	0.09±0.01	0.888±0.050	2.687±1.071	1.007±0.017	1.052±0.016	61
Kepler-19	5537±13	4.53±0.03	-0.08±0.01	0.778±0.030	9.524±1.611	0.945±0.018	0.887±0.016	249
Kepler-20	5522±13	4.48±0.04	0.08±0.01	0.838±0.030	6.599±0.804	0.947±0.017	0.941±0.011	199
Kepler-21	6293±36	4.06±0.07	-0.09±0.02	1.752±0.080	3.091±0.377	1.891±0.033	1.328±0.038	415
Kepler-25	6337±50	4.31±0.09	-0.09±0.04	1.664±0.120	2.593±0.687	1.266±0.026	1.174±0.025	200
Kepler-36	6047±40	4.12±0.08	-0.29±0.03	1.712±0.110	6.312±0.199	1.714±0.037	1.070±0.013	56
Kepler-37	4319±249	2.20±0.86	-0.11±0.11	1.587±0.130	11.254±0.384	0.955±0.003	0.891±0.001	39
Kepler-50	6325±58	4.16±0.13	-0.13±0.04	1.713±0.140	3.521±0.530	1.547±0.038	1.217±0.032	181
Kepler-63	5615±18	4.60±0.06	0.14±0.01	1.230±0.040	0.911±0.698	0.912±0.001	1.020±0.012	52
Kepler-65	6303±50	4.36±0.16	0.12±0.03	1.563±0.090	2.348±0.321	1.447±0.029	1.291±0.013	139
Kepler-68	5866±13	4.33±0.04	0.14±0.01	1.119±0.020	6.040±0.252	1.317±0.007	1.097±0.005	219
Kepler-100	5924±18	4.20±0.04	0.08±0.01	1.276±0.030	5.737±0.645	1.584±0.007	1.155±0.026	99
Kepler-107	5918±10	4.32±0.05	0.32±0.01	1.159±0.030	3.501±0.096	1.449±0.014	1.258±0.004	195
Kepler-126	6347±58	4.23±0.13	-0.23±0.04	1.551±0.180	3.948±0.639	1.365±0.032	1.129±0.028	147
Kepler-372	6046±42	4.12±0.08	-0.29±0.03	1.711±0.110	-	-	-	56
Kepler-381	6586±74	4.53±0.10	-0.15±0.04	1.937±0.220	2.207±0.352	1.478±0.041	1.279±0.020	63
Kepler-421	5275±35	4.52±0.08	-0.28±0.02	0.470±0.100	11.171±0.486	0.794±0.001	0.786±0.009	38

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
Kepler-444	5131±20	4.57±0.04	-0.49±0.01	0.381±0.090	-	-	-	330
Kepler-449	5242±28	3.74±0.07	-0.04±0.02	0.699±0.050	-	-	-	142
Kepler-477	4694±30	2.68±0.09	-0.25±0.02	1.230±0.030	-	-	-	71
Kepler-491	5506±30	4.46±0.08	0.33±0.02	0.692±0.060	7.437±1.095	1.072±0.025	0.998±0.014	46
Kepler-511	5952±32	4.18±0.10	-0.44±0.02	1.434±0.100	7.314±0.146	1.756±0.035	1.012±0.012	68
Kepler-538	5523±10	4.51±0.04	-0.14±0.01	0.835±0.030	9.407±1.823	0.904±0.016	0.864±0.016	376
Kepler-849	6092±39	4.17±0.09	0.09±0.03	1.426±0.060	3.537±0.485	1.770±0.041	1.306±0.045	47
Kepler-990	4988±17	3.11±0.05	-0.33±0.01	1.215±0.020	-	-	-	70
Kepler-1247	4990±16	3.37±0.07	-0.48±0.02	1.018±0.030	10.916±0.842	0.691±0.006	0.701±0.008	73
Kepler-1300	5830±21	4.07±0.04	0.12±0.02	1.147±0.030	3.807±0.254	2.193±0.030	1.348±0.043	167
Kepler-1323	6135±27	4.34±0.08	0.01±0.02	1.254±0.050	3.782±0.366	1.277±0.027	1.150±0.011	95
Kepler-1514	6292±28	4.41±0.07	0.10±0.02	1.688±0.060	1.897±0.320	1.304±0.026	1.245±0.015	149
Kepler-1515	6545±78	4.36±0.16	-0.03±0.05	1.797±0.200	1.895±0.436	1.481±0.043	1.318±0.025	201
Kepler-1655	6095±18	4.42±0.06	-0.33±0.02	1.366±0.060	6.249±0.518	1.092±0.014	0.961±0.013	401
Kepler-1704	5841±29	4.20±0.07	0.16±0.02	1.230±0.050	4.848±0.596	1.756±0.034	1.229±0.045	37
Kepler-1869	5809±10	4.53±0.03	0.05±0.01	0.985±0.030	1.517±0.529	0.955±0.003	1.048±0.009	239
Kepler-1911	5714±24	4.50±0.07	0.06±0.02	0.938±0.050	6.365±0.959	1.043±0.013	0.991±0.016	41
LTT 9779	5451±34	4.50±0.11	0.32±0.02	0.780±0.060	6.516±1.697	0.997±0.019	0.978±0.019	400
NGTS-5	4948±35	4.53±0.08	0.00±0.02	0.318±0.320	8.854±2.308	0.794±0.003	0.817±0.014	36
NGTS-11	5040±33	4.46±0.10	0.13±0.02	0.583±0.090	9.736±1.686	0.831±0.006	0.840±0.012	88
NGTS-12	5783±18	4.15±0.04	-0.12±0.01	1.179±0.040	8.736±0.105	1.535±0.032	1.022±0.006	65

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
NGTS-14 A	5176±22	4.46±0.07	0.06±0.01	0.546±0.070	11.204±0.418	0.871±0.003	0.849±0.006	61
NGTS-30	5430±22	4.49±0.08	-0.02±0.01	0.613±0.050	11.093±0.511	0.951±0.013	0.875±0.008	85
PH2	5699±13	4.51±0.03	-0.07±0.01	0.919±0.030	6.564±0.660	0.955±0.002	0.939±0.011	104
TIC 257060897	6049±26	4.17±0.05	0.05±0.02	1.584±0.050	3.312±0.337	2.033±0.046	1.364±0.043	59
TOI-125	5239±31	4.50±0.09	-0.01±0.02	0.668±0.060	8.389±2.922	0.861±0.017	0.863±0.019	402
TOI-128	6143±15	4.51±0.04	0.10±0.02	1.236±0.030	2.437±0.288	1.203±0.007	1.179±0.012	336
TOI-132	5325±25	4.39±0.09	0.28±0.02	0.706±0.050	7.870±1.667	0.941±0.020	0.931±0.016	138
TOI-199	5192±30	4.43±0.10	0.27±0.02	0.824±0.060	8.531±2.359	0.889±0.020	0.893±0.018	271
TOI-201	6359±36	4.48±0.08	0.20±0.03	1.564±0.070	1.114±0.397	1.326±0.021	1.314±0.017	400
TOI-216	4952±41	4.35±0.18	0.24±0.02	0.662±0.100	6.808±4.260	0.826±0.013	0.863±0.022	89
TOI-220	5310±18	4.49±0.06	-0.18±0.01	0.617±0.040	10.658±0.840	0.871±0.016	0.835±0.012	402
TOI-238	5050±27	4.54±0.05	-0.07±0.02	0.688±0.070	-	-	-	317
TOI-257	6139±38	4.12±0.08	0.27±0.03	1.706±0.060	2.415±0.087	2.189±0.028	1.517±0.010	409
TOI-261	6073±13	4.39±0.04	-0.11±0.01	1.366±0.040	5.177±0.256	1.202±0.006	1.054±0.011	402
TOI-286	5109±33	4.51±0.09	0.00±0.02	0.607±0.080	9.448±2.063	0.812±0.019	0.826±0.014	175
TOI-332	5257±25	4.31±0.08	0.28±0.02	0.742±0.050	10.095±1.209	0.948±0.016	0.906±0.013	101
TOI-421	5310±18	4.49±0.07	0.02±0.01	0.679±0.040	9.747±1.643	0.902±0.018	0.873±0.013	405
TOI-451	5572±32	4.68±0.10	-0.0±0.02	1.434±0.060	2.427±1.918	0.878±0.015	0.954±0.022	203
TOI-480	6266±34	4.30±0.06	0.13±0.03	1.538±0.060	2.621±0.200	1.514±0.016	1.303±0.015	393
TOI-561	5347±10	4.50±0.05	-0.38±0.01	0.676±0.040	-	-	-	244
TOI-628	6180±20	4.36±0.06	0.21±0.01	1.339±0.040	2.368±0.162	1.374±0.019	1.260±0.004	135

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
TOI-640	6322±34	4.04±0.06	0.06±0.02	1.723±0.060	2.371±0.061	2.182±0.028	1.490±0.017	339
TOI-733	5660±13	4.48±0.04	-0.02±0.01	0.884±0.020	6.679±0.683	0.956±0.007	0.950±0.011	400
TOI-757	5296±14	4.54±0.04	-0.25±0.01	0.708±0.040	10.603±0.915	0.794±0.002	0.795±0.005	377
TOI-763	5534±10	4.49±0.04	-0.06±0.01	0.782±0.020	9.550±1.594	0.948±0.016	0.890±0.016	403
TOI-849	5344±33	4.43±0.10	0.27±0.02	0.657±0.060	8.368±1.906	0.955±0.014	0.934±0.018	140
TOI-907	6346±44	4.04±0.09	0.14±0.03	1.540±0.060	2.376±0.120	1.834±0.036	1.424±0.016	104
TOI-908	5643±10	4.49±0.04	0.11±0.01	0.848±0.030	6.679±0.438	1.024±0.024	0.983±0.010	191
TOI-954	5877±16	4.14±0.04	0.41±0.02	1.230±0.030	2.983±0.088	2.075±0.034	1.445±0.007	86
TOI-1011	5385±11	4.47±0.05	-0.03±0.01	0.671±0.040	11.31±0.386	1.000±0.018	0.895±0.008	375
TOI-1052	6161±15	4.38±0.06	0.12±0.01	1.364±0.030	2.636±0.182	1.274±0.025	1.203±0.003	404
TOI-1062	5261±33	4.51±0.09	0.19±0.02	0.721±0.070	7.482±2.691	0.885±0.019	0.902±0.021	401
TOI-1117	5649±10	4.46±0.05	0.17±0.01	0.871±0.020	5.889±1.536	1.047±0.020	1.011±0.020	373
TOI-1135	6280±90	4.45±0.20	0.08±0.06	1.507±0.180	0.998±0.847	1.163±0.026	1.193±0.030	227
TOI-1136	5834±18	4.54±0.04	0.05±0.02	1.210±0.030	1.530±0.852	0.982±0.022	1.055±0.016	446
TOI-1246	5111±35	4.40±0.09	0.13±0.02	0.562±0.080	9.657±1.663	0.882±0.018	0.876±0.013	160
TOI-1248	5201±33	4.46±0.10	0.16±0.02	0.591±0.070	10.157±1.369	0.900±0.019	0.878±0.011	52
TOI-1288	5333±31	4.45±0.09	0.23±0.02	0.734±0.060	10.825±0.734	1.000±0.002	0.924±0.011	360
TOI-1294	5729±22	4.20±0.04	0.25±0.02	1.116±0.040	6.402±0.622	1.596±0.026	1.152±0.025	36
TOI-1295	6577±38	4.34±0.09	0.19±0.03	1.720±0.080	1.457±0.174	1.590±0.025	1.433±0.017	73
TOI-1333	6376±130	3.85±0.26	-0.10±0.08	1.761±0.270	2.745±0.430	1.953±0.087	1.368±0.049	226
TOI-1472	5065±49	4.35±0.11	0.21±0.02	0.666±0.090	9.224±2.258	0.866±0.013	0.871±0.016	261

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
TOI-1601	6121±34	4.09±0.08	0.36±0.03	1.493±0.040	2.340±0.097	2.080±0.036	1.503±0.016	109
TOI-1670	6436±60	4.56±0.14	0.11±0.04	1.495±0.110	1.115±0.600	1.334±0.030	1.305±0.024	178
TOI-1710	5701±5	4.51±0.02	0.12±0.01	0.905±0.020	3.956±1.558	0.997±0.015	1.018±0.021	405
TOI-1736	5773±12	4.29±0.03	0.12±0.01	1.123±0.030	7.341±0.361	1.515±0.030	1.096±0.009	373
TOI-1758	5145±22	4.51±0.06	-0.08±0.01	0.534±0.050	9.508±1.817	0.816±0.018	0.820±0.011	265
TOI-1776	5713±13	4.48±0.03	-0.27±0.01	1.013±0.030	10.666±0.935	0.991±0.018	0.864±0.012	496
TOI-1836	6279±31	4.10±0.07	-0.19±0.02	1.592±0.070	3.782±0.508	1.732±0.020	1.225±0.041	479
TOI-2000	5565±21	4.36±0.07	0.46±0.02	0.871±0.040	6.474±0.636	1.203±0.007	1.062±0.013	264
TOI-2046	6324±36	4.53±0.07	0.19±0.03	1.372±0.070	0.414±0.282	1.152±0.013	1.230±0.014	92
TOI-2076	5210±24	4.58±0.06	-0.08±0.01	1.251±0.050	6.314±2.798	0.787±0.014	0.827±0.017	196
TOI-2196	5712±13	4.45±0.05	0.22±0.01	0.878±0.020	4.263±0.477	1.048±0.006	1.053±0.011	215
TOI-2202	5085±30	4.44±0.09	0.09±0.01	0.801±0.060	7.651±3.775	0.828±0.011	0.854±0.020	60
TOI-2207	6202±67	4.40±0.16	0.14±0.05	1.524±0.130	2.836±0.416	1.531±0.045	1.295±0.024	31
TOI-2211	5233±22	4.48±0.08	-0.09±0.02	0.585±0.050	10.658±0.821	0.871±0.003	0.838±0.009	151
TOI-2328	5493±21	4.47±0.07	0.17±0.01	0.787±0.040	6.062±1.220	0.955±0.006	0.962±0.015	74
TOI-2338	5574±22	4.40±0.06	0.32±0.01	0.855±0.040	6.679±0.670	1.097±0.009	1.024±0.009	76
TOI-2447	5857±13	4.51±0.03	0.14±0.01	0.999±0.020	2.914±0.440	1.049±0.010	1.084±0.013	274
TOI-2458	6059±16	4.29±0.04	0.00±0.01	1.316±0.030	4.952±0.625	1.378±0.021	1.137±0.020	429
TOI-2498	5910±12	4.33±0.03	0.15±0.01	1.116±0.030	5.387±0.346	1.323±0.016	1.126±0.010	113
TOI-2529	5743±12	4.08±0.02	0.12±0.01	1.154±0.020	6.436±0.182	1.749±0.039	1.148±0.003	130
TOI-2545	6069±13	4.43±0.04	0.04±0.02	1.193±0.030	2.829±1.026	1.151±0.021	1.124±0.022	239

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
TOI-2589	5596±20	4.39±0.05	0.24±0.02	0.827±0.030	8.198±0.658	1.147±0.007	1.013±0.012	118
TOI-2641	6114±30	4.15±0.06	-0.16±0.03	1.330±0.060	5.905±0.439	1.376±0.018	1.072±0.018	70
TOI-2981	6058±48	4.51±0.13	-0.10±0.03	1.162±0.100	3.730±1.367	1.098±0.025	1.055±0.027	33
TOI-3071	6200±20	4.40±0.06	0.33±0.02	1.256±0.030	2.052±0.136	1.469±0.032	1.323±0.011	117
TOI-3261	5067±42	4.40±0.09	0.19±0.02	0.436±0.130	7.908±3.456	0.866±0.013	0.884±0.021	58
TOI-3493	5926±13	4.33±0.04	-0.04±0.01	1.178±0.020	6.966±0.264	1.257±0.010	1.036±0.012	401
TOI-3837	5781±24	4.23±0.05	-0.29±0.02	1.207±0.060	10.948±0.241	1.440±0.020	0.926±0.010	43
TOI-4406	6111±21	4.27±0.07	0.06±0.01	1.274±0.040	3.703±0.230	1.326±0.020	1.174±0.006	129
TOI-4600	5071±31	4.42±0.11	0.10±0.01	0.584±0.080	8.860±2.478	0.841±0.016	0.857±0.016	47
TOI-4914	5849±16	4.44±0.07	-0.13±0.02	1.014±0.040	6.886±0.661	1.041±0.016	0.959±0.013	74
TOI-4994	5537±27	4.35±0.09	0.25±0.02	0.742±0.060	9.760±0.778	1.185±0.026	0.995±0.013	33
TOI-5005	5768±13	4.54±0.03	0.17±0.02	0.918±0.020	0.892±0.596	0.992±0.017	1.079±0.014	155
TOI-5027	5975±37	4.57±0.10	-0.17±0.03	1.018±0.090	1.251±1.032	0.931±0.021	1.009±0.021	31
TOI-5082	5758±13	4.47±0.04	0.01±0.01	0.946±0.030	2.684±1.903	0.959±0.014	1.008±0.024	413
TOI-5143	5232±21	4.51±0.06	0.07±0.01	0.974±0.050	8.665±2.620	0.868±0.010	0.872±0.019	97
TOI-5153	6455±104	4.42±0.21	0.03±0.06	1.539±0.230	1.547±0.850	1.383±0.050	1.293±0.032	70
TOI-5398	6031±20	4.57±0.03	0.09±0.02	1.370±0.040	0.611±0.434	1.047±0.003	1.140±0.014	358
TOI-5542	5790±18	4.38±0.05	-0.12±0.01	1.043±0.040	9.994±0.479	1.150±0.011	0.940±0.010	66
TOI-5678	5502±13	4.46±0.05	0.03±0.02	0.791±0.030	9.748±0.846	0.955±0.002	0.906±0.012	186
TOI-5795	5710±16	4.37±0.07	-0.32±0.01	1.005±0.040	11.284±0.343	1.097±0.005	0.884±0.011	120
TOI-6628	5381±38	4.31±0.13	0.39±0.02	0.727±0.070	8.854±1.463	1.042±0.020	0.960±0.016	52

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
TOI-6695	6288±22	4.27±0.04	0.10±0.01	1.489±0.040	2.604±0.207	1.567±0.036	1.318±0.002	244
TrES-1	5228±25	4.52±0.05	0.10±0.01	0.626±0.050	10.799±0.770	0.887±0.020	0.868±0.009	101
TrES-2	5880±13	4.50±0.04	-0.01±0.01	1.031±0.030	6.508±0.343	1.148±0.002	1.024±0.007	109
TrES-4	6401±58	4.29±0.14	0.20±0.04	1.990±0.100	2.098±0.178	1.811±0.044	1.453±0.017	108
WASP-1	6274±29	4.28±0.08	0.17±0.03	1.547±0.050	2.442±0.173	1.515±0.020	1.319±0.011	64
WASP-2	5171±25	4.47±0.07	0.10±0.01	0.538±0.070	10.676±0.865	0.871±0.002	0.854±0.007	97
WASP-4	5484±17	4.47±0.06	0.05±0.01	0.845±0.030	9.677±0.956	0.955±0.002	0.906±0.011	131
WASP-5	5777±15	4.45±0.04	0.23±0.01	0.982±0.030	4.426±0.430	1.110±0.022	1.080±0.012	168
WASP-6	5410±11	4.53±0.02	-0.13±0.01	0.768±0.030	9.583±0.979	0.837±0.013	0.837±0.010	140
WASP-7	6287±183	3.89±0.40	-0.10±0.11	1.394±0.280	3.331±1.282	1.579±0.093	1.229±0.066	248
WASP-8	5616±21	4.52±0.04	0.32±0.01	0.850±0.050	5.508±0.648	1.092±0.014	1.042±0.011	387
WASP-12	6297±23	4.17±0.06	0.11±0.02	1.619±0.040	2.583±0.092	1.598±0.028	1.338±0.015	174
WASP-13	6052±21	4.25±0.05	0.05±0.02	1.483±0.030	4.443±0.619	1.531±0.030	1.197±0.034	165
WASP-14	6554±30	4.31±0.06	-0.21±0.02	1.717±0.100	1.980±0.313	1.275±0.026	1.197±0.016	224
WASP-15	6391±44	4.29±0.11	-0.07±0.03	1.666±0.090	2.721±0.260	1.469±0.033	1.252±0.017	219
WASP-16	5720±10	4.41±0.04	0.13±0.01	0.941±0.020	7.071±0.314	1.133±0.024	1.021±0.007	206
WASP-18	6665±88	4.73±0.14	0.15±0.06	1.796±0.220	0.396±0.268	1.300±0.027	1.334±0.020	439
WASP-19	5559±25	4.48±0.07	0.24±0.01	1.058±0.040	5.634±1.157	1.006±0.016	1.003±0.015	137
WASP-20	5995±20	4.38±0.08	0.05±0.01	1.196±0.030	4.322±1.795	1.423±0.271	1.155±0.076	249
WASP-21	5881±13	4.30±0.04	-0.37±0.01	1.379±0.040	10.915±0.150	1.380±0.004	0.912±0.003	250
WASP-22	6081±12	4.41±0.05	0.20±0.01	1.194±0.020	1.321±0.351	1.155±0.018	1.199±0.009	150

