

### UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT DEPARTAMENTO DE FÍSICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA

#### JEFFERSON RODRIGO PEREIRA INÁCIO

### ANÁLISE ESTATÍSTICA DA METALICIDADE ESTELAR EM SISTEMAS BINÁRIOS

MOSSORÓ-RN NOVEMBRO 2018

#### JEFFERSON RODRIGO PEREIRA INÁCIO

#### ANÁLISE ESTATÍSTICA DA METALICIDADE ESTELAR EM SISTEMAS BINÁRIOS

**Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do grau de **mestre** em Física.

Orientador: Prof. Dr. José Ronaldo Pereira da Silva

MOSSORÓ-RN NOVEMBRO 2018 © Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

#### Catalogação da Publicação na Fonte. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

P436a Pereira Inácio, Jefferson Rodrigo Ánalise estatística da metalicidade estelar em sistemas binários. / Jefferson Rodrigo Pereira Inácio. - Mossoró, 2018. 72p.
Orientador(a): Prof. Dr. José Ronaldo Pereira da Silva. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Física). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.
1. Sistemas binários espectroscópicos. 2. Metalicidade estelar. 3. Parâmetros fundamentais. I. Silva, José Ronaldo Pereira da. II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

#### JEFFERSON RODRIGO PEREIRA INÁCIO

#### ANÁLISE ESTATÍSTICA DA METALICIDADE ESTELAR EM SISTEMAS BINÁRIOS

**Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do grau de **mestre** em Física.

Aprovada em 20/12/2018 Banca Examinadora

Prof. Dr. José Ronaldo Pereira da Silva Orientador UERN

Prof. Dr. Mackson Matheus França Nepomuceno Examinador externo UFERSA

> Prof. Dr. Braúlio Batista Soares Examinador interno UERN

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e depois a mulher da minha vida, minha mãe, a única pessoa que me faz buscar o impossível e sempre acreditou em mim, único e exclusivamente para fazê-la feliz, durante toda minha existência seja ela longínqua ou não, pertencendo-a, portanto, ao Grande Salvador – Jesus.

## Agradecimentos

- A Deus, por sempre está presente em minha vida.
- A toda minha família, mas em especial, à minha mãe Edilza Pereira Inácio, por sempre está ao meu lado e nunca desistir de mim.
- Aos meus amigos, que puderam compartilhar de mais esta vitória pessoal.
- Ao meu orientador, o Professor Dr. José Ronaldo Pereira da Silva, um excelente profissional e uma grande pessoa.
- A todos os professores, que, de uma forma ou de outra, contribuíram com a minha formação acadêmica.
- À capes, pelo apoio financeiro.

"O sábio nunca diz tudo o que pensa, mas pensa sempre tudo o que diz."

Aristóteles

#### Resumo

A maioria das estrelas encontra-se em sistemas binários ou múltiplos, estando fisicamente associadas entre si. Afere-se que pelo menos metade de todas as estrelas no céu são efetivamente sistemas múltiplos. Através do estudo dos sistemas binários, pode-se deduzir uma série de importantes parâmetros estelares tais como: massa, raio, temperatura superficial, período de rotação, dentre outros. Nossa amostra é formada por 495 estrelas da sequência principal extraída de um subconjunto de 713 estrelas com valores de metalicidade estelar conhecidos na literatura e outros calculados através de calibrações usadas quando tais valores não estavam acessíveis, e está contida nos intervalos de  $0, 9M_{\odot}$ a 3,7 $M_{\odot},$  de - 2,74 a 1,53 para a metalicidade estelar, de 0,35 a 116675 dias para o período orbital, de - 4,36 a 12,63 para a magnitude absoluta, de 4341 K a 29393 K para a temperatura e de 0 a 0,98 para a excentricidade. Neste trabalho examinou-se a relação entre a metalicidade da estrela principal dos sistemas binários e a frequência de companheiras próximas, bem como a relação entre a metalicidade e a massa estelar. Posteriormente, analisou-se a relação período-excentricidade das estrelas binárias da nossa amostra para a sequência principal com o objetivo de verificar a existência de correlações entre esses parâmetros. Os resultados do presente estudo confirmam uma anticorrelação entre companheiras estelares e alta metalicidade da estrela principal e não apresenta evidências de correlação entre a metalicidade e a massa estelar. Todavia, com relação a distribuição da excentricidade-período, observa-se que há uma variação do período de cut-off em relação à metalicidade estelar. Entretanto, para confirmar se existe ou não um padrão nessa relação, é necessário uma análise mais detalhada à luz de novos dados.

Palavras-chave: Sistemas binários espectroscópicos; Metalicidade estelar; Parâmetros

fundamentais.

### Abstract

Most stars are in double or multiple systems, being physically associated with each other. It is pointed out that at least half all stars in the sky are actually multiple systems. Through the study of binary systems, it is possible to deduce a series of important stellar parameters, such as: mass, radius, surface temperature, period of rotation, among others. Our sample consists of 495 stars of the main sequence extracted from a subset of 713 stars with stellar metallicity values known in the literature and others calculated through calibrations used when such values were not accessible, and are contained in the ranges from  $0.9M_{\odot}$  to  $3.7M_{\odot}$ , from -2.74 to 1.53 for stellar metallicity, from 0.35 to 116675 days for the orbital period, from - 4,36 to 12,63 for the absolute magnitude, from 4341 K to 29393 K for the temperature and from 0 to 0,98 for the eccentricity. In this thesis, the relationship between the star host metalicity of binary systems and the frequency of close companions was examined, as well as the relationship between metallicity and stellar mass. Subsequently, the period-eccentricity relation of the binary stars of our sample to the main sequence was analyzed in order to verify the existence of correlations between these parameters. The results of the present study confirm an anticorrelation between stellar companions and high metallicity of the host star and do not present evidences of correlation between metallicity and stellar mass. However, with regard to the distribution of the eccentricity-period, it is observed that there is a variation of the cut-off period in relation to stellar metallicity. However, to confirm whether or not a pattern exists in this relationship, a more detailed analysis is needed in light of new data.

Keywords: Spectroscopic binary systems; Stellar metallicity; Fundamental parameters.

# Lista de Figuras

3.1	As órbitas reais das estrelas no sistema Sírius.	8
3.2	Plano orbital e tangente ao céu ilustrando a importância dos elementos orbitais.	9
3.3	Imagem de CCD de Albireo ( $\beta$ Cygni) tirada nos Estados Unidos por Bob Francke.	12
3.4	Binária astrométrica. A componente invisível fica evidente devido ao movimento oscilatório da estrela visível no sistema.	13
3.5	Binária espectroscópica. Quando a estrela A aproxima-se, ocorrendo o blueshift, sua companheira, a estrela B, afasta-se, ocorrendo o redshift. Isso é observado através da periodicidade das linhas espectrais para o azul e para o vermelho,	
	respectivamente.	14
3.6	Curva de luz de magnitude V da binária espectroscópica YY Sagittarri. Seu período orbital é de $P = 2.6284734$ d, com uma excentricidade $e = 0.1573$ e uma inclinação orbital de $i = 88.89^{\circ}$	15
4.1	Diagrama Hertzsprung-Russell para todas as estrelas tiradas do catálogo SB9 de	17

- 4.3 Diagrama Hertzsprung-Russell. Nossa amostra de estrelas da sequência principal. Essa figura contém 495 estrelas extraídas de um subconjunto de 713 estrelas com valores de metalicidade conhecidos na literatura e outros calculados através de calibrações usadas neste trabalho quando tais valores não estavam acessíveis.

22

4.4 Gráfico de dispersão: Comparamos as metalicidades do catálogo de Pastel, Holmberg e Ammons. Os 144 pontos vermelhos comparam os valores de metalicidade do catálogo de Holmberg com os valores das metalicidades para as mesmas estrelas listadas no catálogo de Pastel. Encontramos que a média dos valores do catálogo de Holmberg difere de 0,05 da média dos valores do catálogo de Pastel, com uma correlação bastante significativa de 0,87. Similarmente, os 149 pontos verdes comparam os valores do catálogo de Ammons aos valores do catálogos de Holmberg, sendo que a média dos valores do Ammons é 0.16 maior do que a média dos valores do Holmberg, com uma correlação de 0,23. Os 88 pontos azuis comparam o catálogo de Ammons ao catálogo de Pastel, onde a média dos valores de Pastel é 0,23 menores do que a média dos valores do catálogo de Ammons, com uma correlação de 0,50. Assim, notamos que correlação entre os valores do Pastel e do Holmberg é muito forte, com uma correlação um pouco 23

- 4.5 Gráfico de dispersão: Valores das metalicidades das fontes primárias (catálogos de Pastel, Holmberg e Ammons) comparados aos três outros métodos de obtenção das metalicidades estelares. Comparamos as metalicidades dos catálogos de Pastel, Holmberg e Ammons (plotadas no eixo x como fontes primárias) com as seguintes metalicidades testes plotadas no eixo y: (1) metalicidades "Outras", retiradas do SIMBAD (pontos vermelhos), (2) metalicidades fotométricas *uvby* derivadas da calibração de Martell e Laughlin (2002) (pontos verdes) e (3) metalicidades fotométricas *uvby* derivadas da calibração de Nordström et al. 2004 (pontos azuis). As diferenças médias entre as metalicidades da amostra teste e a amostra das fontes primárias ( $[Fe/H]_{teste} - [Fe/H]_{esp}$ ) são -0,12, 0,01 e -0,01, respectivamente, com dispersões de 0,09, 0,05 e 0,02, respectivamente. . . . . . 24

- 5.2 Logaritmo da massa (em massas solares) em função da metalicidade estelar
  [Fe/H]. O coeficiente de correlação entre a metalicidade estelar e a massa é 0,15 e
  0,21 para as estrelas pobres e ricas em metais, respectivamente, e de -0,08 para as
  estrelas do tipo-solar, confirmando que a metalicidade das companheiras estelares é independente da massa das estrelas e, consequentemente, do tipo espectral.
  Portanto, percebe-se que não há nenhuma correlação entre a metalicidade estelar
  e a massa dos sistemas binários estudados.
  30

# Lista de Tabelas

4.1	Valores estatísticos da nossa amostra para a metalicidade, massa, período		
	orbital, excentricidade da órbita, temperatura e a magnitude visual absoluta.	20	
5.1	Metalicidade e frequência das estrelas principais com suas companheiras		
	estelares próximas (Percentual geral)	26	
A.1	Parâmetros físicos dos sistemas binários da nossa amostra	39	

# Sumário

Li	Lista de Figuras						
Li	Lista de Tabelas vii						
1	Introdução						
2	Metalicidade Estelar						
3	3 Sistemas Binários						
	3.1	Eleme	ntos Orbitais dos Sistemas Binários	7			
	3.2 Classificação de Sistemas Binários						
		3.2.1	Sistemas Binários Visuais	11			
		3.2.2	Sistemas Binários Astrométricos	12			
		3.2.3	Sistemas Binários Espectroscópicos	13			
		3.2.4	Sistemas Binários Eclipsantes	14			
4	A amostra						
5	Resultados						
6	Cor	Conclusões e perspectivas					
	6.1	Concl	$us \tilde{o} es$	32			
	6.2	Perspe	ectivas	33			

Referências	34
Apêndices	39
A Tabela	39

## Capítulo 1

### Introdução

Tanto a formação de uma estrela binária via fragmentação e colapso da nuvem molecular quanto a formação de um planeta massivo via acresção em torno de um núcleo em um disco protoplanetário envolvem a produção de um sistema binário, mas são geralmente conhecidos como processos distintos. [2]

Porém, às vezes, estas estrelas podem estar muito distantes uma da outra e devido ao fato delas estarem mais ou menos na mesma direção tem-se a impressão de vê-las lado a lado no céu, dificultando, dessa forma, a identificação de tais objetos celestes. Outra dificuldade que pode-se encontrar na descoberta de uma estrela dupla é a distância, pois caso os objetos estejam muito distantes não se consegue resolver o sistema, observando apenas um único ponto luminoso ao invés das duas estrelas separadamente. Todavia, tais objetos são de uma importância muito grande no estudo do universo, pois esses tipos de estrelas revelam diversos parâmetros que uma estrela isolada não pode revelar.

Propriedades como a rotação (que indica a presença de forças entre as componentes), a velocidade, pela qual pode-se mensurar a magnitude dessa força, a massa das componentes estelares e a própria idade do sistema binário podem ser conhecidas através do estudo dos sistemas binários.

Através das observações destes sistemas pode-se caracterizá-los por tipo de sistema binário: tem-se as binárias visuais, astrométricas, espectroscópicas e as binárias eclipsantes. Mais detalhes sobre esses sistemas ver-se-á mais adiante na seção 3.2 do capítulo 3 deste trabalho. Desta forma, faz-se neste trabalho um estudo sobre algumas dessas propriedades, dando ênfase maior a metalicidade estelar, um parâmetro extremamente importante para o estudo da compreensão do universo.

Sabe-se que exoplanetas gigantes com órbitas próximas têm estrelas principais com metalicidade estelar relativamente alta comparada a uma típica estrela do campo, consolidando-se como uma característica cada vez mais forte na literatura, ([4]; [5]; [6]; [7]) desde as observações de [8]. Assim, neste trabalho, foi investigado se esta correlação entre a alta metalicidade da estrela principal e a presença de exoplanetas detectados por efeito Doppler, estende-se às estrelas binárias [9].