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
WASP-23	5070±25	4.44±0.10	0.05±0.01	0.568±0.070	8.270±3.010	0.824±0.015	0.843±0.017	73
WASP-24	6210±28	4.32±0.06	0.01±0.02	1.437±0.050	3.323±0.232	1.394±0.030	1.210±0.014	180
WASP-25	5694±10	4.55±0.03	0.05±0.01	0.975±0.030	2.108±0.683	0.932±0.021	1.010±0.012	104
WASP-26	5960±13	4.30±0.03	0.08±0.01	1.266±0.030	5.378±0.244	1.313±0.017	1.110±0.013	148
WASP-28	6102±29	4.41±0.08	-0.25±0.02	1.412±0.080	5.208±0.736	1.096±0.011	1.000±0.017	86
WASP-31	6301±50	4.39±0.14	-0.19±0.03	1.812±0.150	3.765±0.651	1.276±0.029	1.116±0.022	167
WASP-32	6159±21	4.42±0.09	-0.02±0.02	1.268±0.040	1.310±0.659	1.096±0.013	1.139±0.017	145
WASP-34	5686±16	4.39±0.05	0.05±0.01	0.926±0.030	8.811±0.484	1.098±0.007	0.974±0.009	106
WASP-35	6056±21	4.40±0.06	-0.10±0.02	1.243±0.040	4.447±0.541	1.124±0.026	1.051±0.014	187
WASP-36	5894±24	4.48±0.07	-0.21±0.02	1.123±0.050	6.220±0.972	0.998±0.011	0.944±0.017	90
WASP-38	6229±34	4.18±0.06	-0.03±0.02	1.547±0.060	3.476±0.410	1.521±0.023	1.230±0.029	475
WASP-39	5518±16	4.49±0.06	0.04±0.02	0.765±0.030	9.611±0.926	0.968±0.020	0.913±0.013	88
WASP-41	5503±13	4.52±0.03	0.07±0.01	0.926±0.030	5.246±0.919	0.912±0.001	0.942±0.012	195
WASP-42	5102±41	4.36±0.13	0.32±0.02	0.498±0.100	9.118±2.241	0.880±0.017	0.884±0.016	81
WASP-44	5529±27	4.51±0.08	0.23±0.02	0.856±0.050	4.289±1.717	0.965±0.019	0.999±0.019	42
WASP-45	5205±42	4.28±0.16	0.41±0.02	0.848±0.070	10.422±1.092	0.991±0.018	0.916±0.009	79
WASP-46	5759±34	4.53±0.07	-0.19±0.02	0.941±0.080	4.566±2.107	0.905±0.017	0.925±0.024	46
WASP-47	5529±21	4.36±0.07	0.44±0.02	0.863±0.040	6.893±0.672	1.151±0.013	1.032±0.012	168
WASP-48	6283±103	4.28±0.25	0.06±0.06	1.569±0.160	2.759±0.455	1.810±0.072	1.366±0.040	143
WASP-49	5561±10	4.40±0.06	-0.06±0.01	0.851±0.020	11.04±0.549	1.047±0.001	0.911±0.009	271
WASP-50	5460±17	4.55±0.04	0.14±0.01	0.936±0.040	4.455±1.248	0.911±0.006	0.954±0.014	93

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
WASP-52	5058±33	4.47±0.13	0.20±0.02	0.918±0.060	9.946±1.534	0.854±0.019	0.858±0.011	70
WASP-54	6194±27	4.08±0.07	-0.13±0.02	1.515±0.050	3.935±0.532	1.739±0.013	1.232±0.042	257
WASP-55	6020±20	4.42±0.07	-0.01±0.01	1.152±0.040	3.320±0.547	1.097±0.006	1.082±0.013	105
WASP-57	5839±26	4.49±0.08	0.10±0.02	0.929±0.050	2.764±1.108	1.036±0.020	1.064±0.019	34
WASP-60	6170±18	4.36±0.06	0.26±0.02	1.247±0.030	2.202±0.183	1.374±0.019	1.276±0.015	92
WASP-61	6397±100	4.35±0.22	-0.22±0.07	2.417±0.530	3.499±0.919	1.416±0.049	1.163±0.042	71
WASP-62	6405±44	4.55±0.09	0.20±0.03	1.509±0.070	0.338±0.205	1.245±0.025	1.294±0.014	198
WASP-68	5974±13	4.19±0.04	0.32±0.01	1.280±0.020	3.147±0.262	1.665±0.036	1.324±0.020	162
WASP-70 A	5592±25	4.31±0.09	0.08±0.02	1.077±0.040	10.969±0.361	1.373±0.022	0.984±0.011	60
WASP-71	6392±52	4.52±0.18	0.39±0.03	1.607±0.070	1.661±0.139	1.919±0.045	1.530±0.018	137
WASP-73	6145±48	4.04±0.11	0.18±0.03	1.586±0.080	2.456±0.101	2.280±0.054	1.522±0.018	46
WASP-74	5987±18	4.25±0.06	0.43±0.02	1.218±0.020	2.628±0.289	1.466±0.034	1.288±0.001	411
WASP-76	6333±22	4.21±0.05	0.33±0.01	1.530±0.030	1.952±0.077	1.743±0.036	1.446±0.008	410
WASP-77 A	5548±21	4.46±0.08	0.02±0.01	1.000±0.030	10.183±1.203	1.043±0.014	0.927±0.015	249
WASP-78	6265±42	4.05±0.06	-0.26±0.03	1.753±0.110	3.608±0.415	1.954±0.046	1.249±0.047	162
WASP-81	5817±24	4.31±0.06	-0.43±0.02	1.132±0.060	11.33±0.271	1.286±0.030	0.884±0.010	56
WASP-84	5233±30	4.47±0.09	0.09±0.02	0.903±0.050	10.365±1.150	0.877±0.014	0.867±0.012	200
WASP-87	5591±24	4.52±0.05	-0.37±0.02	0.854±0.060	6.171±0.146	2.132±0.049	1.083±0.013	53
WASP-88	6300±126	4.15±0.21	-0.10±0.08	1.779±0.280	2.385±0.207	2.448±0.108	1.497±0.041	30
WASP-89	5058±31	4.41±0.09	0.02±0.01	0.889±0.060	10.142±1.200	0.832±0.001	0.838±0.009	42
WASP-94 A	6203±21	4.27±0.05	0.33±0.01	1.393±0.030	2.215±0.087	1.585±0.008	1.360±0.015	304

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
WASP-98	5408±27	4.48±0.09	-0.61±0.02	0.823±0.080	9.140±2.248	0.724±0.001	0.737±0.014	57
WASP-99	6086±20	4.16±0.06	0.21±0.02	1.350±0.030	3.072±0.080	1.737±0.008	1.349±0.001	331
WASP-101	6782±96	4.78±0.22	0.31±0.06	1.407±0.160	0.277±0.147	1.316±0.011	1.353±0.014	335
WASP-103	6104±74	4.26±0.20	0.05±0.06	1.612±0.130	3.693±0.649	1.740±0.111	1.279±0.059	114
WASP-105	5228±38	4.28±0.10	0.39±0.03	0.801±0.070	10.904±0.679	1.030±0.023	0.925±0.011	111
WASP-106	6284±36	4.40±0.11	0.08±0.03	1.532±0.070	2.515±0.281	1.392±0.026	1.257±0.013	139
WASP-117	6042±13	4.31±0.05	-0.18±0.01	1.344±0.040	6.717±0.725	1.257±0.022	1.019±0.016	401
WASP-118	6607±70	4.39±0.18	0.00±0.05	2.541±0.270	1.956±0.199	1.730±0.047	1.415±0.021	70
WASP-120	6743±140	4.26±0.25	0.11±0.08	2.116±0.310	1.219±0.523	1.645±0.074	1.472±0.035	183
WASP-121	6794±160	4.63±0.33	0.19±0.09	1.813±0.360	0.702±0.483	1.525±0.059	1.464±0.035	397
WASP-123	5757±30	4.43±0.09	0.27±0.03	0.851±0.060	5.764±0.780	1.295±0.029	1.113±0.021	35
WASP-127	5824±13	4.18±0.04	-0.21±0.01	1.213±0.030	10.088±0.473	1.379±0.025	0.955±0.009	373
WASP-129	6020±18	4.47±0.06	0.13±0.01	1.187±0.030	3.507±0.313	1.207±0.015	1.146±0.008	111
WASP-130	5653±18	4.46±0.06	0.32±0.01	0.861±0.030	4.178±0.610	1.051±0.012	1.057±0.012	173
WASP-131	6121±16	4.12±0.04	-0.09±0.01	1.470±0.040	5.099±0.131	1.649±0.026	1.151±0.008	319
WASP-139	5146±22	4.48±0.08	0.10±0.01	0.499±0.070	9.863±1.522	0.871±0.001	0.864±0.013	87
WASP-140	5324±21	4.53±0.04	0.07±0.01	0.989±0.040	8.733±1.671	0.875±0.012	0.879±0.014	210
WASP-148	5449±21	4.50±0.08	0.23±0.01	0.823±0.040	7.911±1.085	0.994±0.015	0.957±0.013	82
WASP-162	5564±18	4.39±0.07	0.39±0.02	0.960±0.040	7.403±0.503	1.206±0.014	1.046±0.015	46
WASP-166	6137±15	4.41±0.05	0.23±0.01	1.271±0.020	1.042±0.668	1.205±0.019	1.232±0.018	402
WASP-173 A	5838±32	4.53±0.07	0.22±0.03	1.256±0.050	2.390±1.160	1.081±0.023	1.107±0.021	122

Continua na próxima página

Tabela B.2 – Continuação

Estrela	$T_{\rm ef}$ (K)	$\log g$	[Fe/H]	$v_{\rm mic}$ (km s^{-1})	Idade (Gano)	$R_\star$ R$_\odot$	$M_\star$ M$_\odot$	SNR
WASP-180 A	6113±148	4.38±0.36	-0.33±0.10	1.856±0.500	6.298±2.278	1.303±0.067	1.007±0.056	166
WASP-182	5685±10	4.31±0.04	0.32±0.01	0.951±0.030	6.877±0.231	1.332±0.026	1.096±0.004	94
WASP-190	6714±158	4.13±0.34	-0.03±0.09	1.512±0.380	1.610±0.569	1.652±0.087	1.414±0.041	136
WASP-193	6195±34	4.49±0.09	-0.0±0.02	1.296±0.070	2.473±0.625	1.195±0.020	1.158±0.018	84
XO-1	5747±21	4.55±0.04	-0.06±0.02	0.958±0.040	4.561±1.153	0.954±0.006	0.969±0.018	102
XO-2 N	5313±36	4.38±0.11	0.46±0.02	0.788±0.060	9.529±1.284	1.039±0.018	0.941±0.014	104
XO-2 S	5385±30	4.35±0.10	0.39±0.02	0.840±0.060	9.630±1.099	1.076±0.024	0.960±0.013	215
XO-3	6457±192	3.17±0.26	-0.43±0.11	1.658±0.590	3.749±0.979	1.657±0.094	1.164±0.064	367
XO-4	6394±50	4.24±0.13	-0.14±0.03	1.980±0.140	3.037±0.324	1.568±0.037	1.252±0.021	149
XO-5	5488±22	4.38±0.08	0.22±0.02	0.826±0.040	11.011±0.499	1.156±0.019	0.967±0.012	56

Referências da Tabela B.3: [1] Bourrier *et al.* (2018), [2] Stassun *et al.* (2017), [3] Barge *et al.* (2008), [4] Moutou *et al.* (2008), [5] Rauer *et al.* (2009), [6] Bordé *et al.* (2010), [7] Deeg *et al.* (2010), [8] Bonomo *et al.* (2017), [9] Boufleur *et al.* (2018), [10] Livingston *et al.* (2018), [11] Livingston *et al.* (2024), [12] Kruse *et al.* (2019), [13] Guenther *et al.* (2024), [14] Bonomo *et al.* (2023), [15] Nikolov *et al.* (2014), [16] Torres *et al.* (2008), [17] Buchhave *et al.* (2010), [18] Brown *et al.* (2012), [19] Chakrabarty e Sengupta (2019), [20] Hartman *et al.* (2014), [21] Brahm *et al.* (2016), [22] Jordán *et al.* (2020), [23] Christiansen *et al.* (2017), [24] Sozzetti *et al.* (2021), [25] Polanski *et al.* (2024), [26] Rosário *et al.* (2024), [27] Kane *et al.* (2023), [28] Desidera *et al.* (2023), [29] Murgas *et al.* (2022), [30] Dransfield *et al.* (2022), [31] Egger *et al.* (2024), [32] Teske *et al.* (2020), [33] Díaz *et al.* (2020), [34] Ellis *et al.* (2021), [35] Bonfanti *et al.* (2021), [36] Osborn *et al.* (2021), [37] Zhang *et al.* (2024), [38] Delrez *et al.* (2021), [39] Azevedo Silva *et al.* (2022), [40] Nicholson *et al.* (2024), [41] Bonfanti *et al.* (2023), [42] Orell-Miquel *et al.* (2023), [43] Espinoza *et al.* (2020), [44] Murphy *et al.* (2025), [45] Howard *et al.* (2025), [46] Becker *et al.* (2019), [47] Vanderburg *et al.* (2019), [48] Bonfanti *et al.* (2025), [49] Petigura *et al.* (2020), [50] Vanderburg *et al.* (2016), [51] Santerne *et al.* (2016), [52] Johnson *et al.* (2016), [53] Grziwa *et al.* (2016), [54] Lillo-Box *et al.* (2020), [55] Barragán *et al.* (2019),

[56] Vivien *et al.* (2024), [57] Lopez *et al.* (2019), [58] Thygesen *et al.* (2023), [59] Barros *et al.* (2016), [60] Pope *et al.* (2016), [61] Brahm *et al.* (2018), [62] Palle *et al.* (2019), [63] Kosiarek *et al.* (2019), [64] Yu *et al.* (2018), [65] Eastman *et al.* (2016), [66] Kuhn *et al.* (2016), [67] Thompson *et al.* (2018), [68] Shaw *et al.* (2025), [69] Borsato *et al.* (2019), [70] Mullally *et al.* (2015), [71] Mills *et al.* (2019), [72] Brinkman *et al.* (2025), [73] Dalba *et al.* (2024), [74] Dalba *et al.* (2021), [75] Jenkins *et al.* (2020), [76] Gill *et al.* (2020), [77] Bryant *et al.* (2020), [78] Smith *et al.* (2021), [79] Battley *et al.* (2024), [80] Schulte *et al.* (2025), [81] Nielsen *et al.* (2020), [82] Hobson *et al.* (2023), [83] Hoyer *et al.* (2021), [84] Hobson *et al.* (2024), [85] Osborn *et al.* (2023), [86] Krenn *et al.* (2024), [87] Rodriguez *et al.* (2021), [88] Georgieva *et al.* (2023), [89] Alqasim *et al.* (2024), [90] Fridlund *et al.* (2020), [91] Hawthorn *et al.* (2023), [92] Sha *et al.* (2021), [93] Armstrong *et al.* (2023), [94] Otegi *et al.* (2021), [95] Lockley *et al.* (2025), [96] Beard *et al.* (2024), [97] Turtelboom *et al.* (2022), [98] Tran *et al.* (2022), [99] Heidari *et al.* (2025), [100] Sha *et al.* (2023), [101] Kabáth *et al.* (2022), [102] Persson *et al.* (2022), [103] Rice *et al.* (2023), [104] Yee *et al.* (2022), [105] Tala Pinto *et al.* (2025), [106] Brahm *et al.* (2023), [107] Gill *et al.* (2024), [108] Šubjak *et al.* (2025), [109] Frame *et al.* (2023), [110] Jones *et al.* (2024), [111] Psaridi *et al.* (2023), [112] Mantovan *et al.* (2024b), [113] Hacker *et al.* (2024), [114] Nabbie *et al.* (2024), [115] Chaturvedi *et al.* (2025), [116] Rodríguez Martínez *et al.* (2025), [117] Castro-González *et al.* (2024), [118] Ulmer-Moll *et al.* (2022), [119] Mantovan *et al.* (2024a), [120] Grieves *et al.* (2022), [121] Ulmer-Moll *et al.* (2023), [122] Manni *et al.* (2025), [123] Eberhardt *et al.* (2025), [124] Maciejewski *et al.* (2014), [125] Addison *et al.* (2019), [126] Gillon *et al.* (2009), [127] McGruder *et al.* (2023), [128] Cortés-Zuleta *et al.* (2020), [129] Anderson *et al.* (2015), [130] Bouchy *et al.* (2010), [131] Triaud *et al.* (2011), [132] Mancini *et al.* (2016), [133] Mancini *et al.* (2018), [134] Southworth *et al.* (2016), [135] Ciceri *et al.* (2016), [136] Nascimbeni *et al.* (2023), [137] Hébrard *et al.* (2013), [138] Southworth *et al.* (2015), [139] Anderson *et al.* (2014), [140] Ehrenreich *et al.* (2020), [141] Noguer *et al.* (2024), [142] Triaud *et al.* (2017), [143] Maciejewski *et al.* (2023), [144] Addison *et al.* (2016), [145] Hellier *et al.* (2015), [146] Gillon *et al.* (2014), [147] Anderson *et al.* (2017), [148] Wright *et al.* (2023), [149] Turner *et al.* (2016), [150] Seidel *et al.* (2020), [151] Maxted *et al.* (2016), [152] Hellier *et al.* (2017), [153] Doyle *et al.* (2023), [154] Almenara *et al.* (2022), [155] Hellier *et al.* (2019), [156] Nielsen *et al.* (2019), [157] Yee *et al.* (2025), [158] Crouzet *et al.* (2012) e [159] Smith (2015).

Tabela B.3: Parâmetros dos exoplanetas obtidos no NASA Exoplanet Archive, com exceção do raio do exoplaneta (calculado neste trabalho). A coluna 1 apresenta a identificação da estrela hospedeira. A coluna 2 apresenta a letra do exoplaneta. As colunas 3, 4 e 5 apresentam a profundidade de trânsito, raio e período orbital do exoplaneta, respectivamente. A coluna 6 apresenta a fonte dos valores de $P_{\rm orb}$ e ΔF. As colunas 7 e 8 apresentam a massa do exoplaneta e a fonte deste valor. A identificação das referências estão disponíveis no Apêndice B.

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
55 Cnc	e	0,03847±0,00042	2,33660±0,03063	0,73655±0,00000	ExoFOP	7,99000±0,32000	1
BD+20 594	b	0,04900±0,00250	2,74110±0,07231	41,68550±0,00300	2	22,24810±9,53490	2
CoRoT-1	b	1,31400±0,00104	15,80940±0,20037	1,50896±0,00001	ExoFOP	327,35000±38,14000	3
CoRoT-4	b	1,38123±0,04210	14,41210±0,24967	9,20165±0,00003	ExoFOP	228,83000±25,43000	4
CoRoT-5	b	1,52427±0,11997	16,50163±0,69285	4,03790±0,00001	ExoFOP	148,42000±14,93700	5
CoRoT-7	b	0,03500±0,00110	1,77937±0,03735	0,85359±0,00000	2	4,07661±1,01982	2
CoRoT-8	b	0,65100±0,00700	7,31279±0,13791	6,21229±0,00003	6	69,92000±9,53000	6
CoRoT-9	b	1,55000±0,05000	12,92887±0,27466	95,27380±0,00140	7	266,97720±15,89150	8
CoRoT-32	b	0,29000±0,02000	5,85696±0,22859	6,71837±0,00001	9	47,67450±31,78300	9
EPIC 201595106	b	0,02500±0,01000	1,72830±0,01554	0,87703±0,00011	10	7,67000±0,75000	11
EPIC 211945201	b	0,16390±0,00210	6,10517±0,05861	19,49183±0,00038	12	-	-
EPIC 220674823	b	0,02847±0,00071	1,93094±0,02925	0,57129±0,00001	12	7,80000±0,71000	13
EPIC 220674823	c	0,09030±0,00240	3,43890±0,05465	13,33877±0,00098	12	7,32000±2,49000	13
EPIC 229004835	b	0,03600±0,01000	2,16926±0,02279	16,13655±0,00168	10	10,40000±1,60000	14
HAT-P-1	b	1,44400±0,02354	15,78569±0,21398	4,46530±0,00000	ExoFOP	166,86075±6,03877	15
HAT-P-3	b	1,20000±0,05200	10,68209±0,31002	2,89970±0,00005	2	206,58950±34,96130	2

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
HAT-P-4	b	0,88000±0,00004	16,77913±0,08195	3,05653±0,00000	ExoFOP	213,25500±10,48800	16
HAT-P-8	b	0,83000±0,01600	13,55967±0,31699	3,07634±0,00000	2	406,82240±85,81410	2
HAT-P-15	b	1,00000±0,01800	10,40656±0,16132	10,86350±0,00003	2	616,59020±95,34900	2
HAT-P-16	b	1,36130±0,00878	15,14862±0,20964	2,77597±0,00000	ExoFOP	1332,60500±29,87500	17
HAT-P-17	b	1,50000±0,02200	12,15693±0,12950	10,33852±0,00001	2	184,34140±19,06980	2
HAT-P-21	b	0,90000±0,04200	13,33258±0,33847	4,12448±0,00001	2	1547,83210±498,99310	2
HAT-P-22	b	1,10000±0,36000	12,91873±2,32282	3,21222±0,00001	2	785,04010±101,70560	2
HAT-P-26	b	0,54000±0,00130	6,67628±0,11263	4,23452±0,00002	2	22,24810±6,35660	2
HAT-P-27	b	1,23376±0,03879	11,76524±0,19604	3,03909±0,00023	ExoFOP	197,05000±9,53000	18
HAT-P-29	b	0,86000±0,05200	12,45571±0,41535	5,72319±0,00005	2	279,69040±79,45750	2
HAT-P-30	b	1,30000±0,04500	16,32257±0,33407	2,81060±0,00001	2	263,79890±57,20940	2
HAT-P-31	b	0,65000±0,15000	13,70754±1,71009	5,00542±0,00009	2	721,47410±266,97720	2
HAT-P-36	b	1,40000±0,02800	12,97215±0,26662	1,32735±0,00000	2	587,41341±27,65121	19
HAT-P-44	b	2,20500±0,00026	15,51781±0,27566	4,30120±0,00000	ExoFOP	111,87100±9,21700	20
HATS-17	b	0,49500±0,00019	10,60220±0,16135	16,25468±0,00007	ExoFOP	425,25654±20,65895	21
HATS-38	b	0,32710±0,01627	7,15712±0,19528	4,37446±0,00064	ExoFOP	23,51942±3,49613	22
HD 3167	b	0,02940±0,01000	1,69823±0,04119	0,95964±0,00001	23	4,97000±0,24000	14
HD 3167	c	0,09460±0,01000	3,04626±0,07389	29,84540±0,00120	23	11,13000±0,78000	14
HD 5278	b	0,03926±0,00124	2,67657±0,05352	14,33921±0,00002	ExoFOP	7,80000±1,50000	24
HD 6061	b	0,05670±0,00222	2,71460±0,06203	5,25449±0,00001	ExoFOP	10,00000±2,50000	25
HD 15337	b	0,03986±0,00208	1,94911±0,06345	4,75597±0,00002	ExoFOP	6,51900±0,40900	26

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
HD 15337	c	0,06801±0,00398	2,54595±0,08981	17,18072±0,00005	ExoFOP	6,79200±1,30200	26
HD 17156	b	0,53000±0,00870	12,04384±0,24372	21,21663±0,00045	2	1036,12061±34,96112	27
HD 18599	b	0,11255±0,00325	3,04435±0,07942	4,13744±0,00000	ExoFOP	24,10000±7,10000	28
HD 20329	b	0,02210±0,00159	2,02756±0,07461	0,92606±0,00000	ExoFOP	7,42000±1,09000	29
HD 28109	b	0,02534±0,00182	2,55705±0,09632	22,89099±0,00013	ExoFOP	18,49600±9,12000	30
HD 28109	c	0,07679±0,00172	4,45128±0,06366	56,00451±0,00021	ExoFOP	7,94300±4,22700	30
HD 28109	d	0,04402±0,00220	3,37004±0,09020	84,26076±0,00088	ExoFOP	5,68100±2,73800	30
HD 39091	c	0,03210±0,00075	2,43968±0,03693	6,26783±0,00002	ExoFOP	-	-
HD 42813	b	0,11791±0,00395	3,86963±0,06704	13,63080±0,00004	ExoFOP	9,10000±0,82000	31
HD 63935	b	0,08750±0,00234	3,22043±0,08047	9,05882±0,00001	ExoFOP	10,50000±1,60000	25
HD 63935	c	0,09608±0,00340	3,37455±0,09322	21,40031±0,00013	ExoFOP	11,10000±2,00000	25
HD 73344	b	0,05205±0,00340	2,99450±0,10631	15,61136±0,00113	ExoFOP	-	-
HD 80606	b	1,10000±0,03800	12,93018±0,27005	111,43670±0,00040	2	1392,09540±235,19420	2
HD 86226	c	0,04450±0,00223	2,53619±0,07921	3,98466±0,00001	ExoFOP	7,25000±1,19000	32
HD 93963 A	b	0,02100±0,00007	1,73434±0,02078	1,03761±0,00001	ExoFOP	2,80000±2,30000	25
HD 93963 A	c	0,07800±0,00006	3,34251±0,03967	3,64515±0,00001	ExoFOP	18,40000±3,20000	25
HD 95338	b	0,25090±0,00915	4,79694±0,12434	55,08700±0,02000	ExoFOP	42,44000±2,22000	33
HD 97658	b	0,08500±0,00790	2,41638±0,12580	9,49090±0,00160	2	8,30000±1,10000	34
HD 108236	b	0,03175±0,00356	1,72401±0,10171	3,79589±0,00002	ExoFOP	-	-
HD 108236	c	0,05489±0,00333	2,26671±0,07528	6,20362±0,00002	ExoFOP	-	-
HD 108236	d	0,09071±0,00470	2,91396±0,08463	14,17589±0,00004	ExoFOP	-	-

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
HD 108236	e	0,11827±0,00532	3,32720±0,08624	19,59016±0,00004	ExoFOP	-	-
HD 108236	f	0,04450±0,00210	2,04093±0,06128	29,54115±0,00033	35	-	-
HD 109833	b	0,04600±0,00004	2,34203±0,02345	9,18851±0,00003	ExoFOP	-	-
HD 109833	c	0,06473±0,00709	2,77816±0,15908	13,90284±0,00139	ExoFOP	-	-
HD 110113	b	0,05720±0,00284	2,61947±0,09281	2,54047±0,00001	ExoFOP	4,55000±0,62000	36
HD 110113	c	0,04505±0,00815	2,32479±0,22820	6,74188±0,00002	ExoFOP	-	-
HD 118203	b	0,38600±0,00014	15,82109±0,13572	6,13498±0,00002	ExoFOP	680,15279±38,13941	37
HD 136352	b	0,02174±0,00116	1,68574±0,04666	11,57784±0,00002	ExoFOP	4,72000±0,42000	38
HD 136352	c	0,05553±0,00148	2,69425±0,03930	27,59207±0,00003	ExoFOP	11,24000±0,65000	38
HD 136352	d	0,01952±0,00156	1,59734±0,06590	107,24500±0,05000	ExoFOP	8,82000±0,93000	38
HD 137496	b	0,00575±0,00046	1,42008±0,05584	1,62116±0,00008	39	4,04000±0,55000	39
HD 149026	b	0,29000±0,00870	8,87954±0,14653	2,87589±0,00000	2	120,77540±19,06980	2
HD 152843	b	0,04860±0,00382	3,59174±0,15336	11,62075±0,00007	ExoFOP	9,82000±1,71000	40
HD 152843	c	0,08556±0,00628	4,76556±0,19165	19,50210±0,00007	ExoFOP	9,67000±1,97000	40
HD 183579	b	0,11998±0,00289	3,78234±0,06187	17,47131±0,00002	ExoFOP	20,40000±2,60000	41
HD 189733	b	2,40000±0,00580	13,22899±0,32182	2,21858±0,00000	2	359,14790±25,42640	2
HD 191939	b	0,12380±0,00139	3,66926±0,05006	8,88033±0,00001	ExoFOP	10,00000±0,70000	42
HD 191939	c	0,10814±0,00138	3,42934±0,04791	28,58047±0,00004	ExoFOP	8,00000±1,00000	42
HD 191939	d	0,10291±0,00147	3,34537±0,04800	38,35112±0,00007	ExoFOP	2,80000±0,60000	42
HD 209458	b	1,50000±0,00240	16,69070±0,14772	3,52475±0,00000	2	232,01590±12,71320	2
HD 213885	b	0,02280±0,00122	1,96708±0,06024	1,00824±0,00000	ExoFOP	8,83000±0,66000	43

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
HD 219666	b	0,18000±0,00501	4,97107±0,08366	6,03447±0,00001	ExoFOP	17,60000±1,20000	44
HD 332231	b	0,60660±0,01404	10,81814±0,14734	18,71225±0,00032	ExoFOP	74,10000±5,60000	25
HIP 41378	b	0,03800±0,00100	2,91201±0,04627	15,57186±0,00003	ExoFOP	6,89000±0,88000	45
HIP 41378	c	0,02929±0,00391	2,55643±0,17832	31,71802±0,00013	ExoFOP	4,40000±1,10000	45
HIP 41378	f	0,50000±0,01000	10,56295±0,09266	542,07975±0,00014	46	12,00000±3,00000	45
HIP 9618	b	0,14150±0,01376	4,07478±0,21357	20,77243±0,00022	ExoFOP	-	-
HIP 9618	c	0,11930±0,00459	3,74150±0,09444	52,56371±0,00042	ExoFOP	-	-
HR 858	b	0,02130±0,00100	2,10367±0,05540	3,58599±0,00015	47	3,55000±0,94000	48
HR 858	c	0,01840±0,00110	1,95523±0,06337	5,97293±0,00060	47	-	-
HR 858	d	0,02290±0,00150	2,18125±0,07676	11,23000±0,00110	47	7,10000±1,60000	48
K2-10	b	0,16910±0,00280	4,41856±0,06156	19,30481±0,00056	12	25,20000±8,40000	45
K2-19	b	0,66730±0,00510	7,61786±0,17196	7,91945±0,00004	12	32,40000±1,70000	49
K2-19	c	0,23250±0,00400	4,49659±0,10804	23,81486±0,00050	12	10,80000±0,60000	49
K2-19	d	0,01900±0,01000	1,28543±0,02860	2,50849±0,01000	50	-	-
K2-27	b	0,28040±0,00220	5,27349±0,04091	6,77137±0,00005	12	30,20000±3,50000	45
K2-29	b	1,90110±0,00530	11,99983±0,13662	3,25881±0,00001	12	232,01590±12,71320	51
K2-30	b	1,71190±0,00480	13,37301±0,21513	4,09849±0,00001	12	184,02357±8,89924	52
K2-31	b	0,62900±0,01000	7,90698±0,16455	1,25785±0,01000	50	563,83042±25,10857	53
K2-32	b	0,38020±0,00270	5,19802±0,10931	8,99202±0,00008	12	15,00000±1,80000	54
K2-32	c	0,13460±0,00240	3,09282±0,06983	20,66178±0,00070	12	8,10000±2,40000	54
K2-32	d	0,15620±0,00310	3,33175±0,07649	31,72360±0,00130	12	6,70000±2,50000	54

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
K2-32	e	0,02550±0,00180	1,34618±0,05824	4,34910±0,00063	12	2,10000±1,30000	54
K2-34	b	0,74930±0,00160	12,97815±0,11427	2,99564±0,00000	12	-	-
K2-58	b	0,10300±0,00240	2,91229±0,05149	7,05235±0,00017	12	-	-
K2-58	c	0,03750±0,00120	1,75724±0,03667	2,53712±0,00011	12	-	-
K2-58	d	0,04250±0,00180	1,87072±0,04901	22,88200±0,00180	12	-	-
K2-79	b	0,10500±0,00190	4,76625±0,05377	10,99501±0,00034	12	9,20000±2,40000	14
K2-100	b	0,01225±0,00041	1,43461±0,05327	1,67374±0,00003	12	21,80000±6,20000	55
K2-105	b	0,13380±0,00170	3,81457±0,05734	8,26698±0,00013	12	15,40000±4,40000	45
K2-108	b	0,09730±0,00170	5,72924±0,06510	4,73363±0,00013	12	-	-
K2-131	b	0,04000±0,01000	1,72751±0,02184	0,36931±0,00001	10	7,90000±1,30000	14
K2-138	d	0,08380±0,01176	2,87971±0,21318	5,40536±0,00004	56	7,92000±1,39000	57
K2-138	e	0,13430±0,00386	3,64561±0,07139	8,26166±0,00002	ExoFOP	12,97000±1,98000	57
K2-138	f	0,08507±0,01265	2,90147±0,22773	12,75662±0,00006	56	1,63000±2,12000	57
K2-138	g	0,08415±0,01895	2,88574±0,34765	41,96544±0,00006	56	4,32000±5,26000	57
K2-165	d	0,14508±0,01873	3,41480±0,23541	14,06660±0,00521	ExoFOP	-	-
K2-167	b	0,02750±0,01000	2,86294±0,00181	9,97540±0,01000	50	-	-
K2-182	b	0,11780±0,00120	3,05828±0,05513	4,73689±0,00005	12	20,97667±5,40308	58
K2-184	b	0,02650±0,00110	1,40965±0,03970	16,99600±0,00110	12	-	-
K2-188	c	0,05200±0,00210	2,98811±0,07054	7,80905±0,00054	12	-	-
K2-189	b	0,03000±0,00140	1,66440±0,05188	2,58819±0,00014	12	-	-
K2-189	c	0,07840±0,00180	2,69064±0,05795	6,67913±0,00017	12	-	-

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
K2-197	b	0,05500±0,00300	2,48153±0,07519	8,35471±0,01000	59	-	-
K2-198	b	0,27370±0,00400	4,58169±0,10277	17,04354±0,00026	12	-	-
K2-198	c	0,01800±0,01000	1,17496±0,02491	3,35900±0,01000	60	-	-
K2-198	d	0,10820±0,00190	2,88073±0,06666	7,44976±0,00015	12	-	-
K2-222	b	0,04071±0,00417	2,49410±0,13354	15,38866±0,00016	ExoFOP	8,70000±1,70000	14
K2-223	b	0,01000±0,01000	1,14439±0,00983	0,50565±0,00006	10	-	-
K2-223	c	0,02000±0,01000	1,61842±0,01390	4,56327±0,00051	10	-	-
K2-229	b	0,01625±0,01000	1,15397±0,02227	0,58426±0,00002	10	-	-
K2-232	b	0,96600±0,00022	12,91126±0,05368	11,16840±0,00001	ExoFOP	126,49634±11,75971	61
K2-244	b	0,03000±0,01000	1,74384±0,01891	21,06884±0,00320	10	-	-
K2-265	b	0,03194±0,00068	1,88325±0,03240	2,36902±0,00006	12	7,34184±1,43023	58
K2-269	b	0,00780±0,01000	1,41575±0,02604	4,14400±0,01000	60	-	-
K2-274	b	0,09740±0,00250	2,47077±0,06595	14,13168±0,00066	12	-	-
K2-285	b	0,10500±0,00011	2,91919±0,06371	3,47156±0,00001	ExoFOP	9,68000±1,21000	62
K2-285	c	0,20640±0,00733	4,09282±0,11556	7,13857±0,00001	ExoFOP	15,68000±2,28000	62
K2-291	b	0,02840±0,00479	1,67645±0,14974	2,22516±0,00002	ExoFOP	6,49000±1,16000	63
K2-333	b	0,22385±0,01363	6,49421±0,20400	14,75650±0,00169	ExoFOP	-	-
K2-352	c	0,04010±0,01000	2,08391±0,02187	8,23649±0,01000	64	-	-
K2-352	d	0,19000±0,01000	4,53611±0,04760	14,86994±0,01000	64	-	-
K2-370	b	0,06280±0,00203	2,49568±0,05593	2,14081±0,00000	ExoFOP	-	-
KELT-4 A	b	1,21178±0,00512	18,30736±0,21980	2,98951±0,00005	ExoFOP	286,68266±19,06980	65

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
KELT-6	b	0,60000±0,01500	14,67538±0,21932	7,84570±0,00020	2	165,27160±38,13960	2
KELT-10	b	1,54414±0,00772	16,33742±0,22093	4,16613±0,00009	ExoFOP	215,80657±12,39537	66
KOI-351	b	0,01164±0,00067	1,49268±0,04901	7,00822±0,00005	67	-	-
KOI-351	c	0,01604±0,00074	1,75224±0,04861	8,71980±0,00003	67	-	-
KOI-351	d	0,05664±0,00133	3,29270±0,06285	59,73714±0,00024	67	-	-
KOI-351	e	0,04829±0,00142	3,04032±0,06408	91,94013±0,00055	67	-	-
KOI-351	f	0,04987±0,00216	3,08966±0,08200	124,92252±0,00282	67	-	-
KOI-351	g	0,41593±0,00185	8,92280±0,13527	210,60138±0,00023	67	15,00000±1,30000	68
KOI-351	h	0,83221±0,00253	12,62140±0,19024	331,59727±0,00025	67	203,00000±16,00000	68
Kepler-9	b	0,66605±0,00130	8,97423±0,14286	19,27083±0,00000	67	43,40000±1,60000	69
Kepler-9	c	0,61591±0,00183	8,62983±0,13772	38,90788±0,00001	70	29,90000±1,10000	69
Kepler-9	d	0,02483±0,00056	1,73273±0,03382	1,59296±0,00000	70	-	-
Kepler-19	b	0,06917±0,00032	2,71397±0,04638	9,28696±0,00000	67	6,10000±2,80000	14
Kepler-20	b	0,03834±0,00033	2,02484±0,02509	3,69612±0,00000	67	9,70000±1,30000	14
Kepler-20	c	0,10344±0,00045	3,32589±0,03931	10,85410±0,00000	67	11,10000±2,10000	14
Kepler-20	d	0,08145±0,00084	2,95128±0,03752	77,61144±0,00015	67	13,40000±3,70000	14
Kepler-20	e	0,00844±0,00038	0,95003±0,02429	6,09856±0,00003	67	-	-
Kepler-20	f	0,00981±0,00060	1,02423±0,03397	19,57761±0,00014	67	-	-
Kepler-25	b	0,04016±0,00017	2,77042±0,05502	6,23854±0,00000	67	8,70000±2,50000	71
Kepler-25	c	0,11801±0,00039	4,74906±0,09411	12,72037±0,00000	67	15,20000±1,30000	71
Kepler-63	b	0,39770±0,01160	6,28039±0,12387	9,43414±0,00002	67	-	-