Uma visão amplamente aceita é a de que as populações estelares pobres em metais possuem poucas companheiras estelares ([10]; [11]; [12]). Mas, de acordo com [13], essa conclusão pode estar associada à dificuldade de se encontrar estrelas binárias no halo galáctico, que implicaria em um viés nas amostras analisadas.

Em [14] especulou-se que a frequência de estrelas principais com companheiras estelares podem estar correlacionadas com a metalicidade, como é o caso das estrelas hospedeiras de planetas [9]. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo procurar, descrever e caracterizar possíveis correlações entre: a metalicidade e binaridades; metalicidade e massa - relação que fornece uma compreensão crucial para a formação e evolução das galáxias [15] e por serem duas das propriedades físicas mais fundamentais das galáxias [16]; e entre a excentricidade e período [17]. Para tanto, coletou-se os dados de metalicidade para 495 estrelas binárias da sequência principal e concluiu-se que os sistemas binários são geralmente pobres em metais, como pode-se observar na Tabela 5.1. Notou-se para as estrelas pobres em metais e do tipo-solar com valores de metalicidade em torno de [Fe/H] = -0, 2 e [Fe/H] = 0 que esses subconjuntos possuem massas estelares que giram em torno de  $\log(M/M_{\odot}) = 0.2$ , ou seja,  $1, 6M_{\odot}$  e que apenas 19 % desses sistemas binários são ricos em metais; um índice razoavelmente baixo. Mas, por outro lado, estrelas hospedeiras de planetas são geralmente ricas em metais como foi certificado por [9].

Outro resultado importante nesta análise foi observado na Figura 5.3, onde notase um aumento do período de cut-off em relação aos grupos de metalicidades definidos para nossa amostra. Ou seja, o período de cut-off das estrelas pesquisadas aumenta quando a metalicidade estelar aumenta. O capítulo 2 discorre sobre a metalicidade estelar e no capítulo 3 aborda-se de maneira sintética os sistemas binários: o que os caracterizam e seus tipos mais conhecidos. No capítulo 4, discute-se sobre a amostra de estrelas binárias e descreve-se as técnicas usadas para a obtenção das metalicidades dessas estrelas. E, por último, nos capítulos 5 e 6, são apresentados os resultados e as conclusões, respectivamente.

## Capítulo 2

### Metalicidade Estelar

Os astrônomos chamam todos os elementos mais massivos do que o Hélio de "metais" e denota-os com a letra Z (X e Y sendo a abundância de hidrogênio e hélio por massa, respectivamente). Estes são produzidos em estrelas e compõem menos do que 1/1000 do núcleo atmosférico [18]. Para alguns elementos, como por exemplo o Carbono, não se sabe realmente quais estrelas são a fonte dominante.

Os metais são onipresentes em todas as galáxias. Eles são sintetizados nas estrelas e liberados no meio interestelar (MIE) – gás e poeira que existem entre as estrelas [3] –, quando as estrelas perdem seus envelopes gasosos externos no final de suas vidas, e em alguns casos também no meio intergaláctico (MIG), quando as estrelas de massas mais altas explodem como supernovas (SN) [19]. Em uma galáxia<sup>1</sup> como a nossa, aproximadamente um décimo do material visível é gás e poeira. O resto são estrelas. Há dez vezes mais matéria escura invisível do que visível cuja natureza ainda não é conhecida [20].

As supernovas (SN) são uma importante fonte de metais. De acordo com Zwicky, que observou a maioria das supernovas, há pelo menos cinco tipos diferentes, conforme julgado por suas curvas de luz. A maioria das supernovas observadas pertencem, entretanto, a dois tipos, denominados tipo I e tipo II [21]: As SN do tipo II são explosões de estrelas muito massivas que contém linhas de hidrogênio conspícuas [22]. Os elementos  $\alpha$ , produto da fusão do hidrogênio e hélio que geram a queima de Carbono e Oxigênio [18], são produzidos principalmente pelo colapso do núcleo das SN. Elas, então, seguem

 $<sup>^{1}</sup>$ Família de  $10^{5}$  à  $10^{12}$  estrelas que estão ligadas por sua gravitação mútua e movem-se juntas através do espaço (PERCY, John R., 2007, p. 18)

de perto a história de formação estelar da galáxia [23]. As SN do tipo I, por outro lado, não possuem linhas de hidrogênio visíveis [22] e ocorrem durante a transferência de massa nas estrelas binárias - estas são as produtoras dominantes de ferro. A mistura química das estrelas é, portanto, um relato fóssil das frações relativas de supernovas do tipo I e do tipo II. No entanto, tipicamente, mede-se apenas uma metalicidade, como por exemplo a abundância de ferro, uma vez que muitas vezes é mais fácil de medir, e então assume-se que os outros elementos dimensionam-se com o ferro. Mas sabemos de fato que alguns sistemas estelares têm um padrão de abundância relativa bastante diferente dos elementos.

Para o Sol, a quantidade total de metais por massa é de, aproximadamente,  $Z_{\odot} = 0,0134$ , ou seja, 1,34% da sua massa não é hidrogênio ou hélio, como podemos observar na tabela 4 de [24]. Isto é inferido não apenas pelas observações do Sol, mas também pela composição dos cometas. Esta tabela reúne as frações de massa resultantes de um número de coleções amplamente utilizadas da composição química solar nas últimas duas décadas.

Para outras estrelas, geralmente compara-se a metalicidade em unidades do valor solar, em uma escala logarítmica [25],

$$[Fe/H] = \log\left[\frac{(Fe/H)}{(Fe/H)_{\odot}}\right],\tag{2.1}$$

onde [Fe/H] é a metalicidade estelar.

Então, da equação 2.1, conclui-se que se uma estrela tiver [Fe/H] = 0, ela tem a mesma abundância de ferro que o Sol. E para [Fe/H] = -1, ela tem, aproximadamente, um décimo do valor solar.

Pode-se supor a metalicidade de uma estrela relacionando-a com a época em que ela se formou. As estrelas de população I (as chamadas estrelas "normais"), que aparentemente foram formadas após as estrelas de população II (estrelas muito pobres em metais que não pertencem ao plano galáctico mas, ao invés disso, pertencem ao espaço acima e ao redor dele, chamado de halo galáctico), foram formadas a partir de material que continha uma proporção muito maior de elementos pesados. Isso sugere que, com o tempo, o meio interestelar do qual as estrelas se formaram foi enriquecido por elementos pesados [21]. De fato, as estrelas muito antigas formaram-se antes que houvesse muitas gerações de estrelas e, portanto, antes que diversas SN explodissem, e assim foram formadas a partir de gás contendo principalmente hidrogênio e hélio. De acordo com o modelo do Big Bang, apenas  ${}^{1}_{1}H$ ,  ${}^{2}_{1}H$ ,  ${}^{4}_{2}He$  e uma pequena fração de Li foram formados na nucleossíntese primordial [18]. Desde então, a nucleossíntese estelar tem estado em ação, aumentando progressivamente a abundância de metais no Universo. Neste contexto, a evidência empírica de que as estrelas do disco – objetos da população I – são mais ricas em metais do que as estrelas do halo – objetos da população II –, foi considerada uma prova da evolução química em nossa própria galáxia [26]. Desta forma, as estrelas que se formam agora serão formadas a partir do gás que já foi enriquecido pelas explosões de supernovas e através de ventos estelares e, consequentemente, serão mais ricas em metais [18].

No entanto, ao comparar as previsões de nucleossíntese do Big Bang com as estimativas espectroscópicas da metalicidade das estrelas de população II, defronta-se com a evidência de que a antiga população II do halo deveria ter sido precedida por uma população estelar anterior, responsável por aumentar a quantidade de elementos pesados do valor cósmico -  $Z \sim 10^{-12} - 10^{-10}$  ou zero - à valores típicos das estrelas de população II ( $Z \sim 10^{-3} - 10^{-4}$ ). Essa população estelar primordial, caracterizada por uma metalicidade desprezível, ou quase nenhuma metalicidade, é chamada de população III [26].

A metalicidade é, portanto, uma das principais propriedades físicas das galáxias, e a compreensão dos processos que regulam a troca de metais entre estrelas, gás interestelar frio e gás circundante difuso pode nos ajudar a entender os processos físicos que governam a evolução das galáxias em geral [19].

## Capítulo 3

### Sistemas Binários

Um sistema binário, assim nomeado pela primeira vez pelo astrônomo e compositor alemão naturalizado inglês - primeiro presidente da Royal Astronomical Society -Willian Herschel (1738 - 1822), pode ser simplesmente definido como um par de estrelas que descrevem órbitas fechadas ao redor do seu centro de gravidade comum, sob a influência de sua gravitação mútua [27]. As estrelas, ou componentes, podem estar em contato ou separadas por milhares de unidades astronômicas.

A maioria das estrelas encontra-se em sistemas duplos ou múltiplos, estando fisicamente associadas entre si. Afere-se que, pelo menos, metade de todas as estrelas no céu são efetivamente sistemas múltiplos [3]. Através do estudo dos sistemas binários, podemos deduzir uma série de importantes parâmetros estelares sobre uma variedade de características estelares, tais como: massa, raio, temperatura superficial, período de rotação, dentre outros. A determinação de tais parâmetros é feita a partir de diferentes métodos observacionais, que dependem da categoria em que se encontram os sistemas binários.

#### 3.1 Elementos Orbitais dos Sistemas Binários

Embora os astrônomos considerem a componente mais brilhante como fixa e mapeiem o movimento da componente mais fraca ao seu redor, na realidade, ambas as estrelas em um sistema binário movem-se em elipses ao redor do centro de gravidade comum. O tamanho da elipse é inversamente proporcional à massa da estrela, assim, no sistema Sírius, por exemplo, a estrela primária tem uma massa de 2,1 massas solares, a companheira anã branca 0,98 e assim o tamanho das elipses traçadas no céu estão na proporção 1:2.1 para a primária e a secundária (Figura 3.1) [28].



Figura 3.1: As órbitas reais das estrelas no sistema Sírius. Fonte: Argyle, R. W. 2012

Na maioria dos casos, o movimento é descrito pela estrela mais fraca em relação à estrela mais brilhante que está fixada no foco da elipse como se a massa total estivesse concentrada no centro fixo de atração [28].

O termo elementos orbitais originou-se no estudo de movimentos planetários. Geralmente, para definir-se o movimento de um planeta em sua órbita são necessárias seis quantidades (Figura 3.2) [10]:

- i) dois ângulos i, Ω que definem a posição do plano orbital no espaço com respeito à um plano de referência.
- ii) um terceiro ângulo  $\omega$ , definindo a orientação do eixo maior da órbita elíptica dentro do plano orbital.



Figura 3.2: Plano orbital e tangente ao céu ilustrando a importância dos elementos orbitais. Fonte: Batten (1973)

- iii) duas quantidades a (o semieixo maior) e e (a excentricidade) que define o tamanho e a forma da elipse.
- iv) um tempo T que corresponde a uma dada posição do planeta na sua órbita (geralmente o tempo de passagem pelo periélio). O período, P, não é necessariamente um elemento orbital separado, uma vez que dentro do sistema solar todos os períodos são dados pela terceira lei de Kepler

$$\frac{a^3}{P^2} = constante. \tag{3.1}$$

De maneira similar, a órbita de um sistema binário pode ser definida, embora um plano de referência diferente seja escolhido e o período esteja relacionado ao semieixo maior pela forma generalizada da lei de Kepler

$$\frac{a^3}{P^2} \propto m_1 + m_2,$$
 (3.2)

onde  $m_1$  e  $m_2$  são as massas das duas estrelas.

Uma descrição dinâmica completa do sistema, portanto, requer um conhecimento do período P, que passou a ser considerado como um elemento orbital extra. Dessa forma, as seguintes quantidades são usadas para definir uma órbita binária [10]:

- P: O período orbital, geralmente expresso em dias (binárias espectroscópicas ou eclipsantes) ou anos (binárias visuais).
- *i*: A inclinação do plano orbital em relação ao plano tangente da esfera celeste na estrela.
- Ω: O ângulo de posição (medido de norte a leste) da linha de nós que une as intersecções dos planos orbital e tangente ao céu.
- ω: O ângulo entre a direção ao nó ascendente (no qual a estrela cruza o plano tangente enquanto se afasta do observador) e aquele ao ponto de maior aproximação das duas estrelas (periastro). Esse ângulo é medido no plano e na mesma direção do movimento orbital e é, geralmente, chamado de longitude do periastro, um termo bem infeliz, pois sugere uma analogia com a longitude do periélio que é um ângulo medido em dois planos diferentes, enquanto a longitude do periastro é medida em apenas um e, em qualquer sistema, diferem em 180°. Por convenção, os observadores de binárias visuais sempre dão o valor de ω apropriado a componente secundária (mais fraca) de um sistema, enquanto os observadores de sistemas eclipsantes e espectroscópicos geralmente citam o valor da órbita da componente primária.
- a: O semieixo maior da órbita, geralmente expresso em quilômetros ou unidades astronômicas.
- e: A excentricidade da órbita, um número adimensional entre zero e um.
- T: O tempo em que as duas estrelas passam através do periastro.