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
Kepler-65	b	0,00997±0,00014	1,57772±0,01801	2,15491±0,00000	67	-	-
Kepler-65	c	0,03228±0,00019	2,83890±0,02684	5,85994±0,00000	67	-	-
Kepler-65	d	0,01118±0,00022	1,67072±0,02232	8,13121±0,00002	67	-	-
Kepler-68	b	0,02900±0,01600	2,44906±0,80938	5,39876±0,00000	2	8,03000±0,67000	14
Kepler-68	c	0,00550±0,00019	1,06655±0,01902	9,60506±0,00003	67	-	-
Kepler-100	b	0,00687±0,00020	1,43367±0,03156	6,88707±0,00002	67	4,01000±0,47000	72
Kepler-100	c	0,02205±0,00022	2,56847±0,04407	12,81590±0,00002	67	-	-
Kepler-100	d	0,00997±0,00036	1,72710±0,04235	35,33319±0,00022	67	-	-
Kepler-107	b	0,01203±0,00027	1,73546±0,02016	3,18003±0,00001	67	3,80000±1,80000	14
Kepler-107	c	0,01407±0,00029	1,87685±0,02012	4,90145±0,00001	67	10,00000±2,00000	14
Kepler-107	d	0,00500±0,00037	1,11884±0,04231	7,95825±0,00008	67	-	-
Kepler-107	e	0,04302±0,00042	3,28184±0,01844	14,74915±0,00002	67	14,10000±3,30000	14
Kepler-126	b	0,01061±0,00024	1,53534±0,03601	10,49566±0,00003	67	-	-
Kepler-126	c	0,01255±0,00031	1,66982±0,04005	21,86966±0,00008	67	-	-
Kepler-126	d	0,03512±0,00044	2,79334±0,05993	100,28307±0,00026	67	-	-
Kepler-421	b	0,23191±0,00581	4,17537±0,07078	704,96263±0,00905	70	-	-
Kepler-491	b	0,75630±0,00060	10,18020±0,13301	4,22538±0,00000	67	-	-
Kepler-511	b	0,27631±0,00117	10,07946±0,07212	296,63758±0,00041	67	-	-
Kepler-511	c	0,04928±0,00052	4,25671±0,03679	26,62942±0,00005	67	-	-
Kepler-538	b	0,06288±0,00051	2,47536±0,04495	81,73787±0,00010	67	12,90000±2,90000	14
Kepler-849	b	0,20133±0,00101	8,67245±0,22156	394,62495±0,00082	67	298,75870±63,56568	73

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
Kepler-1300	b	0,00635±0,00045	1,90827±0,07837	22,24200±0,00025	67	-	-
Kepler-1323	b	0,01087±0,00016	1,45385±0,01650	0,92991±0,00000	67	-	-
Kepler-1514	b	0,91487±0,00078	13,61983±0,15678	217,83184±0,00009	67	1678,14240±69,92260	74
Kepler-1514	c	0,00854±0,00045	1,31589±0,03826	10,51421±0,00006	67	-	-
Kepler-1655	b	0,03327±0,00045	2,17502±0,02980	11,87291±0,00001	67	5,40000±1,70000	14
Kepler-1704	b	0,50600±0,00389	13,63999±0,35347	988,88112±0,00091	70	1322,16617±92,17024	74
Kepler-1869	b	0,01049±0,00077	1,06808±0,04120	8,16734±0,00006	67	-	-
Kepler-1869	c	0,00616±0,00013	0,81848±0,01161	1,71683±0,00000	70	-	-
Kepler-1911	b	0,00699±0,00098	0,95222±0,07079	5,99078±0,00005	67	-	-
LTT 9779	b	0,14640±0,44712	4,16562±nan0000	0,79206±0,00000	ExoFOP	29,32000±0,78000	75
NGTS-11	b	0,98900±0,00204	9,02430±0,13065	35,45579±0,00014	ExoFOP	109,33352±29,24036	76
NGTS-12	b	0,46972±0,02259	11,48791±0,28326	7,53377±0,00216	ExoFOP	66,10864±6,99226	77
NGTS-14 A	b	0,31160±0,02179	5,30923±0,19252	3,53571±0,00001	ExoFOP	29,24036±3,81396	78
NGTS-30	b	1,00560±0,00103	10,41376±0,08777	98,29838±0,00010	ExoFOP	305,11527±17,79839	79
PH2	b	0,97464±0,00167	10,29532±0,11891	282,52536±0,00012	67	87,08498±20,97667	73
TIC 257060897	b	0,77497±0,00368	19,54316±0,41595	3,66003±0,00000	ExoFOP	201,50321±13,03096	80
TOI-125	b	0,09780±0,00798	2,94027±0,13859	4,65172±0,00001	ExoFOP	9,50000±0,88000	81
TOI-125	c	0,11010±0,00604	3,11969±0,11077	9,15494±0,00002	ExoFOP	6,63000±0,99000	81
TOI-125	d	0,09090±0,00708	2,83465±0,12888	19,98157±0,00009	ExoFOP	13,60000±1,20000	81
TOI-128	1	0,04550±0,00171	2,80211±0,06003	4,94047±0,00001	ExoFOP	-	-
TOI-132	b	0,13097±0,00509	3,71873±0,09653	2,10968±0,00000	ExoFOP	22,40000±1,90000	33

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
TOI-199	b	1,21830±0,01672	10,71502±0,22915	104,87296±0,00004	ExoFOP	54,03083±6,35657	82
TOI-201	b	0,63473±0,00247	11,53589±0,14959	52,97814±0,00001	ExoFOP	-	-
TOI-220	b	0,09200±0,00441	2,88487±0,08052	10,69531±0,00001	ExoFOP	13,80000±1,00000	83
TOI-261	1	0,04221±0,00291	2,69654±0,09773	3,36393±0,00002	ExoFOP	-	-
TOI-286	b	0,03130±0,00154	1,56871±0,04759	4,51172±0,00001	ExoFOP	4,53000±0,78000	84
TOI-286	c	0,05520±0,00438	2,08324±0,09166	39,36195±0,00014	ExoFOP	3,72000±2,22000	84
TOI-332	b	0,08300±0,00075	2,98237±0,04308	0,77685±0,00003	ExoFOP	57,20000±1,60000	85
TOI-421	b	0,04374±0,00384	2,06006±0,09724	5,19769±0,00003	ExoFOP	6,70000±0,60000	86
TOI-421	c	0,29297±0,00475	5,33125±0,08824	16,06752±0,00002	ExoFOP	14,10000±1,40000	86
TOI-451	b	0,04977±0,00534	2,13884±0,12952	1,85866±0,00001	ExoFOP	-	-
TOI-451	c	0,09409±0,01134	2,94082±0,19713	9,19108±0,00010	ExoFOP	-	-
TOI-451	d	0,20751±0,01325	4,36745±0,17906	16,36487±0,00005	ExoFOP	-	-
TOI-480	b	0,03340±0,00186	3,02150±0,09051	6,86596±0,00002	ExoFOP	20,80000±4,40000	25
TOI-628	b	0,75000±0,00002	12,99366±0,03783	3,40760±0,00014	ExoFOP	2011,86390±92,17070	87
TOI-733	b	0,04780±0,00299	2,28237±0,07706	4,88479±0,00001	ExoFOP	5,72000±0,70000	88
TOI-757	b	0,09260±0,00470	2,63840±0,06985	17,46823±0,00007	ExoFOP	10,50000±2,20000	89
TOI-763	b	0,07012±0,00446	2,74119±0,10003	5,60577±0,00001	ExoFOP	9,79000±0,78000	90
TOI-763	c	0,08695±0,00445	3,05245±0,09443	12,27724±0,00003	ExoFOP	9,32000±1,02000	90
TOI-849	b	0,14100±0,00017	3,91586±0,07385	0,76566±0,00015	ExoFOP	41,80000±2,50000	25
TOI-907	1	0,21011±0,00516	9,17981±0,13882	4,58491±0,00001	ExoFOP	-	-
TOI-908	b	0,08502±0,00409	3,26045±0,08559	3,18378±0,00001	ExoFOP	16,13700±4,11200	91

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
TOI-954	b	0,20700±0,00006	10,30902±0,03481	3,68497±0,00001	ExoFOP	55,30242±5,72094	92
TOI-1011	b	0,02500±0,00181	1,72657±0,06525	2,47050±0,00001	ExoFOP	4,04000±0,59000	72
TOI-1052	b	0,03584±0,00337	2,63377±0,12711	9,13980±0,00011	ExoFOP	16,90000±1,70000	93
TOI-1062	b	0,04870±0,00509	2,13266±0,12511	4,11506±0,00001	ExoFOP	10,15000±0,81000	94
TOI-1117	b	0,06300±0,00012	2,86967±0,05488	2,22816±0,00002	ExoFOP	8,90000±0,95000	95
TOI-1135	b	0,57050±0,00197	9,59228±0,24799	8,02773±0,00000	ExoFOP	-	-
TOI-1136	c	0,08130±0,00343	3,05753±0,08211	6,25861±0,00001	ExoFOP	6,32000±1,10000	96
TOI-1136	d	0,23200±0,00045	5,16499±0,08430	12,51873±0,00003	ExoFOP	8,35000±1,80000	96
TOI-1136	e	0,04707±0,00555	2,32641±0,14655	18,79555±0,00010	ExoFOP	6,07000±1,09000	96
TOI-1136	f	0,08000±0,00004	3,03299±0,04942	26,32088±0,00013	ExoFOP	9,70000±3,90000	96
TOI-1246	b	0,10948±0,00300	3,18683±0,06433	4,30745±0,00000	ExoFOP	8,10000±1,10000	97
TOI-1246	c	0,07739±0,00313	2,67937±0,06745	5,90413±0,00001	ExoFOP	9,10000±1,30000	25
TOI-1246	d	0,14954±0,01486	3,72450±0,19768	18,65488±0,00011	ExoFOP	5,40000±1,90000	25
TOI-1246	e	0,13708±0,00788	3,56589±0,11657	37,92520±0,00013	ExoFOP	14,50000±2,30000	25
TOI-1248	b	0,55923±0,00283	7,34940±0,15627	4,36015±0,00000	ExoFOP	27,40000±3,60000	25
TOI-1288	b	0,27980±0,00386	5,77615±0,07505	2,69983±0,00000	ExoFOP	44,10000±2,70000	25
TOI-1294	b	0,33500±0,00005	10,08718±0,15801	3,91527±0,00000	ExoFOP	63,90000±4,70000	25
TOI-1472	b	0,23687±0,00976	4,60243±0,12809	6,36341±0,00001	ExoFOP	16,50000±5,10000	25
TOI-1601	b	0,42200±0,00005	14,75482±0,11350	5,33155±0,00052	ExoFOP	387,00000±16,00000	25
TOI-1670	b	0,03150±0,00330	2,58539±0,14656	10,98367±0,00004	ExoFOP	-	-
TOI-1670	c	0,60260±0,00462	11,30797±0,20803	40,75010±0,00001	ExoFOP	200,23190±28,60456	98

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
TOI-1710	b	0,28440±0,00379	5,80596±0,12832	24,28338±0,00002	ExoFOP	22,40000±4,10000	25
TOI-1736	b	0,04390±0,00168	3,46624±0,06997	7,07311±0,00002	ExoFOP	12,30000±1,50000	25
TOI-1758	b	0,18220±0,00534	3,80346±0,07602	20,70515±0,00004	ExoFOP	-	-
TOI-1776	b	0,02049±0,00277	1,54886±0,10995	2,80099±0,00059	ExoFOP	1,40000±1,10000	25
TOI-1836	b	0,23715±0,00267	9,21034±0,22415	20,38078±0,00002	ExoFOP	38,45724±9,21702	99
TOI-1836	c	0,02430±0,00256	2,94826±0,17426	1,77275±0,00000	ExoFOP	-	-
TOI-2000	b	0,04960±0,00410	2,92564±0,12745	3,09837±0,00002	ExoFOP	11,00000±2,40000	100
TOI-2000	c	0,45680±0,01081	8,87857±0,14277	9,12705±0,00001	ExoFOP	81,70000±4,70000	100
TOI-2046	b	1,62662±0,00713	16,04392±0,19813	1,49714±0,00002	ExoFOP	731,00534±88,99195	101
TOI-2076	b	0,09239±0,00662	2,61223±0,11080	10,35636±0,00002	ExoFOP	-	-
TOI-2076	c	0,20720±0,00012	3,91187±0,08451	21,01530±0,00006	ExoFOP	-	-
TOI-2076	d	0,20660±0,00011	3,90620±0,08438	35,12575±0,00010	ExoFOP	-	-
TOI-2196	b	0,11272±0,01561	3,84222±0,27883	1,19540±0,00027	ExoFOP	26,00000±1,30000	102
TOI-2202	b	1,93043±0,01989	12,56236±0,31030	11,91249±0,00001	ExoFOP	287,31688±27,65107	103
TOI-2207	b	0,46067±0,01594	11,34714±0,26618	8,00049±0,00002	ExoFOP	203,41018±31,78284	104
TOI-2211	1	0,03492±0,00428	1,77732±0,11387	3,09117±0,00093	ExoFOP	-	-
TOI-2328	b	1,14300±0,00019	11,14912±0,17512	17,10196±0,00002	ExoFOP	50,85255±6,35657	105
TOI-2338	b	1,15300±0,00014	12,86280±0,10553	22,65396±0,00004	ExoFOP	1900,61387±66,74397	106
TOI-2447	b	0,87350±0,00006	10,70585±0,13268	69,33684±0,00009	ExoFOP	124,90656±9,85268	107
TOI-2458	b	0,03105±0,00479	2,65151±0,21664	3,73697±0,00095	ExoFOP	13,31000±0,99000	108
TOI-2498	b	0,13165±0,00897	5,24177±0,18602	3,73824±0,00001	ExoFOP	34,62000±4,10000	109

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
TOI-2529	b	0,42400±0,00061	12,43618±0,02312	64,59490±0,00030	ExoFOP	743,71847±62,61220	110
TOI-2545	b	0,04046±0,00392	2,52821±0,13471	7,99404±0,00005	ExoFOP	-	-
TOI-2589	b	0,88780±0,00016	11,80145±0,12347	61,62770±0,00013	ExoFOP	1112,39942±31,78284	106
TOI-2641	b	0,33856±0,02562	8,74274±0,35613	4,88096±0,00001	ExoFOP	122,68177±6,99222	111
TOI-2981	b	1,36300±0,00032	13,99795±0,34422	3,60151±0,00001	ExoFOP	638,00000±33,00000	112
TOI-3071	b	0,25800±0,00022	8,14790±0,06111	1,26694±0,00000	ExoFOP	68,20000±3,50000	113
TOI-3261	b	0,20681±0,00779	4,30046±0,13253	0,88313±0,00000	ExoFOP	30,30000±2,20000	114
TOI-3493	b	0,07572±0,00328	3,77703±0,09014	8,15949±0,00002	ExoFOP	8,97000±1,17000	115
TOI-3837	b	0,78000±0,00029	13,88750±0,09648	11,88865±0,00003	ExoFOP	187,51876±15,89142	105
TOI-4406	b	0,54392±0,01370	10,67888±0,14372	30,08350±0,00005	ExoFOP	95,34852±9,53485	106
TOI-4600	b	0,65296±0,01378	7,42084±0,16165	82,69014±0,00088	ExoFOP	-	-
TOI-4600	c	0,69281±0,03261	7,64397±0,23301	482,81910±0,01000	ExoFOP	-	-
TOI-4914	b	1,29200±0,00120	12,92100±0,16147	10,59887±0,00135	ExoFOP	227,00000±13,00000	112
TOI-4994	b	0,59600±0,00021	9,98978±0,21919	21,49215±0,00008	ExoFOP	88,99195±11,75965	116
TOI-5005	b	0,36900±0,00043	6,58020±0,09295	6,30847±0,00004	ExoFOP	32,70000±5,90000	117
TOI-5027	b	0,94100±0,03022	9,86186±0,27382	10,24367±0,00003	ExoFOP	642,01338±41,31769	105
TOI-5082	1	0,08420±0,00258	3,03871±0,08936	4,24035±0,00001	ExoFOP	-	-
TOI-5143	c	1,13945±0,02532	10,11768±0,24866	5,20971±0,00000	ExoFOP	-	-
TOI-5153	b	0,59360±0,00020	11,63546±0,26923	20,91084±0,00007	ExoFOP	1036,12061±57,20911	118
TOI-5398	b	1,02900±0,00005	11,59761±0,15508	10,59092±0,00068	ExoFOP	58,70000±5,70000	119
TOI-5398	c	0,09200±0,00010	3,46781±0,04641	4,77290±0,00091	ExoFOP	11,80000±4,80000	119

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
TOI-5542	b	1,11710±0,00073	13,27267±0,11550	75,12470±0,00077	ExoFOP	419,53350±31,78284	120
TOI-5678	b	0,24000±0,00038	5,10885±0,06432	119,33553±0,00674	ExoFOP	20,00000±4,00000	121
TOI-5795	b	0,26276±0,01475	6,14048±0,18533	6,14069±0,00058	ExoFOP	23,66000±4,09000	122
TOI-6628	b	0,93430±0,03445	10,99829±0,26533	18,18419±0,00004	ExoFOP	235,19302±19,06970	105
TOI-6695	b	0,23154±0,01049	8,23380±0,18892	80,38900±0,00300	ExoFOP	66,74397±3,17828	123
TrES-1	b	1,80000±0,00910	12,99494±0,13589	3,03007±0,00001	2	266,97720±34,96130	2
TrES-2	b	1,60000±0,02500	15,85682±0,15753	2,47063±0,00001	2	473,56670±69,92260	2
WASP-1	b	1,24294±0,00796	18,44385±0,14641	2,51991±0,00007	ExoFOP	271,41500±18,11600	124
WASP-2	b	1,69866±0,01789	12,39613±0,11919	2,15216±0,00004	ExoFOP	295,89973±19,06980	125
WASP-4	b	2,30000±0,00580	15,81545±0,18326	1,33823±0,00000	2	-	-
WASP-5	b	1,37987±0,00798	14,23823±0,15936	1,62843±0,00000	ExoFOP	502,15000±41,32000	126
WASP-6	b	2,10000±0,02200	13,24492±0,17286	3,36101±0,00000	2	148,42587±7,62788	127
WASP-8	b	1,30000±0,03200	13,59592±0,21704	8,15872±0,00002	2	807,28820±104,88390	2
WASP-12	b	1,40000±0,01600	20,64691±0,22707	1,09142±0,00000	2	-	-
WASP-13	b	0,84000±0,01600	15,32248±0,37053	4,35301±0,00000	2	114,41880±28,60470	2
WASP-15	b	0,97000±0,01200	15,79872±0,20745	3,75210±0,00001	2	171,62820±92,17070	2
WASP-16	b	1,20000±0,04500	13,55298±0,26987	3,11860±0,00001	2	394,10920±79,45750	2
WASP-19	b	2,26149±0,00932	16,51998±0,24867	0,78884±0,00000	ExoFOP	366,77398±24,79062	128
WASP-20	b	1,09570±0,01152	16,26541±0,87293	4,89965±0,00000	ExoFOP	98,84100±5,40300	129
WASP-21	b	1,19397±0,00965	16,46611±0,07566	4,32262±0,00011	ExoFOP	95,34500±3,49600	130
WASP-22	b	1,00000±0,04000	12,61236±0,27312	3,53269±0,00001	2	212,94610±60,38770	2

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
WASP-23	b	2,02914±0,01405	12,81732±0,26815	2,94443±0,00000	ExoFOP	280,95000±27,96800	131
WASP-24	b	1,00000±0,01200	15,22219±0,17822	2,34121±0,00000	2	394,10920±92,17070	2
WASP-25	b	1,90000±0,02000	14,02836±0,19520	3,76483±0,00001	2	179,25522±8,26354	127
WASP-26	b	1,00000±0,04000	14,33768±0,32259	2,75660±0,00001	2	270,15550±73,10090	2
WASP-28	b	1,60320±0,00282	15,15370±0,23543	3,40883±0,00000	ExoFOP	-	-
WASP-32	b	1,10000±0,01000	12,55224±0,20292	2,71866±0,00000	2	835,89290±260,62060	2
WASP-34	b	1,30000±0,02600	13,67062±0,17730	4,31768±0,00001	2	177,98480±54,03110	2
WASP-35	b	1,50000±0,01000	15,03233±0,19385	3,16158±0,00000	2	225,65930±31,78300	2
WASP-36	b	1,78286±0,01220	14,55136±0,25284	1,53736±0,00000	ExoFOP	750,39663±22,24810	132
WASP-38	b	0,69000±0,01000	13,79647±0,28154	6,87188±0,00001	2	1093,33520±114,41880	2
WASP-39	b	2,31633±0,02498	16,08755±0,23290	4,05487±0,00022	ExoFOP	89,31023±10,17056	133
WASP-41	b	1,90000±0,01000	13,72733±0,18421	3,05240±0,00000	2	270,15550±34,96130	2
WASP-42	b	1,81100±0,00015	12,93172±0,23512	4,98168±0,00000	ExoFOP	167,49641±8,89924	134
WASP-44	b	1,61672±0,03014	13,39858±0,29213	2,42382±0,00014	ExoFOP	276,51210±20,02329	125
WASP-45	b	1,50000±0,07100	13,25359±0,33952	3,12609±0,00000	2	306,38812±18,43414	125
WASP-46	b	1,89607±0,01848	13,60787±0,36694	1,43037±0,00000	ExoFOP	607,05530±41,31790	135
WASP-47	b	1,27120±0,00240	14,17087±0,14840	4,15917±0,00001	12	374,00000±17,00000	136
WASP-47	d	0,10700±0,01000	4,11132±0,04286	9,03054±0,01000	50	15,50000±0,70000	136
WASP-47	e	0,02580±0,01000	2,01883±0,02105	0,78961±0,01000	50	9,00000±0,60000	136
WASP-48	b	0,96000±0,02000	19,36549±0,47358	2,14363±0,00000	2	254,26400±73,10090	2
WASP-49	b	1,40000±0,03800	13,52773±0,21839	2,78174±0,00001	2	117,59710±25,42640	2

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
WASP-50	b	2,00000±0,03500	14,06850±0,24906	1,95510±0,00001	2	466,82870±29,24036	19
WASP-52	b	2,99737±0,01431	16,14516±0,21151	1,74977±0,00002	ExoFOP	146,20000±6,36000	137
WASP-54	b	0,86000±0,02000	17,61015±0,47257	3,69364±0,00001	2	187,51970±44,49620	2
WASP-55	b	1,83550±0,00220	16,22924±0,19257	4,46562±0,00001	12	186,24745±10,48834	127
WASP-57	b	1,52701±0,06376	13,97961±0,39081	2,83862±0,00030	ExoFOP	204,68252±19,70546	138
WASP-60	b	0,60000±0,06000	11,62189±0,60974	4,30500±0,00001	2	174,80650±60,38770	2
WASP-62	b	1,20000±0,02000	14,89273±0,20875	4,41195±0,00000	2	165,27160±25,42640	2
WASP-68	b	0,57000±0,03400	13,72669±0,44719	5,08430±0,00002	2	343,25640±79,45750	2
WASP-70 A	b	1,06650±0,00864	15,48335±0,13904	3,71303±0,00011	ExoFOP	187,51200±6,99200	139
WASP-71	b	0,44000±0,01500	13,90003±0,27224	2,90367±0,00001	2	441,78370±104,88390	2
WASP-73	b	0,33000±0,03000	14,30231±0,67510	4,08722±0,00022	2	908,99380±292,40360	2
WASP-74	b	0,96000±0,01400	15,68498±0,11529	2,13775±0,00000	2	228,83760±38,13960	2
WASP-76	b	1,30336±0,00233	21,72917±0,10161	1,80988±0,00000	ExoFOP	284,13860±4,44960	140
WASP-77 A	b	1,70000±0,01700	14,84988±0,22617	1,36003±0,00000	2	529,31143±0,14302	141
WASP-81	b	1,45274±0,05786	16,92583±0,36507	2,71613±0,00018	ExoFOP	231,69807±11,44188	142
WASP-84	b	1,89420±0,01992	13,18035±0,19328	8,52350±0,00000	ExoFOP	220,00000±18,00000	143
WASP-84	c	0,05490±0,18534	2,24388±nan0000	1,44690±0,00001	ExoFOP	15,20000±4,50000	143
WASP-87	b	0,81314±0,00660	20,99351±0,15385	1,68279±0,00000	ExoFOP	692,86940±47,67450	144
WASP-89	b	1,72923±0,03276	11,94714±0,17214	3,35661±0,00018	ExoFOP	1875,19700±127,13200	145
WASP-94 A	b	1,20000±0,01600	18,95982±0,21973	3,95019±0,00000	2	158,91500±41,31790	2
WASP-98	b	2,71183±0,02630	13,01920±0,25958	2,96264±0,00000	ExoFOP	293,03926±25,42640	132

Continua na próxima página

Tabela B.3 – Continuação

Estrela	Pl	ΔF	$R_{\rm pl}$ ($R_\oplus$)	$P_{\rm orb}$ (dia)	Ref. ΔF e $P_{\rm orb}$	$M_{\rm pl}$ ($M_\oplus$)	Ref. $M_{\rm pl}$
WASP-99	b	0,41000±0,02000	12,14524±0,30001	5,75251±0,00004	2	772,32690±117,59710	2
WASP-103	b	1,19500±0,04200	20,77053±0,79181	0,92554±0,00002	144	473,54700±27,96800	146
WASP-105	b	1,46394±0,00947	13,60860±0,15187	7,87289±0,00000	ExoFOP	572,09400±31,78300	147
WASP-106	b	0,64000±0,01800	12,16028±0,20630	9,28971±0,00001	2	613,40883±47,67426	148
WASP-117	b	0,80000±0,05200	12,27707±0,43476	10,02165±0,00055	2	95,34900±15,89150	2
WASP-123	b	1,30220±0,01231	16,13700±0,27261	2,97764±0,00000	ExoFOP	285,72917±11,44188	149
WASP-127	b	1,14781±0,00411	16,13295±0,10918	4,17806±0,00000	ExoFOP	52,34660±6,80156	150
WASP-129	b	1,22594±0,00948	14,59342±0,11202	5,74813±0,00000	ExoFOP	317,83000±31,78300	151
WASP-130	b	1,08420±0,01996	11,95010±0,17558	11,55097±0,00001	ExoFOP	390,93090±12,71320	152
WASP-131	b	0,65628±0,00480	14,58743±0,08871	5,32205±0,00018	ExoFOP	86,76716±6,03874	153
WASP-139	b	1,17963±0,01027	10,33013±0,16064	5,92427±0,00000	ExoFOP	37,18611±5,40311	152
WASP-140	b	1,90580±0,01282	13,19050±0,21567	2,23599±0,00000	ExoFOP	775,50520±22,24810	152
WASP-148	b	0,83600±0,00026	9,92439±0,12980	8,80368±0,00001	ExoFOP	91,21675±6,99222	154
WASP-162	b	1,02300±0,00027	13,31985±0,16568	9,62467±0,00002	ExoFOP	1652,71600±63,56600	155
WASP-166	b	0,32190±0,00429	7,46555±0,12220	5,44354±0,00000	ExoFOP	32,10083±1,58915	155
WASP-173 A	b	1,42465±0,01122	14,08943±0,27930	1,38665±0,00000	ExoFOP	1172,79270±57,20940	155
WASP-182	b	0,45152±0,01641	9,77361±0,18167	3,37711±0,00033	ExoFOP	47,03884±3,49613	156
WASP-193	b	1,32705±0,02100	15,03233±0,25599	6,24623±0,00042	ExoFOP	35,59678±9,21702	157
XO-1	b	1,80000±0,01200	13,97652±0,26781	3,94153±0,00003	2	263,79890±41,31790	2
XO-2 N	b	1,33630±0,01359	13,11541±0,18895	2,61586±0,00000	ExoFOP	179,89178±7,94575	158
XO-5	b	1,14152±0,01390	13,48693±0,16245	4,18784±0,00018	ExoFOP	378,20000±9,53000	159

Tabela B.4: Abundâncias químicas determinadas neste trabalho. A coluna 1 contém a identificação das estrelas. As colunas 2, 3, 4 e 5 apresentam as abundâncias absolutas de carbono, oxigênio, enxofre e níquel, respectivamente, e suas incertezas associadas. As colunas 6, 7, 8 e 9 apresentam as SNRs nas ordens *echelle* dos espectros nas quais as linhas do C I em 5052 Å, C I em 5380 Å, [O I] em 6300 Å e S I entre 6743 Å e 6757 Å se encontram, respectivamente.

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
55 Cnc	8.80±0.07	8.86±0.25	7.47±0.05	6.70±0.04	539	621	522	476
BD+20 594	8.41±0.03	8.71±0.03	7.06±0.06	6.06±0.02	168	170	197	201
CoRoT-1	8.34±0.04	-	7.17±0.06	6.10±0.04	94	98	79	114
CoRoT-4	8.46±0.05	-	7.18±0.04	6.27±0.03	82	85	82	99
CoRoT-5	8.24±0.04	9.01±0.04	7.04±0.03	6.01±0.04	53	55	55	65
CoRoT-7	8.50±0.03	8.68±0.03	7.36±0.09	6.29±0.02	310	318	405	398
CoRoT-8	8.52±0.20	8.82±0.44	7.57±0.52	6.40±0.37	37	38	47	68
CoRoT-9	8.29±0.02	8.85±0.02	7.31±0.03	6.17±0.03	81	87	103	113
CoRoT-32	8.50±0.04	8.98±0.02	7.16±0.07	6.25±0.04	66	71	87	84
EPIC 201595106	8.34±0.02	8.59±0.01	7.18±0.09	6.19±0.01	314	337	408	370
EPIC 211945201	8.39±0.02	8.86±0.02	7.29±0.02	6.34±0.03	125	135	131	117
EPIC 220674823	8.42±0.05	8.69±0.03	7.26±0.02	6.30±0.02	156	165	123	174
EPIC 229004835	8.26±0.02	8.71±0.01	7.03±0.05	6.07±0.01	289	323	313	322
HAT-P-1	8.39±0.08	8.83±0.02	7.22±0.07	6.36±0.02	199	222	212	194
HAT-P-2	-	-	-	6.48±0.19	424	463	427	377
HAT-P-3	8.80±0.06	-	7.57±0.09	6.63±0.03	149	188	205	190
HAT-P-4	8.53±0.03	8.96±0.05	7.30±0.10	6.54±0.02	161	178	171	152
HAT-P-8	8.40±0.10	-	-	6.14±0.13	218	237	153	185

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
HAT-P-15	8.62±0.01	8.82±0.08	7.31±0.05	6.54±0.02	173	202	205	181
HAT-P-16	8.44±0.03	8.90±0.04	7.31±0.09	6.32±0.03	145	161	108	144
HAT-P-17	8.46±0.05	8.60±0.04	7.17±0.02	6.28±0.02	310	363	367	312
HAT-P-21	8.53±0.03	8.93±0.02	7.32±0.05	6.27±0.03	167	191	90	154
HAT-P-22	8.72±0.04	8.80±0.14	7.38±0.07	6.60±0.02	368	436	435	404
HAT-P-26	8.69±0.11	-	7.42±0.03	6.28±0.03	69	84	-	75
HAT-P-27	8.67±0.10	8.72±0.12	7.49±0.05	6.56±0.03	81	80	115	114
HAT-P-29	8.48±0.03	9.05±0.03	7.31±0.13	6.41±0.03	116	133	84	129
HAT-P-30	8.37±0.04	8.95±0.02	7.11±0.05	6.23±0.04	158	177	172	150
HAT-P-31	8.42±0.05	8.91±0.03	7.12±0.04	6.29±0.02	108	119	105	99
HAT-P-36	8.57±0.05	8.77±0.09	7.36±0.04	6.51±0.03	93	108	108	96
HAT-P-44	8.74±0.07	-	7.70±0.05	6.64±0.03	53	64	71	64
HAT-P-50	8.26±0.09	-	-	5.70±0.09	70	77	81	63
HATS-17	8.70±0.02	9.07±0.04	7.27±0.07	6.62±0.02	115	117	84	129
HATS-38	8.51±0.03	8.94±0.01	7.26±0.03	6.36±0.02	114	118	127	131
HATS-56	8.53±0.08	-	-	6.42±0.14	36	36	35	34
HD1397	8.43±0.02	8.74±0.04	7.06±0.04	6.40±0.02	371	367	482	410
HD 3167	8.45±0.07	8.62±0.03	7.16±0.07	6.30±0.02	417	467	509	485
HD 5278	8.19±0.05	-	7.00±0.09	5.99±0.03	118	116	124	126
HD 6061	8.24±0.03	8.71±0.01	7.07±0.07	6.05±0.02	231	259	308	268
HD 15337	8.59±0.06	8.61±0.06	7.52±0.05	6.38±0.02	337	338	555	418
HD 17156	8.58±0.02	8.76±0.02	7.42±0.21	6.43±0.02	329	367	579	322

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
HD 18599	8.49±0.06	8.51±0.05	7.31±0.03	6.21±0.02	421	428	525	496
HD 20329	8.43±0.01	-	7.08±0.03	6.17±0.01	411	470	-	401
HD 28109	8.43±0.06	8.80±0.02	7.13±0.08	6.21±0.04	419	409	401	390
HD 39091	8.46±0.02	8.76±0.03	7.23±0.12	6.30±0.02	446	452	464	464
HD 42813	8.63±0.08	8.70±0.14	7.33±0.12	6.52±0.04	159	163	138	205
HD 63935	8.47±0.02	8.70±0.03	7.16±0.05	6.30±0.01	278	319	353	333
HD 73344	8.53±0.03	8.92±0.03	7.29±0.07	6.40±0.02	394	431	431	395
HD 80606	8.71±0.03	8.85±0.12	7.53±0.03	6.66±0.02	203	231	255	243
HD 86226	8.36±0.02	8.67±0.01	7.19±0.05	6.19±0.01	436	433	498	477
HD 93963 A	8.38±0.02	8.84±0.01	7.14±0.09	6.28±0.01	421	476	472	415
HD 95338	8.62±0.04	8.66±0.08	7.29±0.05	6.38±0.02	345	369	289	405
HD 97658	8.33±0.10	8.51±0.05	-	5.92±0.02	182	186	251	250
HD106315	8.27±0.12	-	-	5.99±0.10	381	387	408	403
HD 108236	8.11±0.03	8.36±0.04	7.00±0.09	5.89±0.01	402	399	457	409
HD 109833	8.37±0.09	-	7.37±0.04	6.21±0.03	246	230	260	246
HD 110113	8.48±0.02	8.70±0.05	7.11±0.08	6.36±0.02	375	378	489	400
HD 118203	8.53±0.04	8.81±0.03	7.31±0.15	6.50±0.03	300	341	488	341
HD 136352	8.29±0.02	-	7.01±0.13	5.89±0.01	426	419	-	431
HD 137496	8.32±0.02	8.69±0.01	6.97±0.09	6.14±0.01	437	456	486	483
HD 149026	8.68±0.03	8.90±0.06	7.42±0.11	6.60±0.02	309	358	446	453
HD 152843	8.21±0.04	8.40±0.05	6.76±0.03	5.95±0.05	380	424	476	419
HD 183579	8.35±0.01	8.65±0.01	7.15±0.19	6.16±0.01	403	411	511	444

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
HD 189733	8.63±0.08	8.68±0.03	7.32±0.05	6.22±0.03	477	534	585	552
HD 191939	8.43±0.03	8.69±0.03	7.15±0.07	6.07±0.02	391	460	505	497
HD 209458	8.35±0.02	8.70±0.01	7.07±0.11	6.22±0.02	517	542	503	459
HD 213885	8.40±0.02	8.71±0.01	7.18±0.06	6.22±0.01	433	425	448	449
HD 219666	8.51±0.03	8.67±0.01	7.15±0.01	6.32±0.01	335	330	272	378
HD 332231	8.38±0.02	8.75±0.03	7.15±0.10	6.23±0.03	422	483	539	504
HIP 9618	8.38±0.01	8.71±0.03	7.03±0.06	6.12±0.01	214	248	285	277
HIP 41378	8.31±0.04	8.60±0.02	7.09±0.09	6.14±0.03	437	450	407	475
HR 858	8.31±0.03	8.55±0.04	7.11±0.08	6.06±0.03	431	447	397	438
K2-10	8.38±0.04	8.64±0.03	7.24±0.10	6.20±0.01	94	110	65	116
K2-19	8.39±0.07	8.69±0.03	7.21±0.03	6.26±0.02	173	175	196	209
K2-27	8.54±0.05	8.59±0.07	7.38±0.07	6.37±0.02	108	122	105	136
K2-29	8.52±0.06	8.63±0.08	-	6.35±0.02	55	69	82	83
K2-30	8.38±0.10	8.99±0.03	-	6.33±0.02	52	62	70	69
K2-31	8.52±0.06	8.70±0.07	7.31±0.06	6.39±0.02	75	77	92	92
K2-32	8.35±0.05	8.48±0.03	7.16±0.02	6.19±0.02	297	308	351	411
K2-34	8.26±0.07	8.92±0.02	7.15±0.04	6.22±0.05	96	104	100	91
K2-58	8.68±0.11	8.84±0.04	7.62±0.04	6.43±0.03	55	70	78	84
K2-79	8.44±0.04	8.87±0.01	7.22±0.08	6.22±0.01	117	129	131	139
K2-100	8.60±0.13	-	7.29±0.20	6.34±0.16	333	358	403	297
K2-105	8.58±0.05	8.82±0.06	7.32±0.05	6.49±0.03	133	155	122	146
K2-108	8.72±0.08	9.13±0.05	7.41±0.08	6.64±0.04	50	57	64	61

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
K2-131	8.48±0.05	8.62±0.03	7.47±0.06	6.08±0.03	141	171	195	192
K2-138	8.49±0.04	8.69±0.05	7.24±0.07	6.35±0.02	303	305	421	384
K2-165	8.53±0.12	8.72±0.02	7.33±0.03	6.19±0.03	77	81	98	101
K2-167	8.08±0.03	8.47±0.01	6.81±0.06	5.80±0.02	382	408	411	379
K2-173	8.17±0.13	-	-	5.72±0.04	71	81	37	83
K2-179	8.85±0.08	-	-	6.22±0.04	39	48	52	49
K2-180	-	8.34±0.03	7.15±0.06	5.45±0.02	113	132	60	139
K2-182	8.68±0.09	8.88±0.02	-	6.23±0.04	48	54	33	57
K2-184	8.44±0.06	-	-	6.04±0.04	56	68	-	68
K2-188	8.24±0.08	8.93±0.01	7.07±0.05	6.13±0.02	108	118	101	108
K2-189	8.37±0.03	8.59±0.02	7.40±0.06	6.14±0.02	96	103	115	121
K2-197	8.30±0.08	8.85±0.02	7.18±0.04	6.24±0.02	97	96	112	112
K2-198	8.49±0.08	8.80±0.04	-	6.10±0.04	86	100	102	93
K2-222	8.14±0.02	8.57±0.01	6.93±0.04	5.90±0.02	340	368	349	311
K2-223	8.44±0.02	8.75±0.02	7.15±0.02	6.38±0.01	279	323	339	323
K2-229	8.51±0.05	8.56±0.03	7.20±0.07	6.22±0.02	442	457	480	540
K2-232	8.43±0.03	8.91±0.01	7.15±0.04	6.26±0.01	124	136	151	149
K2-244	8.06±0.07	-	7.18±0.03	5.80±0.04	58	67	58	63
K2-265	8.45±0.04	8.56±0.04	7.16±0.06	6.33±0.01	380	399	413	458
K2-269	8.46±0.07	-	7.27±0.07	5.95±0.08	39	44	42	37
K2-274	8.55±0.06	8.59±0.05	-	5.95±0.03	91	117	112	108
K2-285	8.48±0.03	8.58±0.02	-	6.23±0.02	106	129	153	147