#### 3.2 Classificação de Sistemas Binários

As estrelas binárias são tão comuns quanto as estrelas simples [27] e são vários os tipos de sistemas binários que existem: visuais, astrométricos, espectroscópicos e eclipsantes. Porém, existem os sistemas aparentes, classificados como **estrelas duplas** ou duplas ópticas que, de fato, não são binárias mas, simplesmente, duas estrelas que se encontram na mesma linha de visada e que devido ao efeito de projeção, aparentemente constituem um par [3].

Esses diferentes tipos de binárias são identificados de acordo com suas características físicas e por motivos observacionais específicos. São várias técnicas usadas para se observar esses diferentes tipos de binárias [29].

As descobertas e medidas de estrelas duplas recaem em diferentes ramos de observação, tais como os campos da astrometria (medidas de posição, tanto visualmente quanto fotograficamente), espectrometria (medidas de velocidade radial) e fotometria (medidas de intensidade da luz) [30].

Observado tudo isso, uma classificação convencional de estrelas duplas é conveniente e cabível neste contexto.

#### 3.2.1 Sistemas Binários Visuais

As binárias visuais são vistas separadamente no telescópio. Elas são de longe o tipo mais frequente em relação ao número de descobertas, mas na maioria dos casos, as separações das componentes são tão grandes e os movimentos orbitais são tão lentos (períodos da ordem de  $10^5$  e  $10^6$  anos) que a informação obtida é limitada ao conhecimento da relação física e da origem comum das componentes [30].

Estes sistemas fornecem informações importantes sobre a separação angular das estrelas a partir do seu centro de massa comum [3]. A Figura 3.3 abaixo mostra o sistema binário Delta Cephei.



Figura 3.3: Imagem de CCD de Albireo ( $\beta$  Cygni) tirada nos Estados Unidos por Bob Francke. Fonte: Argyle, R. W. 2012

#### 3.2.2 Sistemas Binários Astrométricos

Quando observa-se apenas uma estrela com o telescópio, mas nota-se um movimento oscilatório desta estrela no céu, pode-se concluir que há uma companheira não detectável presente, e então, considera-se que este é um sistema binário astrométrico.

Estes sistemas são vistos como objetos simples em todos os telescópios, mas revelam sua duplicidade pelo efeito que a estrela companheira invisível tem no movimento próprio ou no movimento transversal da estrela em relação às estrelas mais fracas de fundo [28].

Uma vez que a primeira lei de Newton exige que uma velocidade constante seja mantida por uma massa, a menos que uma força externa atue sobre ela, tal comportamento oscilatório exige que outra massa esteja presente [3]. (Ver Figura 3.4)

Este movimento será constante para uma estrela simples, mas a presença de uma companheira constantemente puxa a estrela primária e o efeito é observar a estrela "oscilar" no céu. Isso foi notado pela primeira vez por Bessel no movimento próprio de Sirius. Ele atribuiu, com razão, a oscilação periódica de Sirius à presença de uma massiva companheira invisível. Em 1862, Alvan Clark viu Sirius B pela primeira vez, confirmando a previsão de Bessel [28].



Figura 3.4: Binária astrométrica. A componente invisível fica evidente devido ao movimento oscilatório da estrela visível no sistema.

Fonte: Carrol & Ostlie, 2017

#### 3.2.3 Sistemas Binários Espectroscópicos

As binárias espectroscópicas são sistemas que parecem estrelas simples quando observadas pelos telescópios [28] por estarem muito próximas entre si com períodos orbitais pequenos em um sistema não resolvido.

Contudo, sua duplicidade pode ser revelada a partir do efeito Doppler de seus movimentos orbitais, isto é, por meio de repetidas medidas de velocidade radial [30]. Observa-se que as linhas espectrais deslocam-se periodicamente com o tempo devido ao deslocamento Doppler à medida que as estrelas aproximam-se e depois afastam-se do observador [28].

Quando as estrelas têm o brilho semelhante, dois conjuntos de linhas espectrais podem ser vistos, particularmente quando uma estrela está movendo-se em nossa direção e a outra está se afastando. Estes são os chamados sistemas duplo-alinhado. Quando uma estrela é muito mais brilhante do que a outra, apenas as linhas espectrais da estrela mais brilhante podem ser vistas movendo-se periodicamente. Esses são os sistemas simplesalinhados [28].

Abaixo, na Figura 3.5, observa-se a esquematização de um sistema binário espectroscópico.



Figura 3.5: Binária espectroscópica. Quando a estrela A aproxima-se, ocorrendo o blueshift, sua companheira, a estrela B, afasta-se, ocorrendo o redshift. Isso é observado através da periodicidade das linhas espectrais para o azul e para o vermelho, respectivamente.

Fonte: http://coffee.ncat.edu:8080/Flurchick/Lectures/StellarModeling/Section1/Lecture1-5.html. Acesso em: 03/03/2018.

#### 3.2.4 Sistemas Binários Eclipsantes

Essas estrelas não são estritamente uma categoria separada, pois a grande maioria são sistemas espectroscópicos, mas elas tornam-se conhecidas pelo enfraquecimento periódico da luz causado pela passagem de uma estrela na frente da outra, devido ao plano orbital do sistema está orientado ao longo da linha de visada do observador [28]. Dessa forma, a luz da componente eclipsada é bloqueada, causando variações regulares na quantidade de luz recebida no telescópio [3]; as chamadas **curvas de luz** (Figura 3.6).

As binárias eclipsantes podem ser divididas em três principais categorias: as Algol (tipo EA), as estrelas beta Lyrae (tipo EB) e as estrelas W Ursae Majoris (tipo EW). Além disso, exitem subtipos que dependem da característica do lóbulo de Roche [28].

O lóbulo de Roche define o volume dentro do qual uma estrela ainda tem controle gravitacional de todos os seus constituintes tais como os átomos e íons. Nas chamadas binárias destacadas, as estrelas estão suficientemente separadas para que os lóbulos de Roche sejam essencialmente esféricos e bem separados. À medida que a separação entre as estrelas se reduz, elas começam a mudar de esferas para elipsoides sob a atração gravitacional mútua [28].

O ponto lagrangiano L1, ou superfície crítica, como define [29], situa-se entre as duas estrelas e representa um ponto em que a atração gravitacional de ambas as estrelas é nula [28]. Sistemas em que apenas uma componente preenche seu lóbulo de Roche, de modo que esta estende-se à L1, são chamados de sistemas **binários semi-destacados** [29]. Quando ambas as estrelas preencheram seu lóbulo de Roche, são chamadas de **binárias de contato**. É nesse estágio que ocorre a transferência de massa de uma companheira para a outra através de L1 [28].



Figura 3.6: Curva de luz de magnitude V da binária espectroscópica YY Sagittarri. Seu período orbital é de P = 2.6284734 d, com uma excentricidade e = 0.1573 e uma inclinação orbital de  $i = 88.89^{\circ}$ 

Fonte: Carroll & Ostlie, 2017.

## Capítulo 4

#### A amostra

Nossa amostra é formada por 495 estrelas da sequência principal. Ela foi extraída de um subconjunto de 713 estrelas com valores de metalicidade conhecidos na literatura ou calculados usando-se calibrações quando tais valores não estavam acessíveis. Esse subconjunto de 713 estrelas com metalicidades conhecidas foi selecionado a partir de um conjunto de 1110 estrelas o qual deriva do catálogo [31] de binárias espectroscópicas com paralaxes conhecidas pelo Hipparcos. Selecionou-se as estrelas da sequência principal por serem estrelas parecidas com o nosso sol, uma estrela da sequência principal. A Figura 4.1 mostra o diagrama H-R para todas as 1110 estrelas binárias citadas acima. Nela observa-se que a grande maioria das estrelas encontram-se na região da sequência principal, enquanto que acima da sequência principal percebe-se uma dispersão moderadamente acentuada no ramo das gigantes.

As metalicidades estelares do subconjunto de 713 estrelas, do qual foi selecionada nossa amostra, foram obtidas a partir dos catálogos de [32], [33], [34]; através da base de dados SIMBAD [35] (acrônimo do inglês para conjunto de identificação, medição e bibliografia para dados astronômicos, gerenciado pelo Centro de Données Astronomiques de Strasbourg (CDS)) e por meio das calibrações de [36] e [37], respectivamente, objetivando disponibilizar do máximo de valores possíveis para tal parâmetro. Dessa forma, quando a metalicidade estelar não estava acessível para uma dada estrela nos catálogos de [32], [33], [34] nessa ordem, utilizados como fontes primárias, foi usado um valor tirado da base de dados SIMBAD [35], seguido por um valor fotométrico *uvby* a partir da calibração de [36] e, por último, um valor fotométrico *uvby* calculado através da calibração de [37].



Figura 4.1: Diagrama Hertzsprung-Russell para todas as estrelas tiradas do catálogo SB9 de binárias espectroscópicas. Este gráfico contém 1110 estrelas.

Para produzir sua calibração, [36] usou a base de dados Cayrel de Strobel, Soubiran, & Ralite 2001 para todas as estrelas que possuem paralaxes do Hipparcos, têm medidas de uvby nas compilações de Hauck-Mermilliod 1998, têm  $M_V < 1,0$  e encontram-se dentro de 100 pc do Sol (para reduzir os problemas decorrentes do avermelhamento) e, com isso, obteve um total de 1533 medidas de 664 estrelas, fornecendo uma calibração que pode ser usada dentro dos seguintes intervalos: 0,288 < b - y < 0,571, 0,058 < m < 0,497,0,116 < c < 0,745 e -2, 0 < [Fe/H] < 0,5. Analogamente, a calibração de [37], derivada a partir de 342 estrelas, tem seus intervalos de validade dados por:  $0,18 \le b - y \le 0,38,$  $0,07 \le m_1 \le 0,26, 0,21 \le c_1 \le 0,86 e -1,5 \le [Fe/H] \le 0,8.$ 

Essas calibrações dependem dos parâmetros do sistema Strömgren, o qual pode ser usado para determinação da metalicidade estelar. Esse sistema dispõe de filtros de largura de banda intermediária (180-300 Å) e define quatro bandas - u, v, b e y - com comprimentos de onda médios de 3500, 4110, 4670 e 5470 Å, respectivamente. Essas grandezas, por sua vez, correspondem as intensidades medidas nessas quatro bandas e definem três índices, isto é, o índice de cor b - y e as diferenças de índices de cor:  $c_1 =$ (u-v)-(v-b), denominada índice de descontinuidade de Balmer, e  $m_1 = (v-b)-(b-y)$ , chamada de índice da linha de metal, onde os índices b - y,  $c_1$  e  $m_1$  são afetados pelo avermelhamento interestelar [38]. A localização do filtro v foi escolhida por Strömgren para incorrer diretamente em uma região com maior absorção de metal. O índice de metalicidade  $m_1 = (v - b) - (b - y)$  é, portanto, sensível ao conteúdo de metal através de (v - b) e à temperatura através de (b - y). A informação [M/H] (abundância de um elemento M em relação ao valor solar) pode, deste modo, ser obtida, para uma primeira estimativa, quando não há informação sobre os elementos individuais. Na verdade, tentase derivar três parâmetros  $T_{eff}$ , log  $g \in [M/H]$  das quatro bandas de Strömgren medidas, u, v, b e y, usando informações dos diagramas como os das figuras 3.5 e 3.6 em [18].

A Figura 4.2 apresenta o diagrama H-R para o subconjunto das estrelas com valor de metalicidade conhecido ou calculado através das calibrações, abrangendo 713 objetos no total. Os pontos pretos representam as estrelas com metalicidade no catálogo de [32]. As estrelas com metalicidades listadas no catálogo de [33] são representadas por pontos azuis. Os pontos vermelhos são estrelas com metalicidades obtidas do catálogo de [34]. Os pontos verdes para as estrelas de [35] que possuem valores para a metalicidade. E, finalmente, os pontos cianos e amarelos para as estrelas com metalicidades derivadas das calibrações de [36] e [37], respectivamente. E na Figura 4.3 tem-se ilustrado para as 495 estrelas da sequência principal com valores de metalicidade estelar conhecidos, o diagrama Hertzsprung-Russell para nossa amostra.

A Figura 4.4 mostra o gráfico de dispersão para os três grupos com metalicidades conhecidas e compara as metalicidades do catálogo de [32], [33], [34]. Os 144 pontos vermelhos comparam os valores de metalicidade do catálogo de [33] com os valores das metalicidades para as mesmas estrelas listadas no catálogo de [32]. Encontrou-se que a média dos valores de metalicidade estelar do catálogo de [33] difere 0,05 da média dos valores do catálogo de [32], com uma correlação bastante significativa de 0,87. Similarmente, os 149 pontos verdes comparam os valores do catálogo de [34] aos valores do catálogo de [33], sendo que a média dos valores de [34] é 0,16 maior do que a média dos valores do [33], com uma correlação de 0,23. Os 88 pontos azuis comparam o catálogo de [34] ao catálogo de [32], onde a média dos valores de [32] é 0,23 menores do que a média dos valores do catálogo de [34], com uma correlação de 0,50. Assim, notou-se que a correlação entre os valores do catálogo de [32] e do catálogo de [33] é muito forte; a correlação entre o catálogo de [34] e [32] é considerada moderada e a correlação entre os valores de metalicidade do catálogo de [33] com os valores do catálogo de [34] é fraca.