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
K2-291	8.41±0.02	8.62±0.03	7.14±0.03	6.31±0.01	238	270	309	285
K2-333	8.50±0.02	8.93±0.01	7.17±0.03	6.36±0.02	163	185	198	191
K2-352	8.34±0.03	8.84±0.01	7.17±0.02	6.21±0.01	136	150	168	165
K2-370	8.38±0.04	-	7.07±0.03	6.31±0.02	270	269	287	342
KELT-3	8.42±0.07	8.73±0.04	-	6.28±0.06	289	321	272	227
KELT-4 A	8.30±0.06	-	7.05±0.10	6.13±0.09	83	92	99	96
KELT-6	8.18±0.03	8.65±0.02	6.94±0.12	5.89±0.03	465	500	449	416
KELT-10	8.45±0.02	8.88±0.01	7.18±0.03	6.34±0.01	227	231	248	248
KOI-351	8.48±0.05	-	7.33±0.06	6.32±0.04	42	49	-	39
Kepler-9	8.35±0.05	8.98±0.01	7.49±0.08	6.26±0.02	71	82	52	67
Kepler-19	8.32±0.02	8.76±0.01	7.18±0.06	6.13±0.01	282	316	191	260
Kepler-20	8.45±0.02	8.78±0.01	7.17±0.05	6.30±0.01	219	250	224	223
Kepler-25	8.38±0.04	8.66±0.04	7.20±0.06	6.07±0.05	217	245	263	243
Kepler-37	-	-	-	6.16±0.30	40	58	-	62
Kepler-63	8.43±0.07	8.87±0.05	7.21±0.03	6.31±0.03	56	71	99	100
Kepler-65	8.55±0.06	8.93±0.03	7.24±0.07	6.32±0.03	154	171	125	143
Kepler-68	8.46±0.01	8.71±0.03	7.28±0.17	6.37±0.01	240	270	267	238
Kepler-100	8.51±0.02	9.03±0.01	7.24±0.10	6.31±0.02	108	123	52	108
Kepler-107	8.68±0.02	8.70±0.14	7.30±0.02	6.62±0.02	215	240	168	217
Kepler-126	8.21±0.06	8.65±0.04	6.84±0.09	5.94±0.04	163	181	175	156
Kepler-421	8.31±0.09	8.46±0.04	-	5.90±0.03	41	49	51	46
Kepler-444	8.33±0.14	8.46±0.05	7.21±0.03	5.76±0.03	340	398	386	336

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
Kepler-449	8.52±0.05	-	7.08±0.06	6.20±0.03	157	181	111	152
Kepler-477	8.39±0.08	8.59±0.02	7.23±0.07	5.98±0.03	78	98	116	112
Kepler-491	8.74±0.07	8.94±0.12	7.50±0.10	6.65±0.06	50	59	61	57
Kepler-511	8.21±0.08	-	7.11±0.18	5.81±0.03	77	88	60	79
Kepler-538	8.25±0.02	8.57±0.01	7.02±0.05	6.06±0.01	401	453	277	418
Kepler-849	8.48±0.04	-	7.11±0.11	6.34±0.06	54	61	41	48
Kepler-990	8.08±0.04	8.53±0.01	-	5.91±0.02	74	89	93	83
Kepler-1247	8.04±0.10	8.49±0.02	-	5.77±0.04	78	92	86	74
Kepler-1300	8.53±0.03	8.71±0.03	7.19±0.07	6.35±0.02	184	207	194	182
Kepler-1323	8.37±0.03	-	7.04±0.05	6.19±0.03	107	116	42	97
Kepler-1514	8.53±0.05	8.98±0.02	7.32±0.07	6.31±0.04	162	188	176	213
Kepler-1655	8.11±0.02	8.56±0.04	6.88±0.19	5.83±0.02	438	475	293	425
Kepler-1704	8.54±0.04	9.06±0.03	7.06±0.03	6.40±0.03	42	48	43	36
Kepler-1869	8.31±0.04	-	7.08±0.06	6.22±0.02	261	290	296	277
Kepler-1911	8.34±0.04	-	7.26±0.02	6.23±0.04	46	51	-	42
LTT 9779	8.65±0.07	8.71±0.19	7.34±0.05	6.59±0.03	443	441	515	529
NGTS-5	-	-	-	6.18±0.25	42	43	60	63
NGTS-11	8.80±0.08	8.82±0.04	7.51±0.04	6.38±0.02	99	103	129	134
NGTS-12	8.31±0.03	8.72±0.03	7.10±0.27	6.07±0.03	74	75	84	81
NGTS-14 A	8.48±0.03	8.61±0.03	7.34±0.02	6.25±0.04	69	73	82	80
NGTS-30	8.41±0.05	8.89±0.01	7.29±0.03	6.17±0.03	93	96	96	118
PH2	8.30±0.02	8.58±0.01	7.24±0.03	6.12±0.02	116	134	121	123

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
TIC 257060897	8.46±0.07	9.04±0.02	7.26±0.02	6.26±0.02	65	76	69	77
TOI-125	8.41±0.06	8.62±0.02	-	6.17±0.02	434	441	490	498
TOI-128	8.39±0.03	8.75±0.04	7.12±0.07	6.27±0.01	365	369	387	392
TOI-132	8.68±0.03	8.73±0.13	7.61±0.04	6.58±0.02	160	153	99	172
TOI-199	8.65±0.05	8.67±0.16	7.39±0.07	6.54±0.02	301	303	346	347
TOI-201	8.62±0.05	8.82±0.06	7.36±0.10	6.42±0.05	445	458	462	451
TOI-216	8.88±0.11	-	-	6.52±0.05	96	99	120	124
TOI-220	8.32±0.05	8.59±0.03	7.03±0.06	6.03±0.02	433	442	480	486
TOI-238	8.59±0.05	-	7.25±0.05	6.13±0.02	364	348	325	422
TOI-261	8.28±0.01	8.60±0.03	7.01±0.05	6.09±0.02	430	442	499	476
TOI-286	8.58±0.07	-	7.52±0.04	6.23±0.03	188	191	215	219
TOI-332	8.66±0.04	8.82±0.09	7.57±0.04	6.55±0.03	112	114	147	143
TOI-421	8.39±0.04	8.53±0.01	7.17±0.06	6.24±0.02	454	487	340	540
TOI-451	8.32±0.05	-	7.35±0.05	6.13±0.03	227	235	247	243
TOI-480	8.52±0.04	8.70±0.05	7.17±0.05	6.36±0.03	422	474	480	434
TOI-561	8.24±0.07	8.60±0.03	7.12±0.01	5.85±0.01	258	306	241	304
TOI-628	8.54±0.04	9.12±0.01	7.38±0.08	6.46±0.04	146	168	119	181
TOI-733	8.33±0.02	8.52±0.01	7.05±0.11	6.19±0.01	434	412	492	469
TOI-757	8.16±0.04	8.50±0.03	-	5.95±0.02	425	412	451	455
TOI-763	8.35±0.02	8.48±0.03	7.07±0.05	6.15±0.01	454	487	469	514
TOI-849	8.69±0.05	8.77±0.16	7.38±0.05	6.55±0.03	157	156	177	180
TOI-907	8.46±0.04	-	7.24±0.03	6.33±0.05	118	124	-	121

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
TOI-908	8.49±0.03	8.79±0.03	7.20±0.10	6.33±0.01	208	215	228	232
TOI-954	8.72±0.03	9.17±0.05	7.45±0.02	6.71±0.02	98	99	107	105
TOI-1011	8.49±0.02	8.69±0.01	7.19±0.04	6.20±0.01	406	419	505	494
TOI-1052	8.46±0.02	8.75±0.01	7.20±0.07	6.34±0.02	432	439	441	441
TOI-1062	8.67±0.08	-	7.27±0.09	6.46±0.03	452	469	468	510
TOI-1117	8.41±0.02	8.65±0.05	7.09±0.07	6.40±0.01	410	383	314	452
TOI-1135	8.28±0.11	-	7.27±0.36	6.24±0.11	245	270	259	235
TOI-1136	8.32±0.03	8.69±0.02	7.13±0.12	6.21±0.02	484	559	503	610
TOI-1246	8.70±0.06	8.73±0.06	7.49±0.09	6.37±0.02	169	212	256	253
TOI-1248	8.67±0.07	8.71±0.07	7.32±0.04	6.42±0.04	56	71	89	86
TOI-1288	8.67±0.04	8.74±0.09	7.26±0.05	6.48±0.02	377	457	379	507
TOI-1294	8.73±0.04	-	7.37±0.05	6.48±0.03	39	48	-	54
TOI-1472	8.75±0.06	8.76±0.07	7.42±0.06	6.48±0.02	276	342	315	357
TOI-1601	8.69±0.05	8.97±0.06	7.42±0.04	6.62±0.05	117	133	128	112
TOI-1670	8.50±0.07	-	7.25±0.12	6.31±0.06	193	220	255	249
TOI-1710	8.38±0.02	8.70±0.03	7.10±0.14	6.32±0.01	432	503	455	528
TOI-1736	8.59±0.02	8.74±0.03	7.23±0.02	6.37±0.02	397	460	436	436
TOI-1758	8.45±0.08	8.47±0.03	7.20±0.06	6.14±0.02	282	342	316	340
TOI-1776	8.18±0.02	8.57±0.01	6.90±0.06	5.94±0.01	531	606	428	573
TOI-1836	8.23±0.04	-	6.96±0.05	5.97±0.02	515	586	-	617
TOI-2000	8.74±0.02	8.76±0.02	7.41±0.04	6.77±0.04	299	302	281	341
TOI-2046	8.49±0.04	8.96±0.05	7.32±0.02	6.40±0.03	105	119	109	92

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
TOI-2076	8.32±0.11	8.51±0.03	7.16±0.05	6.09±0.02	209	253	297	291
TOI-2196	8.56±0.02	8.74±0.04	7.28±0.10	6.48±0.02	231	230	268	259
TOI-2202	8.64±0.04	-	-	6.32±0.03	70	74	-	90
TOI-2207	8.56±0.07	-	7.15±0.06	6.37±0.04	34	32	39	38
TOI-2211	8.44±0.06	8.58±0.02	7.24±0.03	6.10±0.03	176	164	147	211
TOI-2328	8.45±0.04	-	7.53±0.10	6.40±0.03	86	88	-	101
TOI-2338	8.63±0.02	8.82±0.08	7.43±0.07	6.57±0.02	84	84	62	95
TOI-2447	8.51±0.02	8.85±0.01	7.21±0.02	6.37±0.02	298	305	344	338
TOI-2458	8.35±0.02	8.62±0.01	7.04±0.03	6.20±0.02	459	471	385	531
TOI-2498	8.50±0.03	8.94±0.01	7.21±0.05	6.39±0.02	125	117	143	144
TOI-2529	8.44±0.02	8.80±0.01	7.20±0.10	6.34±0.01	145	154	167	166
TOI-2545	8.40±0.01	8.74±0.03	7.16±0.09	6.25±0.02	258	271	307	296
TOI-2589	8.61±0.05	8.70±0.07	7.30±0.03	6.48±0.02	131	131	92	144
TOI-2641	8.23±0.05	8.79±0.03	6.94±0.05	6.03±0.05	76	74	85	83
TOI-2981	8.26±0.06	-	7.16±0.30	6.05±0.09	36	36	43	42
TOI-3071	8.59±0.05	9.04±0.04	7.44±0.08	6.59±0.02	128	124	89	135
TOI-3261	8.85±0.11	-	-	6.49±0.04	66	63	-	88
TOI-3493	8.35±0.02	8.72±0.01	7.03±0.05	6.18±0.01	431	437	505	487
TOI-3837	8.22±0.05	-	7.14±0.02	5.91±0.03	51	53	-	60
TOI-4406	8.35±0.03	8.79±0.01	7.15±0.03	6.25±0.03	143	142	150	150
TOI-4600	8.61±0.12	8.69±0.05	7.51±0.04	6.35±0.04	51	66	73	66
TOI-4914	8.27±0.03	8.85±0.02	7.26±0.05	6.05±0.04	80	79	95	91

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
TOI-4994	8.54±0.06	-	7.26±0.11	6.49±0.04	37	37	44	47
TOI-5005	8.40±0.03	8.85±0.04	7.25±0.11	6.35±0.01	169	168	125	192
TOI-5027	8.11±0.07	-	7.14±0.06	6.01±0.07	36	35	-	38
TOI-5082	8.43±0.01	8.81±0.01	7.09±0.04	6.23±0.01	471	520	457	400
TOI-5143	8.46±0.04	8.85±0.02	7.66±0.03	6.26±0.04	105	125	124	109
TOI-5153	8.51±0.09	-	7.35±0.08	6.16±0.09	77	79	76	87
TOI-5398	8.41±0.02	8.92±0.02	7.21±0.10	6.25±0.03	396	443	392	368
TOI-5542	8.28±0.04	-	7.35±0.03	6.05±0.03	74	73	60	82
TOI-5678	8.44±0.02	8.67±0.02	7.10±0.03	6.25±0.02	201	212	248	238
TOI-5795	8.28±0.03	8.82±0.01	7.17±0.02	5.93±0.02	140	137	69	164
TOI-6628	8.71±0.07	-	7.55±0.34	6.71±0.05	59	59	75	78
TOI-6695	8.46±0.03	8.83±0.01	7.19±0.12	6.30±0.03	269	272	296	296
TrES-1	8.52±0.05	8.56±0.05	7.34±0.03	6.33±0.02	110	130	130	118
TrES-2	8.34±0.04	8.66±0.01	6.94±0.02	6.16±0.02	123	139	112	127
WASP-1	8.43±0.04	8.71±0.05	7.38±0.07	6.37±0.03	76	83	68	68
WASP-2	8.54±0.04	-	7.31±0.06	6.34±0.02	108	108	78	150
WASP-4	8.37±0.04	-	7.26±0.03	6.27±0.02	142	145	-	180
WASP-5	8.53±0.01	8.84±0.03	7.33±0.02	6.50±0.01	182	186	221	218
WASP-6	8.24±0.06	8.47±0.03	-	6.03±0.01	155	163	198	199
WASP-7	-	-	-	-	267	268	286	294
WASP-8	8.60±0.04	8.68±0.17	7.37±0.06	6.56±0.03	425	433	531	521
WASP-12	8.47±0.03	8.82±0.02	7.28±0.12	6.32±0.02	194	220	225	214

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
WASP-13	8.33±0.04	8.86±0.02	7.19±0.08	6.28±0.02	186	207	178	168
WASP-15	8.28±0.05	-	6.96±0.05	6.11±0.04	235	236	273	264
WASP-16	8.53±0.03	8.63±0.03	7.19±0.09	6.38±0.01	228	232	267	283
WASP-19	8.47±0.08	8.82±0.08	7.24±0.04	6.48±0.02	155	162	200	196
WASP-20	8.45±0.03	8.81±0.01	7.18±0.03	6.25±0.02	269	278	318	314
WASP-21	8.10±0.02	8.72±0.02	6.91±0.06	5.83±0.02	278	305	100	341
WASP-22	8.57±0.02	8.72±0.06	7.39±0.07	6.43±0.02	164	163	164	191
WASP-23	8.72±0.04	-	7.40±0.03	6.25±0.02	82	84	99	116
WASP-24	8.35±0.03	8.70±0.02	7.17±0.03	6.18±0.02	200	206	224	224
WASP-25	8.37±0.04	8.92±0.01	7.06±0.16	6.22±0.02	115	115	82	144
WASP-26	8.43±0.02	8.78±0.01	7.25±0.07	6.30±0.02	164	177	185	186
WASP-28	8.16±0.03	8.71±0.04	6.94±0.05	5.92±0.02	94	101	119	115
WASP-32	8.32±0.03	8.96±0.02	7.14±0.04	6.15±0.02	160	175	186	185
WASP-34	8.46±0.02	8.86±0.01	7.38±0.07	6.27±0.02	115	119	111	135
WASP-35	8.27±0.07	8.63±0.02	6.98±0.03	6.08±0.02	207	237	246	245
WASP-36	8.22±0.04	8.81±0.02	7.35±0.02	5.98±0.04	99	106	117	108
WASP-38	8.42±0.04	-	7.09±0.07	6.17±0.03	520	556	599	567
WASP-39	8.32±0.03	-	7.31±0.09	6.25±0.02	94	109	-	102
WASP-41	8.42±0.03	8.68±0.01	7.12±0.03	6.27±0.01	218	226	202	272
WASP-42	8.82±0.09	-	7.41±0.06	6.57±0.03	92	91	129	138
WASP-44	8.57±0.09	8.79±0.08	-	6.48±0.04	48	52	68	72
WASP-45	8.78±0.09	8.86±0.19	7.82±0.11	6.70±0.04	88	90	112	117

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
WASP-46	8.11±0.04	-	-	6.01±0.05	52	53	59	60
WASP-47	8.77±0.03	8.97±0.13	7.46±0.07	6.72±0.04	183	212	168	203
WASP-48	8.52±0.13	-	7.27±0.11	6.27±0.13	165	181	157	140
WASP-49	8.46±0.02	8.75±0.01	7.10±0.06	6.17±0.01	300	316	349	350
WASP-50	8.49±0.09	8.93±0.03	7.47±0.05	6.37±0.03	104	117	128	128
WASP-52	8.73±0.08	-	7.43±0.08	6.46±0.04	81	79	75	111
WASP-54	8.28±0.04	8.69±0.02	6.99±0.08	6.05±0.02	284	308	321	300
WASP-55	8.32±0.02	-	7.11±0.03	6.18±0.02	116	121	72	139
WASP-57	8.29±0.05	9.06±0.03	7.17±0.02	6.30±0.04	39	46	51	48
WASP-60	8.61±0.03	9.16±0.04	7.36±0.02	6.48±0.02	110	124	110	95
WASP-62	8.46±0.07	-	7.25±0.06	6.38±0.04	218	230	262	256
WASP-68	8.72±0.02	8.99±0.03	7.41±0.10	6.61±0.02	179	192	227	223
WASP-70 A	8.62±0.06	-	7.25±0.03	6.29±0.03	69	69	-	85
WASP-71	8.74±0.08	-	7.43±0.06	6.67±0.04	153	162	190	186
WASP-73	8.52±0.06	-	7.18±0.05	6.32±0.05	52	52	55	57
WASP-74	8.71±0.04	8.83±0.12	7.48±0.13	6.71±0.02	445	500	531	482
WASP-76	8.64±0.02	8.93±0.03	7.44±0.07	6.56±0.03	457	459	484	493
WASP-77 A	8.41±0.03	8.80±0.01	7.12±0.10	6.22±0.02	273	280	319	333
WASP-81	8.23±0.05	-	-	5.79±0.04	63	67	-	81
WASP-84	8.47±0.06	-	7.36±0.04	6.29±0.02	220	247	286	278
WASP-87	8.11±0.06	8.54±0.04	7.38±0.07	5.79±0.04	60	58	64	63
WASP-89	8.82±0.06	-	7.64±0.07	6.27±0.04	47	51	68	74

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
WASP-94 A	8.62±0.03	8.89±0.05	7.37±0.09	6.59±0.02	340	332	357	355
WASP-98	8.24±0.05	-	-	5.59±0.04	64	62	74	75
WASP-99	8.55±0.04	8.72±0.04	7.26±0.11	6.44±0.02	362	380	435	420
WASP-101	8.53±0.09	-	-	6.57±0.06	370	372	382	379
WASP-103	8.58±0.12	8.79±0.07	7.42±0.08	6.33±0.06	124	143	87	150
WASP-105	8.77±0.06	8.88±0.15	7.52±0.12	6.66±0.05	124	132	179	176
WASP-106	8.41±0.04	-	7.21±0.09	6.29±0.04	154	161	158	179
WASP-117	8.15±0.02	8.53±0.03	6.92±0.04	6.03±0.02	439	453	522	512
WASP-123	8.50±0.05	-	7.44±0.06	6.49±0.03	40	40	43	45
WASP-127	8.24±0.02	8.64±0.01	6.93±0.11	5.96±0.01	411	423	471	485
WASP-129	8.35±0.03	8.82±0.03	7.23±0.08	6.34±0.01	125	133	158	154
WASP-130	8.70±0.02	8.73±0.01	7.38±0.05	6.62±0.02	195	201	153	244
WASP-131	8.32±0.02	-	7.10±0.08	6.11±0.02	352	359	289	382
WASP-139	8.66±0.05	8.68±0.06	-	6.35±0.02	97	96	116	130
WASP-140	8.39±0.05	8.59±0.04	7.25±0.04	6.25±0.01	233	229	273	284
WASP-148	8.56±0.05	8.85±0.05	7.12±0.10	6.48±0.02	94	119	134	169
WASP-162	8.74±0.03	8.82±0.14	7.38±0.05	6.68±0.03	55	71	97	97
WASP-166	8.55±0.02	8.78±0.05	7.31±0.09	6.46±0.02	443	452	488	487
WASP-173 A	8.52±0.09	9.01±0.07	7.32±0.07	6.44±0.04	135	136	151	155
WASP-182	8.71±0.02	9.15±0.04	7.33±0.04	6.56±0.03	105	102	50	121
WASP-190	8.47±0.13	-	-	6.16±0.14	152	155	155	152
WASP-193	8.40±0.05	9.00±0.02	7.24±0.04	6.17±0.03	95	96	99	99

Continua na próxima página

Tabela B.4 – Continuação

Estrela	A(C)	A(O)	A(S)	A(Ni)	SNR_{5052}	SNR_{53800}	SNR_{6300}	$SNR_{6743\text{-}6758}$
XO-1	8.18±0.04	8.59±0.04	7.14±0.04	6.13±0.02	114	130	126	119
XO-2 N	8.77±0.04	9.09±0.14	7.52±0.04	6.72±0.04	112	136	109	130
XO-2 S	8.78±0.04	8.83±0.15	7.46±0.05	6.66±0.02	232	279	218	261
XO-3	7.95±0.13	-	-	5.77±0.19	413	440	401	367
XO-5	8.66±0.06	8.88±0.05	7.37±0.05	6.47±0.03	61	73	85	79

Apêndice C

Listas de linhas

Neste apêndice, apresentamos as listas de linhas espectrais utilizadas neste trabalho.