Para quantificar o quanto um valor de metalicidade estelar difere de método para método de determinação, comparou-se na Figura 4.5 os valores das metalicidades espectroscópicas (eixo x) dos catálogos de [32], [33] e [34] (ou a média, quando uma estrela tinha dois ou mais valores) com os valores das metalicidades (eixo y), nominadas por "metalicidades testes", dos seguintes catálogos e calibrações: (1) metalicidades "Outras", provinientes de [35] (pontos vermelhos), (2) metalicidades fotométricas *uvby* derivadas da calibração de [36] (pontos verdes) e (3) metalicidades fotométricas *uvby* derivadas da calibração de [37] (pontos azuis). As diferenças médias entre as metalicidades testes (eixo y) e as metalicidades espectroscópicas (eixo x) ( $[Fe/H]_{teste} - [Fe/H]_{esp}$ ) são -0,12, 0,01 e -0,01, respectivamente, com dispersões de 0,09, 0,05 e 0,02, respectivamente. O resultado desta comparação é que as incertezas associadas às metalicidades dos catálogos [32], [33] e [34] são as menores em comparação as metalicidades da calibração de [36], seguido da calibração de [37] e de "Outras" (provenientes de [35]), respectivamente.

Posteriormente, dividiu-se nossa amostra de estrelas da sequência principal em subamostras definidas pelos seguintes intervalos de metalicidade: [Fe/H] < -0, 1 (pontos brancos na Figura 5.1) para as estrelas pobres em metais;  $-0, 1 \leq [Fe/H] \leq 0, 1$  (pontos cinzas na Figura 5.1) e [Fe/H] > 0, 1 (pontos pretos na Figura 5.1) para as estrelas do tipo-solar e ricas em metais, respectivamente.

As massas das estrelas da amostra (em massas solares  $M_{\odot}$ ), foram derivadas a partir da sua temperatura efetiva, definida para 4,62  $\geq \log T_{eff} \geq 3,425$ , usandose a seguinte aproximação binomial (obtida pelo método dos mínimos quadrados via polinômios de Chebyshev) [39]:
$$\log M/M_{\odot} = (((-1, 744951X + 30, 31681)X - -196, 2303)X + 562, 6774)X - 604, 0760,$$
(4.1)

onde

$$X = \log T_{eff}.$$
(4.2)

Essa aproximação foi derivada a partir dos dados mais precisos dos sistemas destacados incluídos da tabela 1 de [39] para estrelas da sequência principal, publicados na literatura desde o ano de 1980, e a partir dos dados das tabelas 2, 4, 7 e 8 de [40], omitindo aquelas binárias para as quais os dados mais recentes estão acessíveis, totalizando 169 objetos. A média da massa estelar, derivada para nossa amostra pela relação 4.1, é  $1,32M_{\odot}$  com um erro médio aproximado de 1,30 em relação aos dados de [39] e um desvio padrão de 0,35. Em resumo, a Tabela 4.1 sumariza os valores das estatísticas da nossa amostra para a metalicidade, massa, período orbital, excentricidade da órbita, temperatura e a magnitude visual absoluta, com os respectivos diagramas de caixa para cada um desses parâmetros na Figura 4.6. Nela, percebe-se que 50 % dos dados de metalicidade da amostra está abaixo -0,09 e, apenas, 25 % acima de 0,06. No capítulo 5, encontrar-se-á que esses valores revelam que os sistemas binários são, geralmente, pobres em metais.

Parâmetros	Mín	$1^{\circ}$ Qu	Mediana	Média	$3^{\rm o}$ Qu	Máx	Desvio Padrão
[Fe/H]	- 2,74	- 0,29	- 0,09	- 0,168	0,06	1,53	$0,\!47$
Massa $(M_{\odot})$	0,9018	1,163	1,2372	1,3201	1,3159	3,7307	$0,\!35$
Período (dias)	0,35	8,42	54,88	1834,42	840,7	116675	7346,067
е	0	0,05	0,2756	0,3	0,49	0,9754	0,255
$T_{eff}$ (K)	4341	5681	6158	7017	6719	29393	3244,41
$M_V$	- 4,36	1,975	3,32	$3,\!055$	4,48	$12,\!63$	2,202

Tabela 4.1: Valores estatísticos da nossa amostra para a metalicidade, massa, período orbital, excentricidade da órbita, temperatura e a magnitude visual absoluta.



Diagrama H-R

Figura 4.2: Subconjunto de 713 estrelas. Diagrama Hertzsprung-Russell para todas as estrelas que possuem um valor para a metalicidade. Os pontos pretos são todas as estrelas do catálogo de Pastel que possuem metalicidade calculada. Os pontos azuis são as estrelas do catálogo de Holmberg que possuem metalicidade. Os pontos vermelhos são estrelas com metalicidade calculadas do catálogo de Ammons. Os pontos verdes para as estrelas do SIMBAD que possuem valores para a metalicidade. E, finalmente, os pontos cianos e amarelos para as estrelas com metalicidades derivadas das calibrações de Martell & Laughlin 2002 e Nordström et al. 2004, respectivamente. Este plote contém 713 das 1110 estrelas do catálogo SB9 de binárias espectroscópicas (Figura 4.1)

Diagrama H-R (Sequência Principal)



Figura 4.3: Diagrama Hertzsprung-Russell. Nossa amostra de estrelas da sequência principal. Essa figura contém 495 estrelas extraídas de um subconjunto de 713 estrelas com valores de metalicidade conhecidos na literatura e outros calculados através de calibrações usadas neste trabalho quando tais valores não estavam acessíveis.



Figura 4.4: Gráfico de dispersão: Comparamos as metalicidades do catálogo de Pastel, Holmberg e Ammons. Os 144 pontos vermelhos comparam os valores de metalicidade do catálogo de Holmberg com os valores das metalicidades para as mesmas estrelas listadas no catálogo de Pastel. Encontramos que a média dos valores do catálogo de Holmberg difere de 0,05 da média dos valores do catálogo de Pastel, com uma correlação bastante significativa de 0,87. Similarmente, os 149 pontos verdes comparam os valores do catálogo de Ammons aos valores do catálogos de Holmberg, sendo que a média dos valores do Ammons é 0,16 maior do que a média dos valores do Holmberg, com uma correlação de 0,23. Os 88 pontos azuis comparam o catálogo de Ammons ao catálogo de Pastel, onde a média dos valores de Pastel é 0,23 menores do que a média dos valores do catálogo de Ammons, com uma correlação de 0,50. Assim, notamos que correlação entre os valores do Pastel e do Holmberg é muito forte, com uma correlação um pouco menor



Figura 4.5: Gráfico de dispersão: Valores das metalicidades das fontes primárias (catálogos de Pastel, Holmberg e Ammons) comparados aos três outros métodos de obtenção das metalicidades estelares. Comparamos as metalicidades dos catálogos de Pastel, Holmberg e Ammons (plotadas no eixo x como fontes primárias) com as seguintes metalicidades testes plotadas no eixo y: (1) metalicidades "Outras", retiradas do SIMBAD (pontos vermelhos), (2) metalicidades fotométricas uvby derivadas da calibração de Martell e Laughlin (2002) (pontos verdes) e (3) metalicidades fotométricas uvby derivadas da calibração de Nordström et al. 2004 (pontos azuis). As diferenças médias entre as metalicidades da amostra teste e a amostra das fontes primárias ( $[Fe/H]_{teste} - [Fe/H]_{esp}$ ) são -0,12, 0,01 e -0,01, respectivamente, com dispersões de 0,09, 0,05 e 0,02, respectivamente.



Figura 4.6: Diagramas de caixa (boxplots) para a metalicidade, massa, período, excentricidade, temperatura efetiva e magnitude absoluta da amostra.

# Capítulo 5

## Resultados

Inicialmente, foi examinada a relação entre a metalicidade da estrela principal dos sistemas binários e a frequência de companheiras próximas (Tabela 5.1), bem como a relação entre a metalicidade e a massa estelar. Posteriormente, analisou-se a distribuição período-excentricidade das estrelas binárias da sequência principal com o objetivo de verificar a existência de correlações entre esses parâmetros. E para uma melhor compreensão e visualização dos resultados, dividiu-se a amostra em três regiões de interesse: estrelas pobres em metais [Fe/H] < -0, 1, estrelas do tipo-solar  $-0, 1 \leq [Fe/H] \leq 0, 1$  e ricas em metais [Fe/H] > 0, 1. As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam a distribuição de parâmetros desses três grupos.

A Tabela 5.1 apresenta um resumo dos resultados obtidos na análise das estrelas quanto à metalicidade e destaca os percentuais de frequência para cada subconjunto considerado. Nela pode-se ver que num total de 495 estrelas da sequência principal analisadas, 230, ou 46,5 % delas, são pobres em metais; 171, ou 34,5 %, são do tipo-solar e, apenas 94, ou 19 %, são ricas em metais. Essa análise confirma a anticorrelação entre a binaridade estelar e a alta metalicidade da estrela principal observada por [9]. Essa anticorrelação pode ser efeito da evolução estelar, onde as estrelas mais velhas com baixa metalicidade são preservadas por serem menos massivas.

Companheiras	Total	Pobre-metal	Tipo-Solar	Rica-metal
Estrelas	495	230~(46,5~%)	171 (34,5 %)	94 (19 %)

Tabela 5.1: Metalicidade e frequência das estrelas principais com suas companheiras estelares próximas (Percentual geral).

A Figura 5.1 mostra a distribuição do logaritmo da massa da estrela principal em função do período orbital dos sistemas. Observa-se uma tendência para que as estrelas com companheiras estelares próximas sejam pobres em metais, o que pode ser inferido pela escassez de pontos pretos, os quais representam as estrelas ricas em metais, contrastando com os vários pontos cinzas e vazados que representam, respectivamente, as estrelas do tipo-solar e pobres em metais.



Figura 5.1: Massas e períodos das companheiras próximas para as estrelas principais. A amostra de estrelas da sequência principal foi dividida em três grupos definidos de acordo com a sua metalicidade: pobres em metais ([Fe/H] < -0, 1), do tipo-solar ( $-0, 1 \le [Fe/H] \le 0, 1$ ) e ricas em metais ([Fe/H] > 0, 1), pelos pontos brancos, cinzas e pretos, respectivamente.

A Figura 5.2 apresenta o logaritmo da massa em função da metalicidade estelar. Essa Figura não apresenta evidências de correlação entre os parâmetros analisados. O coeficiente de correlação entre a metalicidade estelar e a massa é 0,15 e 0,21 para as estrelas pobres e ricas em metais, respectivamente, e de -0,08 para as estrelas do tipo-solar, confirmando que a metalicidade das companheiras estelares é independente da massa das estrelas e, consequentemente, do tipo espectral. Nota-se, contudo, em torno dos valores [Fe/H] = -0, 2, para as estrelas pobres em metais, e, principalmente em [Fe/H] = 0, para as estrelas do tipo-solar, que esses dois subconjuntos considerados possuem massas estelares em torno de  $\log(M/M_{\odot}) = 0, 2,$  ou seja,  $1, 6M_{\odot}$ . Além disso, vemos que as massas estelares para as estrelas ricas em metais são bastante dispersas, o que não se observa para as estrelas pobres em metais. Portanto, percebe-se que não há correlação linear entre a metalicidade estelar e a massa dos sistemas binários estudados. No entanto, os processos físicos que impulsionam essas correlações ainda não são totalmente compreendidos [19]. Os trabalhos de [41] e [42] sugeriram pela primeira vez que o gás interestelar pode ser expulso das galáxias por explosões de supernovas como saídas galácticas. Eles previram que as galáxias de menor massa têm menor abundância de metais porque suas velocidades de escape mais baixas permitem que o gás recém-enriquecido seja mais eficientemente removido. Não parece haver um mecanismo semelhante atuando na formação estelar, já que essa correlação não é observada.

Outra possibilidade é que a eficiência da formação das estrelas (SFE) seja dependente da massa. Neste cenário, as galáxias menos massivas converteriam seus reservatórios de gás em estrelas ao longo de escalas de tempo mais longas do que as galáxias mais massivas. Portanto, as galáxias menos massivas teriam altas frações de gás por massa estelar e seriam, consequentemente, menos ricas em metal [19]. Os textos de [43] e [44] sugeriram que tanto fluxos de saída ricos em metal quanto a SFE variável devem desempenhar papéis importantes na relação massa-metalicidade.

Variações na função de massa inicial (IMF) também podem ser outro fator que influencia a relação massa-metalicidade. Koppen, Weidner & Kroupa (2007) propõem que uma IMF dependente da taxa de formação estelar (SFR), e portanto dependente da massa estelar, faz com que diferentes galáxias produzam diferentes rendimentos efetivos de oxigênio. Essa hipótese baseia-se na premissa de que a maioria das estrelas se forma em aglomerados estelares e aquelas menores, menos ativamente, são dominadas por aglomerados com massas mais baixas, contendo uma fração menor de estrelas massivas produtoras de oxigênio. Calura & Menci (2009) também afirmam que uma IMF dependente de SFR é necessária para reproduzir a relação observada entre a dispersão de velocidade e o realce estelar alfa  $[\alpha/Fe]$  em galáxias locais de tipo inicial. No entanto, existem atualmente conclusões conflitantes na literatura sobre se essa variável IMF está presente no Universo real (por exemplo, Elmegreen 2006; Weidner & Kroupa 2006; Fumagalli, Da Silva e Krumholz 2011; Gunawardhana et al. 2011) [19].

Na Figura 5.3, onde temos a distribuição da excentricidade em função do logaritmo do período, observa-se uma variação do período de cut-off (período abaixo do qual os sistemas apresentam órbitas circulares [1]) em relação aos três grupos de metalicidade definidos anteriormente. Nota-se que o período de cut-off diminui para o subconjunto de estrelas definidas entre o intervalo de metalicidade  $-0, 1 \leq [Fe/H] \leq 0, 1$ , denominadas estrelas do tipo-solar, quando comparado com o período de cut-off das estrelas pobres em metais, com intervalo de metalicidade dado por [Fe/H] < -0, 1, e aumenta para as estrelas ricas em metais, [Fe/H] > 0, 1, quando comparado com as estrelas do tipo-solar, como indica a curva azul em cada painel da Figura. Essa curva foi modelada a partir da função  $e = 1 - \sqrt[3]{\frac{K}{P}}$ , onde K é proporcional ao período de cut-off. Ou seja, se K aumenta, o período de cut-off aumenta; se K diminui, o cut-off também diminui, de modo que esse parâmetro é um indicativo do período de cut-off para os sistemas binários em questão. Para as estrelas pobres em metais o valor do parâmetro K é 3,4, e para as estrelas do tipo-solar e ricas em metais seus valores são, respectivamente, 2,6 e 4,0, confirmando a variação nos períodos de cut-off para os subconjuntos analisados.

Dessa análise, pode-se concluir que pelo menos em nossa amostra não existe uma relação clara entre o período de cut-off e a metalicidade estelar. Tal relação seria esperada, uma vez que o período de cut-off poderia, em princípio, ser influenciado pela metalicidade. De acordo com o modelo de [45] a eficiência do torque de maré está diretamente ligada à dissipação de energia por fricção turbulenta na envoltória convectiva das estrelas. Por outro lado, espera-se que a fricção turbulenta aumente sua intensidade em meios mais ricos em metais, sendo razoável supor que a metalicidade estelar em estrelas bem misturadas pudesse influenciar em alguma medida o período de cut-off. Nossos dados, entretanto, não parecem suportar tal cenário.



Figura 5.2: Logaritmo da massa (em massas solares) em função da metalicidade estelar [Fe/H]. O coeficiente de correlação entre a metalicidade estelar e a massa é 0,15 e 0,21 para as estrelas pobres e ricas em metais, respectivamente, e de -0,08 para as estrelas do tipo-solar, confirmando que a metalicidade das companheiras estelares é independente da massa das estrelas e, consequentemente, do tipo espectral. Portanto, percebe-se que não há nenhuma correlação entre a metalicidade estelar e a massa dos sistemas binários estudados.



Figura 5.3: Distribuição da excentricidade em função do logaritmo do período orbital em dias. Observa-se uma variação do período de cut-off (período abaixo do qual os sistemas apresentam órbitas circulares [1]) em relação aos três grupos de metalicidade definidos anteriormente. Vemos que o período de cut-off diminui das estrelas pobres em metais para as estrelas do tipo-solar e aumenta das estrelas do tipo-solar para as estrelas ricas em metais, como observa-se através da curva azul em cada painel da figura, modelada a partir da função  $e = 1 - \sqrt[3]{\frac{K}{P}}$  onde K é proporcional ao período de cut-off. No 1º quadro temos a relação período-excentricidade para as estrelas do tipo-solar e nos quadros do meio e de baixo temos essa mesma relação para as estrelas do tipo-solar e ricas em metais, respectivamente.

# Capítulo 6

### Conclusões e perspectivas

#### 6.1 Conclusões

Os objetivos deste trabalho foram identificar e analisar as correlações entre a metalicidade das estrelas principais de sistemas binários e a frequência das suas companheiras próximas; verificar possíveis relações entre a metalicidade e a massa e observar como se comporta a relação período-excentricidade desses sistemas com respeito a metalicidade. Para tanto, coletamos os dados de metalicidade para 495 estrelas binárias da sequência principal com a massa variando de  $0, 9M_{\odot}$  a  $3, 7M_{\odot}$ , a metalicidade estelar de - 2,74 a 1,53, o período orbital de 0,35 a 116675 dias, a magnitude absoluta de - 4,36 a 12,63, a temperatura de 4341 K a 29393 K e a excentricidade de 0 a 0,98.

A análise dos dados mostrou que os sistemas binários são geralmente pobres em metais, onde apenas 19 % desses sistemas binários são ricos em metais; um índice razoavelmente baixo.

Observou-se também que os subconjuntos de estrelas pobres em metais e do tiposolar para valores em torno [Fe/H] = -0, 2 e [Fe/H] = 0 possuem massas estelares em torno de 1,6 massas solares e que a metalicidade das companheiras estelares não depende da massa das estrelas e, consequentemente, do tipo espectral. E por fim, pode-se concluir na nossa análise que, pelo menos em nossa amostra, não existe uma relação clara entre o período de cut-off e a metalicidade estelar.

#### 6.2 Perspectivas

Como perspectivas subsequentes para este trabalho, cientes de que este estudo pode ser melhorado num futuro próximo, propõe-se:

- Refazer a pesquisa utilizando-se de uma amostra mais significativa de estrelas quando mais valores para a metalicidade estelar acessíveis se formarem;
- Expandir a classe de luminosidade da amostra, buscando verificar as mesmas, ou até mesmo outras conclusões a respeito do que foi feito neste texto;
- Investigar melhor a relação entre o período de cut-off no contexto da teoria de maré proposta por Zahn.
- Desenvolver um trabalho comparativo entre estrelas binárias e estrelas hospedeiras de planetas no contexto da metalicidade estelar.

### Referências

- ZAHN, J.-P.; BOUCHET, L. Tidal evolution of close binary stars. ii-orbital circularization of late-type binaries. Astronomy and Astrophysics, v. 223, p. 112–118, 1989.
- [2] GRETHER, D.; LINEWEAVER, C. H. How dry is the brown dwarf desert? quantifying the relative number of planets, brown dwarfs, and stellar companions around nearby sun-like stars. *The Astrophysical Journal*, IOP Publishing, v. 640, n. 2, p. 1051, 2006.
- [3] CARROLL, B. W.; OSTLIE, D. A. An introduction to modern astrophysics. [S.1.]: Cambridge University Press, 2017.
- [4] REID, I. N. On the nature of stars with planets. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, IOP Publishing, v. 114, n. 793, p. 306, 2002.
- [5] SANTOS, N. C.; ISRAELIAN, G.; MAYOR, M. Spectroscopic [fe/h] for 98 extra-solar planet-host stars-exploring the probability of planet formation. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 415, n. 3, p. 1153–1166, 2004.
- [6] FISCHER, D. A.; VALENTI, J. The planet-metallicity correlation. The Astrophysical Journal, IOP Publishing, v. 622, n. 2, p. 1102, 2005.
- [7] BOND, J. et al. The abundance distribution of stars with planets. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Blackwell Publishing Ltd Oxford, UK, v. 370, n. 1, p. 163–173, 2006.
- [8] GONZALEZ, G. The stellar metallicity—giant planet connection. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Blackwell Science Ltd Oxford, UK, v. 285, n. 2, p. 403–412, 1997.

- [9] GRETHER, D.; LINEWEAVER, C. H. The metallicity of stars with close companions. *The Astrophysical Journal*, IOP Publishing, v. 669, n. 2, p. 1220, 2007.
- [10] Batten, A. H. Binary and multiple systems of stars. [S.l.: s.n.], 1973.
- [11] LATHAM, D. W. et al. A survey of proper-motion stars. vi-orbits for 40 spectroscopic binaries. *The Astronomical Journal*, v. 96, p. 567–587, 1988.
- [12] LATHAM, D. Metal-poor spectroscopic binaries. In: Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of the Close Binary Stars. [S.l.: s.n.], 2004. v. 318, p. 276– 282.
- [13] GUNN, J. E.; GRIFFIN, R. Dynamical studies of globular clusters based on photoelectric radial velocities of individual stars. i-m3. *The Astronomical Journal*, v. 84, p. 752–773, 1979.
- [14] DALL, T. H.; BRUNTT, H.; STRASSMEIER, K. Binarity, activity and metallicity among late-type stars-i. methodology and application to hd 27536 and hd 216803. *Astronomy & Astrophysics*, EDP Sciences, v. 444, n. 2, p. 573–583, 2005.
- [15] KEWLEY, L. J.; ELLISON, S. L. Metallicity calibrations and the mass-metallicity relation for star-forming galaxies. *The Astrophysical Journal*, IOP Publishing, v. 681, n. 2, p. 1183, 2008.
- [16] TREMONTI, C. A. et al. The origin of the mass-metallicity relation: insights from 53,000 star-forming galaxies in the sloan digital sky survey. *The Astrophysical Journal*, IOP Publishing, v. 613, n. 2, p. 898, 2004.
- [17] HALBWACHS, J.-L.; MAYOR, M.; UDRY, S. Statistical properties of exoplanetsiv. the period–eccentricity relations of exoplanets and of binary stars. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 431, n. 3, p. 1129–1137, 2005.
- [18] BOER, K. de; SEGGEWISS, W. Stars and Stellar Evolution. [S.l.]: EDP Sciences, 2008. ISBN 9782759803569.
- [19] YATES, R. M.; KAUFFMANN, G.; GUO, Q. The relation between metallicity, stellar mass and star formation in galaxies: an analysis of observational and model data.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, The Royal Astronomical Society, v. 422, n. 1, p. 215–231, 2012.

- [20] PERCY, J. R. Understanding variable stars. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007.
- [21] BÖHM-VITENSE, E. Introduction to stellar astrophysics. [S.I.]: Cambridge University Press, 1989. v. 3.
- [22] BRANCH DAVID; WHEELER, J. C. Supernova explosions. [S.l.]: Springer, 2017.
   (Astronomy and astrophysics library). ISBN 978-3-662-55054-0,3662550547,978-3-662-55052-6.
- [23] GRATTON, R. et al. Abundances for metal-poor stars with accurate parallaxes-ii. αelements in the halo. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 406, n. 1, p. 131–140, 2003.
- [24] ASPLUND, M. et al. The chemical composition of the sun. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Annual Reviews, v. 47, p. 481–522, 2009.
- [25] WHEELER, J. C.; SNEDEN, C. Abundance ratios as a function of metallicity. Annual review of astronomy and astrophysics, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 27, n. 1, p. 279–349, 1989.
- [26] SALARIS, M.; CASSISI, S. Evolution of stars and stellar populations. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005.
- [27] HILDITCH, R. W. An introduction to close binary stars. [S.l.]: Cambridge University Press, 2001.
- [28] ARGYLE R. W. ARGYLE (AUTH.), R. W. A. e. B. Observing and Measuring Visual Double Stars. 2. ed. [S.l.]: Springer-Verlag New York, 2012. (Patrick Moore's Practical Astronomy Series). ISBN 978-1-4614-3944-8,978-1-4614-3945-5.
- [29] BATTEN, A. H. Binary and Multiple Systems of Stars: International Series of Monographs in Natural Philosophy. [S.1.]: Elsevier, 2013. v. 51.
- [30] HEINTZ, W. D. Double Stars. 1. ed. [S.l.]: Springer Netherlands, 1978. (Geophysics and Astrophysics Monographs 15). ISBN 978-90-277-0886-1,978-94-009-9836-0.

- [31] POURBAIX, D. et al. S<sub>B</sub>: The ninth catalogue of spectroscopic binary orbits. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 424, n. 2, p. 727–732, 2004.
- [32] SOUBIRAN, C. et al. The pastel catalogue: 2016 version. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 591, p. A118, 2016.
- [33] HOLMBERG, J.; NORDSTRÖM, B.; ANDERSEN, J. The geneva-copenhagen survey of the solar neighbourhood ii-new uvby calibrations and rediscussion of stellar ages, the g dwarf problem, age-metallicity diagram, and heating mechanisms of the disk. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 475, n. 2, p. 519–537, 2007.
- [34] AMMONS, S. M. et al. The n2k consortium. iv. new temperatures and metallicities for more than 100,000 fgk dwarfs. *The Astrophysical Journal*, IOP Publishing, v. 638, n. 2, p. 1004, 2006.
- [35] WENGER, M. et al. The simbad astronomical database-the cds reference database for astronomical objects. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, EDP Sciences, v. 143, n. 1, p. 9–22, 2000.
- [36] MARTELL, S.; LAUGHLIN, G. An improved uvby-metallicity calibration for metalrich stars. *The Astrophysical Journal Letters*, IOP Publishing, v. 577, n. 1, p. L45, 2002.
- [37] NORDSTRÖM, B. et al. The geneva-copenhagen survey of the solar neighbourhoodages, metallicities, and kinematic properties of ~ 14 000 f and g dwarfs. Astronomy & Astrophysics, EDP Sciences, v. 418, n. 3, p. 989–1019, 2004.
- [38] STROMGREN, B. Spectral classification through photo-electric narrow-band photometry. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 4, n. 1, p. 433–473, 1966.
- [39] HARMANEC, P. Stellar masses and radii based on modern binary data. Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, v. 39, p. 329–345, 1988.
- [40] POPPER, D. M. Stellar masses. Annual review of astronomy and astrophysics, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 18, n. 1, p. 115–164, 1980.