C.1 Fe I e Fe II

Tabela C.1: Parâmetros atômicos e larguras equivalentes das linhas de Fe I e Fe II do espectro solar Ceres 2009-08-02. As colunas apresentam a identificação, os parâmetros atômicos (comprimento de onda central, número atômico do elemento e o estágio de ionização, sendo 0 para o Fe neutro e 1 para o Fe uma vez ionizado, potencial de excitação da transição, força de oscilador vezes peso estatístico e constante de amortecimento de Van der Waals) e a largura equivalente medida da linha, respectivamente.

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
Fe I	5023,185	26,0	4,283	-1,524	-7,135	35,8
Fe I	5025,303	26,0	4,284	-1,919	-7,140	21,9
Fe I	5044,211	26,0	2,851	-2,206	-7,280	71,9
Fe I	5054,642	26,0	3,640	-2,087	-7,599	40,0
Fe I	5058,496	26,0	3,642	-2,809	-7,599	12,6
Fe I	5067,149	26,0	4,220	-1,068	-7,187	69,1
Fe I	5109,651	26,0	4,301	-0,853	-7,150	73,5
Fe I	5159,057	26,0	4,283	-0,932	-7,175	67,7
Fe I	5196,059	26,0	4,256	-0,732	-7,510	73,4
Fe I	5197,935	26,0	4,301	-1,608	-7,175	36,2
Fe I	5213,806	26,0	3,943	-2,802	-7,253	9,1
Fe I	5225,526	26,0	0,110	-4,845	-7,820	72,1
Fe I	5228,375	26,0	4,220	-1,169	-7,233	57,8
Fe I	5243,777	26,0	4,256	-1,095	-7,215	62,7
Fe I	5247,050	26,0	0,087	-4,994	-7,822	65,9
Fe I	5250,209	26,0	0,121	-4,959	-7,820	65,7
Fe I	5253,020	26,0	2,279	-3,975	-7,570	18,0
Fe I	5288,525	26,0	3,695	-1,452	-7,596	58,1
Fe I	5294,547	26,0	3,640	-2,694	-7,538	16,6
Fe I	5295,312	26,0	4,415	-1,595	-7,135	30,7
Fe I	5322,040	26,0	2,279	-2,956	-7,600	-
Fe I	5373,708	26,0	4,473	-0,952	-7,123	64,0
Fe I	5376,830	26,0	4,295	-2,094	-7,529	14,7
Fe I	5379,573	26,0	3,695	-1,555	-7,575	62,0
Fe I	5386,333	26,0	4,154	-1,797	-7,172	32,0
Fe I	5386,960	26,0	3,642	-2,504	-7,780	23,4
Fe I	5389,478	26,0	4,415	-0,619	-7,159	83,2

Continua na próxima página

Tabela C.1 – Continuação

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
Fe I	5398,279	26,0	4,446	-0,788	-7,144	71,5
Fe I	5401,266	26,0	4,320	-1,823	-7,219	24,8
Fe I	5406,774	26,0	4,371	-1,496	-7,189	34,9
Fe I	5417,033	26,0	4,415	-1,478	-7,166	37,3
Fe I	5432,948	26,0	4,446	-0,808	-7,153	70,7
Fe I	5441,339	26,0	4,312	-1,683	-7,234	32,1
Fe I	5464,279	26,0	4,143	-1,629	-7,770	36,8
Fe I	5466,396	26,0	4,371	-0,721	-7,204	77,4
Fe I	5466,987	26,0	3,573	-2,237	-7,820	33,4
Fe I	5473,162	26,0	4,191	-2,072	-7,173	17,2
Fe I	5491,832	26,0	4,186	-2,258	-7,700	13,3
Fe I	5522,446	26,0	4,209	-1,488	-7,257	43,2
Fe I	5539,280	26,0	3,642	-2,612	-7,554	18,4
Fe I	5543,935	26,0	4,218	-1,237	-7,263	60,9
Fe I	5546,505	26,0	4,371	-1,210	-7,224	50,8
Fe I	5546,990	26,0	4,218	-1,812	-7,263	26,5
Fe I	5560,211	26,0	4,435	-1,126	-7,189	50,8
Fe I	5587,574	26,0	4,143	-1,684	-7,800	34,0
Fe I	5618,632	26,0	4,209	-1,359	-7,264	49,7
Fe I	5619,595	26,0	4,386	-1,503	-7,233	33,3
Fe I	5633,946	26,0	4,991	-0,225	-7,337	66,7
Fe I	5636,695	26,0	3,640	-2,570	-7,581	18,0
Fe I	5638,262	26,0	4,220	-0,869	-7,269	76,8
Fe I	5641,434	26,0	4,256	-1,039	-7,264	64,6
Fe I	5646,684	26,0	4,261	-2,482	-7,480	7,0
Fe I	5651,468	26,0	4,473	-1,819	-7,187	19,7
Fe I	5652,317	26,0	4,261	-1,829	-7,251	28,5
Fe I	5661,344	26,0	4,284	-1,906	-7,244	22,6
Fe I	5667,518	26,0	4,178	-1,407	-7,530	53,6
Fe I	5677,684	26,0	4,103	-2,676	-7,268	7,5
Fe I	5679,023	26,0	4,652	-0,827	-7,099	59,5
Fe I	5680,240	26,0	4,186	-2,379	-7,660	11,9
Fe I	5696,088	26,0	4,549	-1,937	-7,156	14,7
Fe I	5701,543	26,0	2,559	-2,243	-7,576	83,9
Fe I	5705,464	26,0	4,301	-1,502	-7,260	37,9

Continua na próxima página

Tabela C.1 – Continuação

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
Fe I	5731,761	26,0	4,256	-1,194	-7,271	56,0
Fe I	5738,227	26,0	4,220	-2,231	-7,220	14,0
Fe I	5741,847	26,0	4,256	-1,690	-7,272	30,8
Fe I	5752,031	26,0	4,549	-0,913	-7,510	55,4
Fe I	5760,344	26,0	3,642	-2,549	-7,549	22,1
Fe I	5775,080	26,0	4,220	-1,171	-7,530	59,1
Fe I	5778,453	26,0	2,588	-3,535	-7,576	24,9
Fe I	5784,658	26,0	3,397	-2,634	-7,234	24,7
Fe I	5793,914	26,0	4,220	-1,677	-7,278	35,2
Fe I	5806,725	26,0	4,608	-0,944	-7,148	53,9
Fe I	5809,217	26,0	3,884	-1,712	-7,154	43,5
Fe I	5811,914	26,0	4,143	-2,398	-7,800	12,6
Fe I	5814,807	26,0	4,283	-1,881	-7,272	22,4
Fe I	5815,217	26,0	4,154	-2,441	-7,271	11,0
Fe I	5827,877	26,0	3,283	-3,266	-7,261	12,0
Fe I	5848,126	26,0	4,608	-1,158	-7,520	40,7
Fe I	5849,683	26,0	3,695	-3,015	-7,567	7,4
Fe I	5852,218	26,0	4,549	-1,248	-7,188	41,4
Fe I	5853,148	26,0	1,485	-5,157	-7,790	9,6
Fe I	5855,075	26,0	4,608	-1,595	-7,158	22,3
Fe I	5856,088	26,0	4,295	-1,598	-7,532	34,0
Fe I	5859,586	26,0	4,549	-0,578	-7,510	71,8
Fe I	5862,356	26,0	4,549	-0,304	-7,520	86,9
Fe I	5905,671	26,0	4,652	-0,841	-7,144	58,3
Fe I	5916,247	26,0	2,454	-2,960	-7,601	55,5
Fe I	5927,788	26,0	4,652	-1,128	-7,148	42,5
Fe I	5929,677	26,0	4,549	-1,262	-7,204	38,3
Fe I	5930,180	26,0	4,652	-0,386	-7,149	87,6
Fe I	5934,654	26,0	3,929	-1,244	-7,153	81,1
Fe I	5956,693	26,0	0,859	-4,639	-7,780	50,7
Fe I	5983,680	26,0	4,549	-0,648	-7,510	65,3
Fe I	5984,815	26,0	4,733	-0,262	-7,420	80,4
Fe I	5987,065	26,0	4,795	-0,465	-7,420	80,5
Fe I	6003,011	26,0	3,882	-1,195	-7,181	82,5
Fe I	6005,541	26,0	2,588	-3,522	-7,750	22,0

Continua na próxima página

Tabela C.1 – Continuação

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
Fe I	6008,556	26,0	3,884	-0,918	-7,540	85,5
Fe I	6012,209	26,0	2,223	-3,862	-7,649	23,5
Fe I	6034,035	26,0	4,312	-2,369	-7,279	9,8
Fe I	6035,337	26,0	4,295	-2,551	-7,502	7,1
Fe I	6054,073	26,0	4,371	-2,263	-7,270	9,5
Fe I	6056,004	26,0	4,733	-0,558	-7,130	66,1
Fe I	6078,491	26,0	4,795	-0,292	-7,410	81,9
Fe I	6079,009	26,0	4,652	-1,064	-7,177	46,1
Fe I	6082,710	26,0	2,223	-3,622	-7,654	34,1
Fe I	6085,257	26,0	2,759	-2,908	-7,601	43,4
Fe I	6093,642	26,0	4,608	-1,402	-7,202	31,2
Fe I	6096,664	26,0	3,984	-1,861	-7,152	39,1
Fe I	6098,243	26,0	4,559	-1,825	-7,238	16,2
Fe I	6127,906	26,0	4,143	-1,503	-7,790	48,1
Fe I	6136,993	26,0	2,198	-3,037	-7,691	63,1
Fe I	6151,617	26,0	2,176	-3,357	-7,696	49,0
Fe I	6157,727	26,0	4,076	-1,257	-7,790	60,4
Fe I	6159,378	26,0	4,608	-1,910	-7,216	12,0
Fe I	6165,359	26,0	4,143	-1,487	-7,780	44,2
Fe I	6173,334	26,0	2,223	-2,938	-7,690	-
Fe I	6187,989	26,0	3,943	-1,724	-7,179	48,5
Fe I	6200,312	26,0	2,608	-2,457	-7,589	73,5
Fe I	6213,429	26,0	2,223	-2,650	-7,691	83,3
Fe I	6219,280	26,0	2,198	-2,549	-7,694	87,7
Fe I	6220,779	26,0	3,882	-2,390	-7,208	20,2
Fe I	6226,734	26,0	3,884	-2,143	-7,208	27,4
Fe I	6232,640	26,0	3,654	-1,232	-7,540	96,1
Fe I	6240,646	26,0	2,223	-3,337	-7,661	47,8
Fe I	6265,132	26,0	2,176	-2,633	-7,700	85,1
Fe I	6335,329	26,0	2,198	-2,423	-7,698	97,1
Fe I	6380,743	26,0	4,186	-1,312	-7,790	50,7
Fe I	6385,718	26,0	4,733	-1,887	-7,187	12,8
Fe I	6392,537	26,0	2,279	-4,007	-7,643	17,2
Fe I	6574,226	26,0	0,990	-5,019	-7,830	27,9
Fe I	6591,312	26,0	4,593	-2,065	-7,697	8,8

Continua na próxima página

Tabela C.1 – Continuação

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
Fe I	6593,869	26,0	2,433	-2,461	-7,629	83,3
Fe I	6597,561	26,0	4,795	-0,984	-7,190	44,6
Fe I	6608,025	26,0	2,279	-4,017	-7,648	19,6
Fe I	6609,109	26,0	2,559	-2,708	-7,610	66,8
Fe I	6625,021	26,0	1,011	-5,374	-7,830	15,2
Fe I	6627,543	26,0	4,549	-1,542	-7,250	27,2
Fe I	6646,930	26,0	2,608	-3,988	-7,604	9,8
Fe I	6653,851	26,0	4,154	-2,475	-7,153	10,1
Fe I	6699,141	26,0	4,593	-2,167	-7,667	11,9
Fe I	6703,565	26,0	2,759	-3,078	-7,633	38,8
Fe I	6710,318	26,0	1,485	-4,876	-7,733	12,6
Fe I	6713,742	26,0	4,795	-1,485	-7,207	-
Fe I	6725,355	26,0	4,103	-2,257	-7,181	16,5
Fe I	6726,666	26,0	4,607	-1,062	-7,500	46,4
Fe I	6732,064	26,0	4,584	-2,208	-7,700	11,3
Fe I	6733,150	26,0	4,638	-1,490	-7,247	27,4
Fe I	6739,520	26,0	1,557	-4,955	-7,726	12,6
Fe I	6745,100	26,0	4,580	-2,164	-7,726	7,9
Fe I	6745,955	26,0	4,076	-2,709	-7,820	7,9
Fe I	6750,151	26,0	2,424	-2,672	-7,609	74,4
Fe I	6752,707	26,0	4,638	-1,285	-7,249	36,6
Fe I	6806,842	26,0	2,728	-3,153	-7,643	37,5
Fe I	6839,830	26,0	2,559	-3,433	-7,617	30,5
Fe I	6842,685	26,0	4,638	-1,245	-7,189	38,6
Fe I	6857,249	26,0	4,076	-2,125	-7,820	21,2
Fe I	6861,937	26,0	2,424	-3,852	-7,637	17,3
Fe II	5100,655	26,1	2,807	-4,212	-7,892	19,5
Fe II	5132,661	26,1	2,807	-4,088	-7,894	23,7
Fe II	5197,568	26,1	3,231	-2,497	-7,880	81,1
Fe II	5234,623	26,1	3,221	-2,357	-7,880	82,4
Fe II	5264,802	26,1	3,231	-3,185	-7,875	44,0
Fe II	5284,103	26,1	2,891	-3,237	-7,887	58,3
Fe II	5325,552	26,1	3,221	-3,246	-7,883	-
Fe II	5414,070	26,1	3,221	-3,647	-7,878	26,1
Fe II	5425,248	26,1	3,200	-3,304	-7,886	-

Continua na próxima página

Tabela C.1 – Continuação

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
Fe II	5534,838	26,1	3,245	-2,986	-7,883	56,6
Fe II	5991,371	26,1	3,153	-3,609	-7,895	31,2
Fe II	6084,102	26,1	3,199	-3,840	-7,892	21,8
Fe II	6113,319	26,1	3,221	-4,155	-7,893	11,2
Fe II	6149,246	26,1	3,889	-2,789	-7,870	35,4
Fe II	6238,386	26,1	3,889	-2,634	-7,870	43,8
Fe II	6247,557	26,1	3,892	-2,427	-7,870	52,9
Fe II	6369,459	26,1	2,891	-4,203	-7,899	19,9
Fe II	6416,919	26,1	3,892	-2,754	-7,873	43,0

C.2 C I e Ni I (*driver* `abfind`)

Tabela C.2: Parâmetros atômicos e larguras equivalentes das linhas de C I e Ni I do espectro solar Ceres 2009-08-02. As colunas seguem o mesmo padrão da Tabela C.1.

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
C I	5052,167	6,0	7,685	-1,318	0,000	32,2
C I	5380,337	6,0	7,685	-1,608	0,000	22,4
Ni I	5010,938	28,0	3,635	-0,918	-7,225	49,1
Ni I	5094,411	28,0	3,833	-1,110	-7,244	30,2
Ni I	5157,980	28,0	3,606	-1,623	-7,294	18,2
Ni I	5176,560	28,0	3,898	-0,486	-7,227	56,1
Ni I	5589,358	28,0	3,898	-1,131	-7,221	26,5
Ni I	5643,078	28,0	4,165	-1,229	-7,223	15,5
Ni I	5694,983	28,0	4,089	-0,649	-7,248	44,0
Ni I	5748,351	28,0	1,676	-3,283	-7,684	28,6
Ni I	5754,656	28,0	1,935	-2,024	-7,634	74,6
Ni I	5760,830	28,0	4,105	-0,773	-7,248	35,9
Ni I	5805,217	28,0	4,167	-0,609	-7,216	42,4
Ni I	5846,994	28,0	1,676	-3,411	-7,691	23,7
Ni I	5996,730	28,0	4,236	-1,024	-7,217	20,1
Ni I	6007,310	28,0	1,676	-3,328	-7,813	24,2
Ni I	6086,282	28,0	4,266	-0,471	-7,218	43,6

Continua na próxima página

Tabela C.2 – Continuação

Identificação	$\lambda_{central}$ (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_H)^{-1}$	EW (mÅ)
Ni I	6108,116	28,0	1,676	-2,531	-7,705	63,7
Ni I	6111,070	28,0	4,088	-0,838	-7,214	35,3
Ni I	6119,757	28,0	4,266	-1,320	-7,238	12,8
Ni I	6128,973	28,0	1,676	-3,365	-7,816	24,7
Ni I	6130,135	28,0	4,266	-0,952	-7,225	22,6
Ni I	6133,963	28,0	4,088	-1,833	-7,218	6,1
Ni I	6175,367	28,0	4,089	-0,589	-7,235	48,0
Ni I	6176,812	28,0	4,088	-0,285	-7,225	63,0
Ni I	6177,242	28,0	1,826	-3,542	-7,760	15,6
Ni I	6186,711	28,0	4,105	-0,894	-7,219	31,2
Ni I	6204,604	28,0	4,088	-1,123	-7,278	22,9
Ni I	6223,984	28,0	4,105	-0,898	-7,224	27,7
Ni I	6230,089	28,0	4,105	-1,127	-7,226	19,2
Ni I	6322,166	28,0	4,154	-1,173	-7,217	18,8
Ni I	6327,599	28,0	1,676	-3,088	-7,715	40,9
Ni I	6370,346	28,0	3,542	-1,966	-7,230	13,0
Ni I	6378,250	28,0	4,154	-0,852	-7,225	33,6
Ni I	6598,598	28,0	4,236	-0,922	-7,218	23,4
Ni I	6635,122	28,0	4,419	-0,765	-7,227	25,0
Ni I	6643,630	28,0	1,676	-2,032	-7,729	93,0
Ni I	6767,772	28,0	1,826	-2,121	-7,760	79,0
Ni I	6772,315	28,0	3,658	-0,928	-7,234	48,9
Ni I	6842,037	28,0	3,658	-1,483	-7,240	25,0

C.3 S I (*driver* `blends`)

Tabela C.3: Parâmetros atômicos e larguras equivalentes das linhas de S I do espectro solar Ceres 2009-08-02. As colunas seguem o mesmo padrão da Tabela C.1.

Identificação	$\lambda_{central}$ (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_H)^{-1}$	EW (mÅ)
S I	6743,483	16,0	7,866	-1,555	-7,160	9,7
S I	6743,540	16,0	7,866	-1,104	-7,160	9,7
S I	6743,580	16,0	7,866	-1,004	-7,160	9,7

Continua na próxima página

Tabela C.3 – Continuação

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$	EW (mÅ)
S I	6743,580	16,0	7,866	-1,354	0,000	9,7
S I	6743,640	16,0	7,866	-1,184	0,000	9,7
S I	6756,750	16,0	7,870	-1,915	-7,160	13,9
S I	6756,851	16,0	7,870	-2,005	0,000	13,9
S I	6756,960	16,0	7,870	-1,075	-7,160	13,9
S I	6757,150	16,0	7,870	-0,485	-7,160	13,9

C.4 [O I] (*driver* synth)

Tabela C.4: Parâmetros atômicos das linhas contidas na região do oxigênio. As colunas seguem o mesmo padrão da Tabela C.1, exceto a ausência da última coluna contendo a largura equivalente das linhas.