- [41] MATHEWS, W. G.; BAKER, J. C. Galactic winds. The Astrophysical Journal, v. 170, p. 241, 1971.
- [42] LARSON, R. B. Effects of supernovae on the early evolution of galaxies. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Oxford University Press Oxford, UK, v. 169, n. 2, p. 229–245, 1974.
- [43] BROOKS, A. M. et al. The origin and evolution of the mass-metallicity relationship for galaxies: results from cosmological n-body simulations. *The Astrophysical Journal Letters*, IOP Publishing, v. 655, n. 1, p. L17, 2007.
- [44] FINLATOR, K.; DAVÉ, R. The origin of the galaxy mass-metallicity relation and implications for galactic outflows. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, The Royal Astronomical Society, v. 385, n. 4, p. 2181–2204, 2008.
- [45] ZAHN, J.-P. Tidal friction in close binary stars. Astronomy and Astrophysics, v. 57, p. 383–394, 1977.

# Apêndice A

# Tabela

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
3	HD358	-0,47	96,70	13693,00	$0,\!53$	0,71	-0,30
5	HD1273	-0,54	411,45	$5654,\!67$	$0,\!57$	$0,\!15$	$5,\!03$
14	HD3369	-0,20	143,61	15402,00	$0,\!56$	$0,\!78$	-2,18
25	HD6582	-0,80	8393,00	$5336,\!40$	$0,\!30$	0,10	5,78
29	HD7374	-0,70	800,90	12868,50	$0,\!31$	$0,\!67$	0,04
31	HD8556	-0,18	$5895,\!01$	6608, 50	0,92	0,26	2,66
32	HD8634	-0,21	$5,\!43$	$6476,\!50$	$0,\!38$	$0,\!25$	1,75
33	HD9021	-0,25	$134,\!13$	$6297,\!50$	0,24	0,23	$3,\!49$
50	HD14633	-0,42	$15,\!41$		0,70		-2,33
57	HD16620	-0,28	968,34	6485,00	0,23	$0,\!25$	$2,\!67$
80	HD22403	-0,24	$1,\!93$	5437,00	0,04	$0,\!11$	4,42
103	HD27130	-0,21	$5,\!61$	5317,00	0,00	0,10	$4,\!97$
106	HD27295	-0,70	$4,\!45$	11712,60	0,06	$0,\!61$	$0,\!93$
112	HD27935	-0,22	$156,\!38$	$5348,\!50$	$0,\!85$	0,10	4,81
116	HD28291	-0,22	41,66	5554,00	$0,\!66$	$0,\!13$	$5,\!13$
119	HD28634	-0,23	844,60	4833,50	$0,\!15$	0,01	$6,\!38$
134	HD30455	-0,26	45,43	$5679,\!20$	0,34	$0,\!15$	$4,\!51$

Tabela A.1: Parâmetros físicos dos sistemas binários da nossa amostra

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
137	HD30836	-0,31	9,52	22120,00	0,03	1,06	-4,25
141	HD31237	-0,28	3,70	21860,00	0,00	$1,\!05$	-4,36
146	HD32537	-0,13	391,70	7021,83	$0,\!37$	0,30	2,89
154	HD35039	-0,18	293,00	20536,83	$0,\!15$	1,00	-3,26
181	HD40632	-1,55	$12,\!97$		0,00		1,20
189	HD43246	-0,63	$23,\!18$		0,02		0,49
194	HD44982	-0,29	0,59		0,00		4,65
195	HD45088	-0,18	$6,\!99$	4824,20	$0,\!15$	0,01	$5,\!95$
199	HD47415	-0,18	5,70	6164,00	0,00	0,21	3,70
212	HD56986	-0,26	$2238,\!60$	$6915,\!50$	$0,\!35$	0,29	2,22
232	HD70958	-0,31	1,56	6405,80	$0,\!05$	0,24	3,44
236	HD72754	-0,17	33,73		0,04		-2,32
258	HD82610	-0,23	$0,\!65$	6909,00	0,00	0,29	2,05
265	HD86146	-0,32	9,28	6420,33	0,00	0,24	2,81
267	HD88215	-0,15	$28,\!10$	6855,00	$0,\!07$	$0,\!29$	3,12
275	HD91948	-0,11	2,77	6402,00	0,00	0,24	2,53
293	HD100018	-0,22	7,40	6431,00	$0,\!38$	0,24	2,48
295	HD101206	-0,62	12,92	4610,40	0,08	-0,04	6,74
299	HD103483	-0,62	1,73	8350,00	0,00	0,41	-0,41
308	HD107760	-0,71	$5,\!41$	5292,43	$0,\!07$	0,09	4,79
313	HD110326	-0,47	2,70		$0,\!05$		2,22
314	HD110533	-0,12	$5,\!00$	$5975,\!00$	$0,\!03$	$0,\!19$	2,90
317	HD113158	-0,93	2,00		0,30		2,37
326	HD118216	-0,28	2,61	6573,00	0,04	0,26	$1,\!67$
368	HD140629	-0,34	15,89	6100,00	0,00	0,21	2,46
392	HD147787	-0,17	39,89	$6892,\!67$	0,28	0,29	2,25
404	HD150682	-0,14	$2,\!31$	6560,40	0,00	0,26	2,76
405	HD151613	-0,36	$363,\!57$	6719,00	$0,\!35$	$0,\!27$	2,70
408	HD152830	-0,13	$11,\!85$	6772,33	$0,\!31$	0,28	1,87

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
409	HD153597	-0,13	52,11	6294,86	0,21	0,23	3,99
415	HD155555	-0,52	1,68	$5205,\!50$	0,00	0,08	4,38
420	HD157950	-0,21	26,28	6657,00	$0,\!49$	0,27	2,14
426	HD159656	-0,12	10,09	5801,00	$0,\!14$	$0,\!17$	4,53
458	HD170153	-0,58	280,55	6106,80	$0,\!45$	0,21	4,02
465	BD+133683	-2,44	40,27	5334,44	$0,\!41$	0,10	3,33
497	HD178619	-0,13	4,81	6394,00	$0,\!07$	0,24	2,35
498	HD179558	-0,15	2561,00	8653,00	$0,\!19$	0,43	4,62
501	HD181144	-0,14	$5,\!38$	6139,50	0,02	0,21	4,20
502	HD181182	-0,70	3,38		$0,\!03$		-0,96
512	HD184467	-0,22	494,09	5111,00	$0,\!36$	0,06	5,48
529	HD191240	-0,46	4,57		0,30		-1,15
536	HD228545	-1,74	8,43		0,18		1,32
545	HD195987	-0,77	57,32	5080,20	$0,\!30$	0,06	$5,\!35$
551	HD196795	-0,24	920,20		0,75		6,53
560	HD199766	-0,11	2,03	6432,00	$0,\!17$	0,24	1,40
564	HD200391	-0,29	0,70	5800,00	0,02	$0,\!17$	3,84
567	HD202940	-0,38	21,35	$5495,\!50$	$0,\!25$	0,12	5,20
569	HD203345	-0,15	2,24	6203,00	0,06	0,22	3,39
571	HD203454	-0,16	3,24	6069,60	0,02	0,20	4,27
580	HD205539	-0,26	12,21	6862,50	0,32	0,29	1,97
594	HD207956	-1,56	10,62		0,00		$1,\!58$
601	HD210027	-0,14	10,21	6386,25	0,00	0,24	3,42
602	HD210737	-0,52	2,20	6338,50	0,04	0,23	3,09
610	HD214608	-0,29	10957,30	5929,00	0,30	0,18	3,92
613	HD214850	-0,22	7644,52	5481,00	0,72	0,12	3,14
619	HD216916	-0,12	12,10	23025,00	0,04	1,09	-2,24
638	HD220460	-0,51	$6,\!05$	6397,00	0,01	0,24	2,42
640	HD221950	-0,50	45,46	6374,83	$0,\!38$	0,24	3,22

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
646	HD223778	-1,02	7,75	4724,33	0,00	-0,01	6,19
650	HD224930	-0,77	9594,91	$5362,\!96$	0,38	0,10	$5,\!33$
651	HD3443	-0,16	9165,64	5412,83	0,24	0,11	4,61
655	HD81809	-0,30	12589,60	5626,20	$0,\!25$	$0,\!14$	2,91
657	HD189340	-0,17	1786,27	$5884,\!43$	$0,\!59$	0,18	3,92
658	HD191854	-0,15	31124,90	5681,00	0,49	$0,\!15$	3,85
661	HD32092	-0,26	186,28	$6265,\!00$	0,34	0,23	3,80
662	HD32093	-0,23	186,28	4966,00	0,34	0,03	$5,\!25$
664	HD237287	-0,12	330,33	4984,80	$0,\!65$	0,04	$5,\!99$
666	HD166866	-0,16	1247,20	$6253,\!00$	0,98	0,22	2,12
667	HD161198	-0,42	2558,40	$5268,\!40$	0,94	0,09	$5,\!65$
674	HD179484	-0,25	522,70	$5329,\!00$	0,61	0,10	4,13
681	HD174457	-0,18	840,80	$5834,\!67$	0,23	$0,\!17$	3,84
683	HIP80346	-0,44	1366,10		$0,\!67$		10,74
690	HD216219	-0,39	4098,04	$5640,\!50$	0,10	$0,\!15$	2,62
698	HD16646	-0,55	328,91	$6497,\!50$	0,11	$0,\!25$	1,13
702	HD6397	-0,15	50,39	$6625,\!00$	$0,\!50$	0,26	$1,\!95$
703	HD44192	-0,14	27,02	6064,00	$0,\!38$	0,20	3,43
704	HD92823	-0,16	3,87	6068,00	0,00	0,20	2,78
705	HD206058	-0,11	$5,\!88$	6231,00	0,07	0,22	3,48
707	BD + 15150	-1,72	346,38	$5518,\!00$	$0,\!37$	$0,\!13$	4,75
708	BD + 72245	-0,28	7,54		0,01		5,79
709	BD+04865	-0,50	8,66		0,01		$6,\!59$
710	BD+381670	-0,70	85,05		0,24		$5,\!54$
713	HD106516	-0,71	853,20	$6152,\!94$	$0,\!05$	0,21	4,34
715	HD200580	-0,64	377,82	5817,32	0,09	$0,\!17$	3,57
716	BD+114725	-0,85	1680,00	$5411,\!50$	0,17	$0,\!11$	6,21
717	HIP111195	-1,48	491,50	$5859,\!40$	0,18	0,18	5,48
719	BD+384955	-2,66	183,85	$5153,\!64$	0,77	$0,\!07$	6,76

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
720	HIP117522	-2,40	2269,00	5680,00	0,20	0,15	4,60
721	BD-122669	-1,49	384,30	6942,00	0,08	0,30	4,04
722	HD97916	-1,05	663,18	$6311,\!56$	$0,\!05$	0,23	3,64
723	HD95363	-0,18	7,85	6213,00	0,02	0,22	3,13
725	HD202908	-0,11	$3,\!97$	$5958,\!00$	0,00	$0,\!19$	3,49
727	HD166285	-0,22	199,55	$6291,\!67$	0,30	0,23	2,31
732	HD112914	-0,28	710,60	4853,00	0,33	0,01	6,68
736	HD43358	-0,13	$2,\!18$	$6521,\!00$	0,00	$0,\!25$	$1,\!53$
749	HD183255	-0,80	166,84	4747,00	0,14	-0,01	6,01
762	HD129903	-0,31	$0,\!35$	$6176,\!00$	0,00	0,22	4,36
767	HD7205	-0,27	18,01	$5268,\!00$	0,20	$0,\!09$	3,99
776	HD17084	-0,43	$0,\!95$	$5281,\!00$	0,00	$0,\!09$	5,01
777	HD26354	-0,57	2,56	4851,00	0,00	0,01	5,88
778	HD8357	-1,12	14,30	4904,00	0,18	0,02	4,02
792	HD14384	-0,26	4,22	$6510,\!00$	0,00	$0,\!25$	2,74
796	HD185082	-0,21	39,62	$6091,\!00$	0,49	0,20	3,28
798	HD26337	-0,46	1,95	$5513,\!00$	0,00	0,13	3,28
799	HD237786	-0,80	0,48		0,00		$5,\!39$
805	HD204613	-0,43	878,00	$5769,\!62$	$0,\!13$	$0,\!16$	4,36
806	HD53299	-0,15	5,72	$5646,\!00$	0,00	$0,\!15$	4,66
810	BD+12853	-1,13	9467,00	$5301,\!00$	0,41	$0,\!09$	5,98
811	HD53424	-0,58	612,30	$5713,\!00$	0,27	0,16	$3,\!95$
812	HD64606	-0,90	450,40	$5194,\!67$	0,34	0,08	6,01
813	HD77891	-0,37	5614,00		0,94		4,98
814	BD+282103	-0,14	2167,00		0,41		$5,\!35$
815	BD+174708	-1,67	219,19	$5996,\!53$	0,32	0,19	4,09
817	BD+324645	-0,16	5546,00	5445,00	0,38	0,12	4,84
822	HD169822	-0,14	$293,\!50$	5565, 25	0,58	0,13	5,67
823	BD+302130	-0,40	$6,\!57$	5646,14	0,01	$0,\!15$	4,09

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
824	BD+362193	-0,66	7,15		0,01		5,06
825	HIP73800	-0,89	$265,\!59$	5601,00	$0,\!45$	0,14	$5,\!45$
828	HD221613	-0,36	6083,00	$5794,\!00$	$0,\!52$	$0,\!17$	4,54
831	HD15777	-0,40	2332,00	$5761,\!33$	$0,\!54$	$0,\!16$	4,38
832	HD210631	-0,37	3822,00	5767,00	$0,\!37$	0,16	4,15
833	HD213646	-0,54	2918,00	5166,00	0,40	0,07	5,47
834	HD237354	-0,68	1450,00	$5736,\!60$	$0,\!51$	0,16	4,73
835	HIP52668	-0,85	8573,00		0,24		5,78
836	BD+541399	-1,75	206,44		0,72		$1,\!53$
837	HD107582	-0,66	6864,00	$5617,\!44$	$0,\!50$	0,14	$5,\!16$
838	HIP91129	-2,74	32,39	6219,33	$0,\!47$	0,22	4,17
840	BD+592723	-1,82	9632,00	6068, 10	$0,\!88$	0,20	5,22
843	HD172323	-0,35	1730,60	5890,83	$0,\!27$	0,18	4,47
844	HD133621	-0,43	467,20	$5720,\!50$	0,22	0,16	4,00
845	BD+77876	-0,41	3844,00	5213,00	$0,\!47$	0,08	5,42
846	BD+68138	-0,47	4561,00		$0,\!39$		4,19
852	HIP65206	-1,82	6376,00	$5848,\!67$	$0,\!15$	$0,\!17$	2,67
853	BD+75523	-0,15	1620,30		$0,\!69$		4,36
854	BD+004801	-0,64	2662,00	5238,00	$0,\!63$	0,08	5,88
855	HD190061	-0,23	47,58		$0,\!42$		$5,\!03$
856	HD212857	-0,30	682,90	5890,00	$0,\!41$	0,18	4,39
859	BD+18115	-0,31	4741,00	5146,00	$0,\!27$	0,07	5,40
860	HD7640	-0,59	$274,\!56$		0,34		4,50
863	BD+251858	-0,84	733,50	$5361,\!75$	$0,\!21$	0,10	5,05
864	BD+112021	-0,52	193,79	$5219,\!25$	0,79	0,08	5,61
865	BD+102216	-1,53	1841,00		$0,\!16$		6,47
866	HIP45554	-0,80	1956,00	$5939,\!50$	0,32	0,19	3,76
867	HD20512	-0,19	3089,40	$5239,\!00$	$0,\!86$	0,08	3,64
869	BD+212244	-1,13	1779,00	$5455,\!60$	$0,\!31$	0,12	5,18

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
870	BD+082658	-0,45	1042,60		0,42		6,36
872	BD+072634	-0,61	$305,\!11$	$5384,\!00$	$0,\!59$	$0,\!11$	5,71
873	HD117635	-0,44	1188,00	5255,75	0,64	0,09	4,87
875	HD118981	-0,25	14,50	$5933,\!67$	$0,\!48$	$0,\!19$	4,01
877	HIP68527	-1,63	18,74	$5031,\!40$	0,02	$0,\!05$	7,14
878	HD132756	-0,18	2525,20	$5538,\!50$	$0,\!39$	$0,\!13$	4,33
879	HD134113	-0,77	201,72	5727,20	0,90	$0,\!16$	4,20
880	HD217231	-0,61	1623,00	$5752,\!50$	0,29	0,16	4,92
883	HD15096	-0,41	3600,00	$5259,\!00$	0,01	0,09	5,71
884	BD+01604	-0,52	179,02		0,26		6,24
885	BD+46610	-0,84	183,42	$5917,\!50$	0,28	0,18	4,97
886	BD+45919	-0,80	3900,00	$5679,\!33$	0,24	$0,\!15$	4,72
887	HD54690	-0,18	$352,\!52$	$5530,\!00$	$0,\!38$	$0,\!13$	4,72
888	HIP35756	-1,04	190,49	$5984,\!33$	0,40	$0,\!19$	4,23
889	HD77065	-0,30	120,44	$5054,\!00$	0,81	$0,\!05$	6,26
891	HD152028	-0,22	9,97	$6912,\!00$	0,08	0,29	1,40
892	HD83509	-0,50	$25,\!61$	$6157,\!50$	0,62	0,21	3,11
893	HD95547	-0,52	122,86	$6348,\!50$	$0,\!54$	0,23	2,87
894	HD153527	-0,20	5900,00	6076,00	$0,\!78$	0,20	2,72
897	HD163621	-0,75	3,30	$4915,\!00$	0,00	0,02	$5,\!47$
900	HD191262	-0,17	$5,\!43$	$5654,\!00$	0,00	$0,\!15$	4,17
905	HD178450	-0,36	$2,\!13$	$5231,\!00$	0,00	0,08	5,54
919	HD114762	-0,72	83,90	5867,88	$0,\!35$	$0,\!18$	4,26
920	HD29587	-0,58	1481,00	$5657,\!50$	$0,\!33$	$0,\!15$	$5,\!03$
921	BD+1313	-0,82	1,84	$4966,\!67$	0,00	0,03	5,40
926	HD221264	-0,12	1,92	$6211,\!50$	0,04	0,22	2,29
931	HD144110	-0,54	$1,\!67$	$5321,\!00$	0,00	0,10	4,74
940	HD89707	-0,42	298,48	$5961,\!00$	$0,\!93$	$0,\!19$	4,47
944	HD130819	-0,13	5227,00	6679,20	$0,\!36$	$0,\!27$	3,28

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
948	HD111980	-1,08	12,43	5759,71	0,00	0,16	3,84
960	HD156051	-0,37	556,21	6354,50	0,86	0,24	2,97
961	HD169268	-0,27	$10,\!37$	6886,00	0,43	0,29	2,25
963	HD118157	-0,31	1869,80	5781,00	0,08	$0,\!16$	4,11
966	HD193468	-0,23	289,42	6430,00	$0,\!57$	0,24	3,06
973	HD45194	-0,19	13,03	6126,00	0,39	0,21	2,21
976	HD95241	-0,27	3949,00	5903,75	0,76	$0,\!18$	2,74
978	HD127029	-0,42	4,01	5948,00	0,00	$0,\!19$	3,65
979	HD132031	-0,14	1,68	5907,00	0,00	$0,\!18$	3,33
980	HD132832	-0,17	20,21	6134,50	0,61	0,21	2,58
981	HD148253	-0,21	132,80	6253,50	0,16	0,22	2,78
982	HD150710	-0,12	28,01	6088,50	0,26	0,20	3,29
984	HD217679	-0,45	$5,\!21$	6114,50	0,00	0,21	3,09
1006	HD31855	-0,27	2678,00	6862,00	$0,\!55$	0,29	2,81
1013	HD116127	-0,11	548,03	$6515,\!00$	0,88	$0,\!25$	3,08
1014	HD108576	-0,27	1968,60	6001,00	0,66	$0,\!19$	3,51
1034	HD35337	-0,31	106,70	$23865,\!50$	$0,\!50$	1,12	-3,47
1043	HD59450	-0,41	2708,20	5844,00	0,72	$0,\!17$	4,46
1044	HD71149	-0,21	1498,30	5687,00	0,69	$0,\!15$	5,02
1045	HD110025	-0,13	54,88	$6459,\!50$	$0,\!35$	$0,\!25$	2,80
1061	HD135991	-0,22	151,01	6006,00	$0,\!57$	$0,\!19$	4,44
1062	HD140667	-0,37	978,42	5916,00	0,20	$0,\!18$	5,20
1063	HD158222	-0,16	206,09	5681,00	0,41	$0,\!15$	4,76
1064	HD217924	-0,37	2402,70	$5730,\!50$	0,84	0,16	5,01
1065	HD35956	-0,22	1426,71	5917,67	0,62	$0,\!18$	4,40
1083	HD89499	-2,10	$5,\!57$	4996,40	0,00	0,04	3,41
1088	HD3454	-0,59	8,26	6126,30	0,00	$0,\!21$	4,13
1089	HD6611	-0,13	74,14	6132,50	0,23	$0,\!21$	3,74
1090	HD14938	-0,35	4,32	6154,50	0,00	$0,\!21$	$3,\!55$

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
1091	HD28907	-0,33	2,06	5861,00	0,00	0,18	4,48
1092	HD41255	-0,17	163,26	6177,00	$0,\!57$	0,22	3,36
1095	HD91962	-0,24	170,30	5675,00	$0,\!14$	$0,\!15$	4,23
1096	HD62196	-0,72	1163,40	6889,00	0,01	0,29	3,59
1102	HD197214	-0,23	164,28	5599,75	$0,\!59$	$0,\!14$	5,20
1104	HD10800	-0,17	19,37	5870,00	$0,\!10$	$0,\!18$	3,71
1106	HD12759	-0,15	4,78	5623,00	0,00	$0,\!14$	3,84
1107	HD17134	-0,11	$2443,\!17$	5669,00	$0,\!50$	$0,\!15$	3,84
1108	HD41742	-0,22	221,38	6343,50	$0,\!83$	0,23	3,77
1109	HD110555	-0,14	57,32	5721,00	0,30	0,16	3,84
8	HD2070	-0,01	115,33	5977,50	$0,\!33$	$0,\!19$	4,12
10	HD2421	-0,10	3,96	9705,00	$0,\!15$	$0,\!50$	0,63
18	HD4089	-0,03	4,82	6302,50	0,02	$0,\!23$	2,33
21	HD4382	0,00	33,75	13046,00	$0,\!41$	0,68	-1,54
28	HD7331	0,01	$5,\!33$	6468,00	$0,\!16$	$0,\!25$	2,53
39	HD11443	0,00	1,77	6336,33	$0,\!07$	$0,\!23$	1,95
41	HD11636	0,05	106,99	8322,67	0,88	$0,\!41$	1,33
48	HD14214	0,09	93,29	6037,64	$0,\!52$	0,20	3,61
52	HD15064	0,08	142,33	5854,00	0,29	$0,\!17$	3,70
53	HD15814	0,05	19,38	6000,50	$0,\!39$	$0,\!19$	3,71
55	HD16246	0,02	1,11	6404,40	0,06	0,24	3,46
89	HD23964	-0,10	16,73	10080,00	0,00	$0,\!52$	0,73
101	HD26874	0,03	$55,\!13$	5651,00	0,39	$0,\!15$	4,28
104	HD27149	-0,05	75,66	5722,00	0,26	0,16	4,23
109	HD27691	0,08	4,00	6220,00	0,06	0,22	3,63
117	HD28319	0,01	140,73	7820,00	0,75	$0,\!37$	0,10
118	HD28394	0,10	238,87	6262,00	0,24	0,23	3,85
138	HD30869	-0,02	143,53	6446,70	$0,\!61$	$0,\!25$	3,19
163	HD36822	0,02	3068,03	29393,33	0,22	1,32	-3,01

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
168	HD37202	0,05	132,91	21306,50	0,16	1,03	-2,56
178	HD40183	0,00	$3,\!96$	8734,67	0,00	0,44	-0,10
185	HD41753	-0,05	131,21	18340,00	0,64	$0,\!91$	-1,65
188	HD42954	-0,03	23,81	8019,00	0,74	0,39	$0,\!15$
198	HD47105	-0,06	$4613,\!56$	9212,60	0,90	$0,\!47$	-0,60
210	HD54371	0,06	32,81	$5623,\!50$	0,00	$0,\!14$	$5,\!14$
215	HD57167	-0,03	1,14	6911,00	0,00	0,29	2,48
217	HD58728	0,04	1,93	6592,00	$0,\!03$	0,26	2,54
219	HD61421	-0,01	14847,10	6558,70	$0,\!36$	0,26	2,68
239	HD75767	-0,04	$10,\!25$	$5815,\!50$	$0,\!10$	$0,\!17$	4,66
242	HD76943	-0,02	7980,70	6591,00	$0,\!15$	0,26	2,88
244	HD77350	0,08	1401,40	10541,00	$0,\!35$	$0,\!55$	-0,28
249	HD79028	-0,03	16,24	$5901,\!57$	0,09	$0,\!18$	3,72
257	HD81858	0,02	42678,50	5965,00	$0,\!56$	$0,\!19$	2,72
262	HD85217	-0,07	$3,\!05$	6473,00	0,00	$0,\!25$	2,93
278	HD93030	-0,09	$2,\!14$		0,24		-2,91
286	HD96511	-0,01	18,89	$5625,\!00$	$0,\!28$	$0,\!14$	3,90
291	HD99028	0,07	70126,50	6710,33	$0,\!54$	$0,\!27$	2,08
297	HD102713	-0,05	32,86	6414,00	0,09	0,24	$1,\!52$
312	HD110317	0,00	1,46	6663,50	0,09	$0,\!27$	$0,\!51$
316	HD110951	-0,03	38,32	7113,00	$0,\!07$	$0,\!31$	$0,\!85$
328	HD119756	0,05	9,94	6883,33	$0,\!25$	0,29	2,81
329	HD120005	-0,01	39,28	6219,50	0,79	0,22	$3,\!25$
330	HD120064	0,06	36,04	6299,00	0,49	0,23	$1,\!36$
337	HD122742	0,00	3617,00	$5524,\!20$	0,48	$0,\!13$	$5,\!17$
339	HD123999	-0,03	9,60	6233,00	$0,\!19$	0,22	2,00
340	HD124425	0,03	2,70	6398,00	0,00	$0,\!24$	$2,\!16$
348	HD129132	-0,08	$101,\!56$	6675,00	$0,\!04$	$0,\!27$	1,01
349	HD131511	0,10	$125,\!40$	5233,12	$0,\!51$	0,08	$5,\!69$