Identificação	λ_{central} (Å)	Z	χ_{ex} (eV)	$\log gf$	C_6 $(4\pi s N_{\text{H}})^{-1}$
Si I	6299,264	14,0	7,909	-6,048	-6,860
Si I	6299,578	14,0	7,910	-4,786	-6,860
Si I	6299,598	14,0	5,984	-1,658	-6,790
[O I]	6300,304	8,0	0,000	-9,717	0,000
Ni I	6300,335	28,0	4,266	-2,275	-7,750
Ni I	6300,355	28,0	4,266	-2,695	-7,750
Sc II	6300,697	21,1	1,507	-1,898	-7,830
Fe I	6301,499	26,0	3,654	-0,718	-7,540
Fe I	6301,768	26,0	5,458	-3,113	-7,170
Fe I	6302,493	26,0	3,686	-0,968	-7,540
Fe I	6302,781	26,0	5,371	-4,387	-7,140

Apêndice D

Testes de robustez dos resultados

Neste apêndice, verificamos se os principais resultados obtidos no Capítulo 5 são robustos frente a mudanças de parâmetros e de tamanho de amostra, sendo estes:

1. Tendência linear entre [Fe/H] e $R_{\rm pl}$ para a amostra completa (correlação planeta-metalicidade) - valor de $\%p_{\rm OLS}$;

2. Tendência linear entre [O/H] e $R_{\rm pl}$ para a amostra completa - valor de $\%p_{\rm OLS}$;

3. Tendência linear entre [S/H] e $R_{\rm pl}$ para a amostra completa - valor de $\%p_{\rm OLS}$;

4. Hospedeiras de sub-Netunos com raios entre 3 e 4 $\rm R_\oplus$ terem a maior razão C/O mediana enquanto as hospedeiras de Jupíteres terem a menor razão C/O mediana, $\rm C/O_{sN\text{-}34}$ e $\rm C/O_J$, respectivamente;

5. Inexistência de tendência linear entre [Fe/H] e $P_{\rm orb}$ para hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 100$ dias - valores de $\%p_{\rm OLS}$, $\%t_{\rm OLS}$ e se o coeficiente angular é negativo ou positivo;

6. Presença da anticorrelação entre [Fe/H] e $P_{\rm orb}$ para hospedeiras de exoplanetas com $P_{\rm orb} \leqslant 30$ dias - valores de $\%p_{\rm OLS}$, $\%t_{\rm OLS}$ e se o coeficiente angular é negativo ou positivo;

7. Presença da tendência linear entre [O/H] e $\log(M_{\rm pl}/\rm M_\oplus)$ para a amostra completa - valor de $\%p_{\rm OLS}$;

8. Presença da tendência linear entre [S/H] e $\log(M_{\rm pl}/\rm M_\oplus)$ para a amostra completa - valor de $\%p_{\rm OLS}$.

Ressaltamos que por mais que os resultados 5, 6, 7 e 8 não tenham dependência direta com os valores de $R_{\rm pl}$ determinados neste trabalho, como é o caso dos resultados 1, 2, 3 e 4, eles são suscetíveis ao número de estrelas hospedeiras e exoplanetas na amostra.

D.1 Estrelas com A_V discrepantes

Na Figura D.1, apresentamos a distribuição das extinções A_V do `StarHorse` utilizadas neste trabalho em função da distância das estrelas hospedeiras. Notamos a presença de 4 estrelas com $A_V > 0,60$ mag, sendo elas CoRoT-8 ($A_V = 1,29$), K2-30 ($A_V = 0,74$), K2-79 ($A_V = 0,97$) e K2-173 ($A_V = 0,86$). Portanto, testamos fazer a remoção destas 3 estrelas hospedeiras para identificar se estas alteravam os resultados. Dessa forma, os principais resultados se mantiveram – o que já era esperado, visto que fazemos 1000 reamostragens Bootstrap em todos os nossos testes estatísticos:

1. $\%p_{\rm OLS} = 53\%$ (58% para a amostra completa[1]);
2. $\%p_{\rm OLS} = 98\%$ (99% para a amostra completa);
3. $\%p_{\rm OLS} = 72\%$ (82% para a amostra completa);
4. $\rm C/O_{sN\text{-}34} = 0,55^{+0,03}_{-0,01}$ e $\rm C/O_J = 0,42^{+0,02}_{-0,03}$ ($\rm C/O_{sN\text{-}34} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $\rm C/O_J = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$ para a amostra completa);
5. $\%p_{\rm OLS} = 4\%$, $\%t_{\rm OLS} = 11\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 8\%$, $\%t_{\rm OLS} = 13\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ para a amostra completa);
6. $\%p_{\rm OLS} = 82\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 82\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ para a amostra completa);
7. $\%p_{\rm OLS} = 90\%$ (90% para a amostra completa);
8. $\%p_{\rm OLS} = 96\%$ (95% para a amostra completa).

D.2 Magnitudes V

Como descrito na Seção 3.2, as magnitudes V utilizadas para a determinação dos parâmetros evolutivos foram calculadas através da conversão da magnitude G e da cor $\rm G_{BP} - G_{RP}$ do sistema Gaia (ver Equações 3.1 e 3.3). Contudo, como a conversão é feita através de uma calibração, não há um acordo perfeito entre as magnitudes calculadas com a calibração e as medidas diretamente no sistema Johnson-Cousin. Na Figura D.2, apresentamos as diferenças entre as magnitudes V calculadas neste trabalho ($\rm V_{Gaia}$) e as obtidas no SIMBAD[2] (Wenger *et al.* 2000) para 267 estrelas da nossa amostra. Como podemos observar, há um grande número de estrelas (92) com diferenças acima de 2MAD da mediana.

[1] Valores de referência dos resultados apresentados no Capítulo 5.

[2] Banco de dados astronômico que fornece dados básicos, identificações cruzadas, bibliografia e medições de objetos astronômicos situados fora do Sistema Solar.

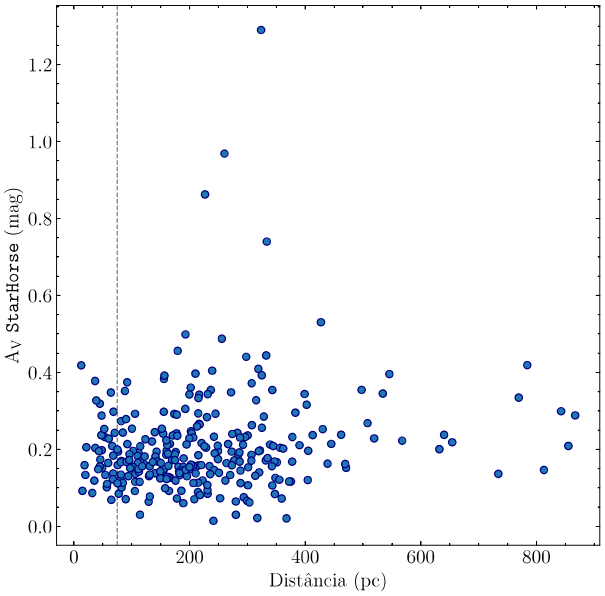


Figura D.1: Extinção A_V do `StarHorse` em função da distância. A linha tracejada cinza está posicionada em 75 pc.

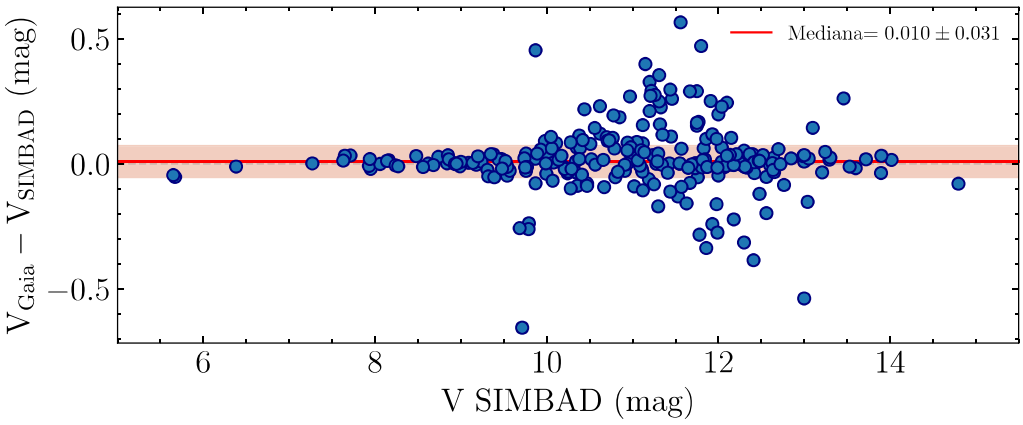


Figura D.2: Comparação entre as magnitudes V convertidas do sistema Gaia e obtidas no SIMBAD. A linha tracejada cinza representa igualdade (1:1) e a linha vermelha representa a diferença mediana (0.010 ± 0.031). A região colorida de vermelho representa o intervalo $\pm$2MAD ao redor da diferença mediana.

Utilizando as magnitudes V calculadas neste trabalho (de agora em diante, V_{Gaia}) com correções de extinção do `StarHorse`, verificamos os resultados para a subamostra de estrelas hospedeiras que também possuem magnitudes V disponíveis no SIMBAD para identificar se apenas a redução no número de objetos poderia interferir nos resultados. Contudo, nenhuma mudança foi observada, ou seja, obtivemos todos os principais resultados novamente:

1. $\%p_{\rm OLS} = 52\%$ (58%);

2. $\%p_{\rm OLS} = 98\%$ (99%);

3. $\%p_{\rm OLS} = 75\%$ (82%);

4. $\mathrm{C/O_{sN\text{-}34}} = 0,55^{+0,06}_{-0,05}$ e $\mathrm{C/O_J} = 0,42^{+0,01}_{-0,03}$ ($\mathrm{C/O_{sN\text{-}34}} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $\mathrm{C/O_J} = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$);

5. $\%p_{\rm OLS} = 4\%$, $\%t_{\rm OLS} = 8\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 8\%$, $\%t_{\rm OLS} = 13\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);

6. $\%p_{\rm OLS} = 85\%$, $\%t_{\rm OLS} = 90\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 82\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);

7. $\%p_{\rm OLS} = 83\%$ (90%);

8. $\%p_{\rm OLS} = 97\%$ (95%).

Além disso, para as subamostras de hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, continuamos encontrando tendências estatisticamente significativas entre [X/H] da estrela hospedeira e $R_{\rm pl}$ apenas para [O/H] da subamostra quente ($\%p_{\rm OLS} = 76\%$) e, para a morna, [Fe/H] ($\%p_{\rm OLS} = 67\%$), [S/H] ($\%p_{\rm OLS} = 89\%$) e [Ni/H] ($\%p_{\rm OLS} = 64\%$).

Agora, utilizando as magnitudes V do SIMBAD com correções de extinção do `StarHorse`, continuamos obtendo os mesmos resultados:

1. $\%p_{\rm OLS} = 51\%$ (58%);

2. $\%p_{\rm OLS} = 97\%$ (99%);

3. $\%p_{\rm OLS} = 76\%$ (82%);

4. $\mathrm{C/O_{sN\text{-}34}} = 0,54^{+0,04}_{-0,03}$ e $\mathrm{C/O_J} = 0,41 \pm -0,02$ ($\mathrm{C/O_{sN\text{-}34}} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $\mathrm{C/O_J} = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$);

5. $\%p_{\rm OLS} = 3\%$, $\%t_{\rm OLS} = 8\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 8\%$, $\%t_{\rm OLS} = 13\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);

6. $\%p_{\rm OLS} = 84\%$, $\%t_{\rm OLS} = 90\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 82\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);

7. $\%p_{\rm OLS} = 83\%$ (90%);

8. $\%p_{\rm OLS} = 99\%$ (95%).

Para as subamostras de hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, continuamos encontrando tendências estatisticamente significativas entre [X/H] da estrela hospedeira e $R_{\rm pl}$ apenas para [O/H] da subamostra quente ($\%p_{\rm OLS} = 70\%$) e, para a morna, [Fe/H] ($\%p_{\rm OLS} = 61\%$), [S/H] ($\%p_{\rm OLS} = 83\%$) e [Ni/H] ($\%p_{\rm OLS} = 61\%$).

D.3 $A_V = 0$ para estrelas hospedeiras dentro de um raio de 75 pc

Tendo em vista que a extinção do meio interestelar pode ser desconsiderada para estrelas próximas, consideramos $A_V = 0$ mag para estrelas com $d < 75$ pc. Assim, utilizando as magnitudes V_{Gaia} e as extinções A_V do `StarHorse` para estrelas com $d \geqslant 75$ pc, obtivemos todos os principais resultados novamente:

1. $\%p_{OLS} = 52\%$ (58%);
2. $\%p_{OLS} = 97\%$ (99%);
3. $\%p_{OLS} = 77\%$ (82%);
4. $C/O_{sN\text{-}34} = 0,55^{+0,06}_{-0,05}$ e $C/O_J = 0,42 \pm -0,02$ ($C/O_{sN\text{-}34} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $C/O_J = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$);
5. $\%p_{OLS} = 4\%$, $\%t_{OLS} = 8\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$ ($\%p_{OLS} = 8\%$, $\%t_{OLS} = 13\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$);
6. $\%p_{OLS} = 85\%$, $\%t_{OLS} = 91\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$ ($\%p_{OLS} = 82\%$, $\%t_{OLS} = 89\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$);
7. $\%p_{OLS} = 83\%$ (90%);
8. $\%p_{OLS} = 95\%$ (95%).

Para as subamostras de hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, continuamos encontrando tendências estatisticamente significativas entre [X/H] da estrela hospedeira e R_{pl} apenas para [O/H] da subamostra quente ($\%p_{OLS} = 76\%$) e, para a morna, [Fe/H] ($\%p_{OLS} = 66\%$), [S/H] ($\%p_{OLS} = 87\%$) e [Ni/H] ($\%p_{OLS} = 67\%$).

Utilizando as magnitudes V do SIMBAD e as extinções A_V do `StarHorse` para estrelas com $d \geqslant 75$ pc, obtivemos todos os principais resultados novamente:

1. $\%p_{OLS} = 52\%$ (58%);
2. $\%p_{OLS} = 98\%$ (99%);
3. $\%p_{OLS} = 75\%$ (82%);
4. $C/O_{sN\text{-}34} = 0,54^{+0,04}_{-0,03}$ e $C/O_J = 0,41 \pm -0,02$ ($C/O_{sN\text{-}34} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $C/O_J = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$);
5. $\%p_{OLS} = 3\%$, $\%t_{OLS} = 8\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$ ($\%p_{OLS} = 8\%$, $\%t_{OLS} = 13\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$);
6. $\%p_{OLS} = 84\%$, $\%t_{OLS} = 90\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$ ($\%p_{OLS} = 82\%$, $\%t_{OLS} = 89\%$ e $\alpha_{OLS} < 0$);
7. $\%p_{OLS} = 81\%$ (90%);

8. $\%p_{\rm OLS} = 97\%$ (95%).

Para as subamostras de hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, continuamos encontrando tendências estatisticamente significativas entre [X/H] da estrela hospedeira e $R_{\rm pl}$ apenas para [O/H] da subamostra quente ($\%p_{\rm OLS} = 72\%$) e, para a morna, [Fe/H] ($\%p_{\rm OLS} = 58\%$), [S/H] ($\%p_{\rm OLS} = 83\%$) e [Ni/H] ($\%p_{\rm OLS} = 60\%$). O único resultado diferente foi a presença de uma tendência entre [O/H] e $R_{\rm pl}$ para a subamostra de hospedeiras mornas ($\%p_{\rm OLS} = 51\%$, ou seja, muito próximo do limite de 50% que consideramos como estatisticamente significativo).

D.4 Indicador de qualidade do `StarHorse`

O `StarHorse` (Anders *et al.* 2019, 2022) tem um indicador de qualidade para seus resultados. Dessa forma, os autores definem como "resultados sem problemas" aqueles nos quais este indicador, `sh_outflag`, seja "0000". Encontramos um total de 33 estrelas para as quais `sh_outflag` é diferente de 0000. Assim, realizamos os testes estatísticos e obtivemos todos os principais resultados:

1. $\%p_{\rm OLS} = 60\%$ (58%);

2. $\%p_{\rm OLS} = 97\%$ (99%);

3. $\%p_{\rm OLS} = 74\%$ (82%);

4. $\mathrm{C/O_{sN\text{-}34}} = 0,57^{+0,03}_{-0,02}$ e $\mathrm{C/O_J} = 0,42 \pm -0,02$ ($\mathrm{C/O_{sN\text{-}34}} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $\mathrm{C/O_J} = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$);

5. $\%p_{\rm OLS} = 9\%$, $\%t_{\rm OLS} = 19\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 8\%$, $\%t_{\rm OLS} = 13\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);

6. $\%p_{\rm OLS} = 91\%$, $\%t_{\rm OLS} = 94\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 82\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);

7. $\%p_{\rm OLS} = 79\%$ (90%);

8. $\%p_{\rm OLS} = 93\%$ (95%).

Para as subamostras de hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, continuamos encontrando tendências estatisticamente significativas entre [X/H] da estrela hospedeira e $R_{\rm pl}$ apenas para [O/H] da subamostra quente ($\%p_{\rm OLS} = 76\%$) e, para a morna, [Fe/H] ($\%p_{\rm OLS} = 51\%$) e [S/H] ($\%p_{\rm OLS} = 77\%$). Contudo, não encontramos a tendência significativa entre [Ni/H] e $R_{\rm pl}$ para a subamostra de hospedeiras mornas ($\%p_{\rm OLS} = 42\%$).

D.5 Teste combinado

Como teste adicional, combinamos alguns testes já apresentados anteriormente neste apêndice, sendo eles: *i*) estrelas que têm magnitudes V no SIMBAD; *ii*) $A_V = 0$ para estrelas com $d < 75$ pc; *iii*) `sh_outflag` $= 0,000$. Além disso, adicionamos um último teste que é utilizar valores de A_V típicos para as 3 estrelas com $A_V > 0,60$ mag. A estrela K2-173 não está listada aqui porque não possui magnitude V disponível no SIMBAD. Para isso, calculamos a A_V mediana das estrelas da nossa amostra que estão dentro de um raio de 10 pc ao redor de cada uma dessas 3 estrelas. Assim, obtivemos valores medianos de A_V de aproximadamente 0,23, 0,23 e 0,14 para CoRoT-8, K2-30 e K2-79, respectivamente. Realizando os testes, encontramos novamente os principais resultados:

1. $\%p_{\rm OLS} = 52\%$ (58%);
2. $\%p_{\rm OLS} = 98\%$ (99%);
3. $\%p_{\rm OLS} = 79\%$ (82%);
4. $\rm C/O_{sN\text{-}34} = 0,52 \pm 0,05$ e $\rm C/O_J = 0,41 \pm 0,02$ ($\rm C/O_{sN\text{-}34} = 0,55^{+0,05}_{-0,01}$ e $\rm C/O_J = 0,43^{+0,02}_{-0,03}$);
5. $\%p_{\rm OLS} = 3\%$, $\%t_{\rm OLS} = 8\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 8\%$, $\%t_{\rm OLS} = 13\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);
6. $\%p_{\rm OLS} = 83\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$ ($\%p_{\rm OLS} = 82\%$, $\%t_{\rm OLS} = 89\%$ e $\alpha_{\rm OLS} < 0$);
7. $\%p_{\rm OLS} = 82\%$ (90%);
8. $\%p_{\rm OLS} = 98\%$ (95%).

Para as subamostras de hospedeiras de exoplanetas quentes e mornos, continuamos encontrando tendências estatisticamente significativas entre [X/H] da estrela hospedeira e $R_{\rm pl}$ apenas para [O/H] da subamostra quente ($\%p_{\rm OLS} = 76\%$) e, para a morna, [Fe/H] ($\%p_{\rm OLS} = 57\%$), [S/H] ($\%p_{\rm OLS} = 85\%$) e [Ni/H] ($\%p_{\rm OLS} = 59\%$). Como novos resultados, encontramos tendências lineares entre [Ni/H] e $R_{\rm pl}$ para a amostra completa ($\%p_{\rm OLS} = 50\%$, ou seja, muito próximo do limite de 50% que consideramos como estatisticamente significativo).

Finalmente, os testes mostraram que os resultados são robustos visto que encontramos poucas diferenças, sendo elas não significativas, isto é, têm $\%p_{\rm OLS}$ muito próximos dos limites que consideramos como estatisticamente significativos).