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
350	HD131861	0,07	3,55	6637,00	0,00	0,27	3,22
359	HD137052	-0,09	$226,\!95$	6439,12	0,68	$0,\!25$	2,37
360	HD137107	0,00	15189,10	6010,80	0,28	$0,\!19$	3,64
402	HD150265	0,08	1,70		0,09		0,34
403	HD150680	0,04	12596, 10	5708,06	$0,\!45$	$0,\!15$	2,64
407	HD151890	0,03	1,45		0,00		-4,01
422	HD158614	-0,01	$16924,\!40$	5607,80	$0,\!17$	$0,\!14$	4,23
427	HD159876	-0,04	$2,\!29$	7097,00	0,00	0,31	0,99
428	HD160762	0,08	113,80	18705,83	0,43	0,92	-2,09
445	HD165341	-0,04	32188,80	$5112,\!60$	$0,\!50$	0,06	$5,\!50$
450	HD167954	0,08	120,01	$6169,\!00$	0,04	0,21	$3,\!95$
467	HD234677	0,10	$5,\!98$	4340,67	0,36	-0,10	7,12
470	HD173282	0,10	33,16	$6446,\!50$	0,72	$0,\!25$	2,58
487	HD175813	-0,10	0,59	$6776,\!00$	0,02	0,28	-0,19
499	HD180163	-0,01	$56,\!40$	17360,00	$0,\!53$	$0,\!87$	-3,09
504	HD181470	-0,05	10,39	10268,00	$0,\!52$	$0,\!53$	-0,29
515	HD185912	0,02	7,64	6488,00	$0,\!54$	$0,\!25$	2,89
523	HD189783	0,02	4,47	$6534,\!00$	0,10	0,26	2,46
547	HD196524	0,02	9733,70	$6374,\!00$	0,48	0,24	1,26
556	HD199532	0,07	9,07	6837,00	0,39	0,29	1,85
563	HD200334	0,08	19,70	6300,00	0,19	0,23	3,16
565	HD202275	-0,07	$2082,\!10$	$6299,\!00$	0,46	0,23	3,14
573	HD204038	0,03	0,79		0,12		2,06
577	HD205021	-0,09	10,89	$26886,\!67$	$0,\!52$	1,23	-3,08
581	HD205767	-0,03	8016,00	7808,00	$0,\!54$	$0,\!37$	0,99
584	HD206301	-0,04	$13,\!17$	5707,00	0,18	$0,\!15$	2,60
589	HD207330	-0,10	72,02	18680,00	0,34	0,92	-3,52
592	HD207826	-0,05	2,73	6809,00	0,03	0,28	1,57
603	HD210763	0,05	42,38	6340,50	0,62	0,23	$1,\!53$

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
607	HD213420	-0,04	880,00	20320,00	0,30	0,99	-3,60
612	HD214686	-0,06	21,70	6201,50	$0,\!41$	0,22	3,34
624	HD217792	-0,05	$178,\!32$	6787,00	$0,\!53$	0,28	2,84
631	HD219018	0,06	10633,40	5870,00	$0,\!41$	0,18	3,62
644	HD222217	-0,04	2,34		$0,\!14$		1,70
645	HD222317	0,06	6,20	5751,33	0,02	$0,\!16$	3,57
649	HD224355	-0,03	12,16	6655,75	$0,\!31$	$0,\!27$	1,45
652	HD10009	-0,10	10540,00	6241,00	0,80	0,22	3,33
654	HD27991	0,07	$2295,\!09$	6410,00	0,72	0,24	3,10
656	HD163840	0,06	881,81	5841,00	$0,\!41$	$0,\!17$	4,04
659	HD213429	-0,04	630,14	6008,50	$0,\!38$	$0,\!19$	4,12
660	HD15144	0,03	3,00		$0,\!03$		1,79
663	HD35317	0,07	$22,\!58$	6471,00	$0,\!61$	$0,\!25$	2,31
671	HD123	$0,\!05$	47,69	5698,75	$0,\!61$	$0,\!15$	4,44
673	HD28271	-0,10	460,70	6237,50	0,31	0,22	2,71
678	HD34101	-0,06	803,51	$5533,\!50$	0,08	$0,\!13$	4,94
679	HD65430	-0,08	3138,00	$5158,\!67$	0,32	$0,\!07$	5,86
682	HD208776	-0,08	$2624,\!00$	5980, 50	$0,\!27$	$0,\!19$	3,82
687	HD189578	$0,\!05$	14,04	6910,00	0,06	0,29	2,52
700	HD195850	-0,08	37,94	6413,00	0,18	0,24	$3,\!35$
711	HD233640	0,10	16,93		$0,\!02$		$5,\!37$
718	HD218568	0,09	1148,00		0,23		$5,\!39$
724	HD74057	-0,10	31,22	6749,00	$0,\!47$	0,28	3,75
731	HD109179	-0,04	289,02	5883,00	0,82	$0,\!18$	3,93
733	HD93765	-0,10	$28,\!50$	6720,00	$0,\!55$	$0,\!27$	$1,\!59$
734	HD172103	0,10	39,53	7178,50	$0,\!37$	0,32	1,58
735	HD60803	0,01	26,19	5968,00	0,22	$0,\!19$	2,69
737	HD171802	0,10	1,48	6602,00	0,00	0,26	2,43
738	HD483	0,01	$23,\!50$	5846,00	$0,\!51$	$0,\!17$	$3,\!50$

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
748	HD160346	-0,03	83,73	4908,88	0,23	0,02	6,38
759	HD90442	-0,04	1180,60	5222,50	0,87	0,08	5,94
793	HD19457	0,00	1,90	6388,00	0,00	0,24	2,70
795	HD37013	-0,08	49,38	6332,00	0,10	0,23	2,81
800	HD115955	0,06	$0,\!41$	6179,00	0,00	0,22	2,75
801	HD163151	0,09	0,80	6620,00	0,00	0,26	2,08
809	HD7320	-0,03	14520,00		0,84		$5,\!63$
816	BD+244592	0,05	3977,00		0,33		5,84
818	BD+345002	-0,09	1756,00	5349,00	$0,\!53$	$0,\!10$	5,47
819	HD224543	0,08	25,42	$5817,\!25$	0,40	$0,\!17$	3,96
821	HD117126	-0,06	207,33	5725,44	$0,\!35$	$0,\!16$	4,13
826	HD118742	0,00	$11,\!59$	5474,00	0,08	$0,\!12$	4,38
829	HD2057	0,09	$355,\!50$	6041,00	$0,\!31$	0,20	4,39
830	HD8054	-0,06	847,70	6164,50	0,81	0,21	3,73
847	HD20507	-0,01	26,77	6684,00	0,14	$0,\!27$	3,32
850	HD40891	0,03	48,94	5131,33	$0,\!52$	0,06	$5,\!99$
851	HD56196	-0,10	2431,00	5820,00	0,00	$0,\!17$	4,31
862	HD66553	0,04	75,89	5207,00	0,86	0,08	5,72
881	HD221914	-0,05	1810,00	5570,71	0,33	$0,\!14$	4,87
882	HD10443	-0,01	4026,00		0,12		4,71
895	HD111306	-0,07	$61,\!50$	6666,50	0,78	$0,\!27$	2,75
903	HD106947	-0,03	58,73	6191,00	0,30	0,22	2,33
906	HD18955	-0,05	43,32	5296,00	0,76	0,09	5,02
907	HD17081	0,03	2722,00	12900,00	0,00	$0,\!67$	-1,41
930	HD111123	-0,08	1828,00	27293,33	0,38	$1,\!25$	-3,92
937	HD10307	0,03	7122,00	5885,20	0,42	0,18	4,45
938	HD13612	0,05	94,79	6067,67	0,69	0,20	2,33
939	HD81997	0,01	2807,00	$5339,\!50$	0,33	0,10	3,43
942	HD114260	-0,09	20,49	5498,00	$0,\!56$	0,12	5,19

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
946	HD160269	-0,04	27087,00	5902,75	0,19	0,18	4,49
947	HD176051	-0,10	22423,00	5974,20	$0,\!25$	$0,\!19$	4,32
949	HD187258	0,05	25,80	6887,50	$0,\!37$	0,29	2,02
956	HD120544	0,06	89,15	6293,00	$0,\!63$	0,23	1,77
957	HD123280	-0,07	36,36	6440,00	$0,\!05$	$0,\!25$	4,48
959	HD37070	-0,04	81,46	6783,00	0,14	0,28	3,14
969	HD112138	0,02	139,01	$5615,\!50$	$0,\!15$	$0,\!14$	3,83
971	HD17922	0,02	314,80	6234,00	0,31	0,22	3,32
974	HD47467	0,10	836,00	$5962,\!50$	0,49	$0,\!19$	2,74
975	HD74243	0,02	713,00	6702,00	$0,\!35$	$0,\!27$	2,46
977	HD120510	0,02	28,40	$6395,\!50$	$0,\!55$	0,24	2,88
983	HD169006	-0,10	164,21	6274,00	0,36	0,23	2,98
985	HD219420	-0,04	466,00	6154,00	0,10	0,21	3,52
987	HD103613	-0,09	23,07	6236,00	$0,\!50$	0,22	2,49
989	HD71636	-0,05	$5,\!01$	6774,00	0,00	0,28	2,54
999	HD123732	-0,09	0,39	6096,00	0,00	0,21	3,54
1007	HD19485	0,04	$6,\!25$	5605,00	0,00	$0,\!14$	3,76
1010	HD16399	-0,08	269,03	$6527,\!50$	0,13	$0,\!25$	1,82
1027	HD219877	-0,01	21,24	6707,75	0,60	$0,\!27$	2,85
1031	HD183752	-0,10	0,71	6843,00	0,00	0,29	1,87
1059	HD113449	-0,08	216,48	$5274,\!67$	0,26	0,09	5,97
1060	HD100167	0,06	$60,\!58$	5837,00	0,68	$0,\!17$	4,63
1066	HD43587	-0,04	12489,96	5910,83	0,80	$0,\!18$	4,27
1067	HD143333	0,08	1144,19	6337,25	0,11	0,23	2,89
1069	HD28635	0,09	2809,20	6123,86	$0,\!52$	0,21	2,23
1086	HD224974	0,08	10,66	6253,50	0,34	0,22	2,77
1087	HD2085	-0,01	7,35	6373,00	0,00	0,24	3,88
1093	HD70937	0,01	27,90	6529,00	0,39	$0,\!25$	1,98
1094	HD104471	0,00	148,14	6061,00	0,43	0,20	3,16

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
1097	HD212697	0,06	257,31	5769,00	0,63	0,16	4,04
1099	HD212754	-0,08	929,91	6193,25	0,44	0,22	2,78
1100	HD101563	-0,02	6528,00	5915,00	$0,\!07$	0,18	3,35
1101	HD120690	-0,04	3827,30	5589,83	$0,\!36$	$0,\!14$	4,93
1103	HD200790	-0,06	1975,76	6150,44	$0,\!39$	0,21	3,10
1105	HD18198	0,07	14,09	5925,00	$0,\!33$	$0,\!18$	$3,\!56$
1110	HD128642	-0,06	178,71	5362,33	$0,\!17$	0,10	5,42
43	HD12869	0,18	15,29		$0,\!61$		1,23
56	HD16589	$0,\!15$	$3,\!17$	6221,00	0,00	0,22	2,84
58	HD16739	0,14	330,99	6103,00	0,66	0,21	2,95
63	HD17094	0,20	1202,20		$0,\!46$		2,21
68	HD18778	0,26	11,66	8690,00	0,29	0,44	1,96
69	HD18894	$0,\!17$	363,10	6093,00	$0,\!69$	0,21	3,64
96	HD25823	0,23	7,23	12160,50	$0,\!18$	$0,\!63$	-0,72
107	HD27483	0,13	3,06	6549,00	0,02	0,26	2,84
108	HD27628	0,14	$2,\!14$	7307,00	0,04	0,33	2,42
111	HD27749	$0,\!47$	8,42	7432,00	0,00	0,34	2,27
113	HD28033	0,13	8,55	6229,80	0,23	0,22	4,03
120	HD28910	0,12	488,50	7634,67	0,09	0,36	1,30
122	HD283750	0,34	1,79	4831,00	0,00	0,01	6,84
136	HD30738	$0,\!15$	5,75	6337,25	$0,\!35$	0,23	3,72
149	HD33254	0,42	155,83	7871,25	$0,\!67$	0,38	1,77
183	HD41357	0,45	28,28		$0,\!56$		0,01
191	HD43905	0,27	$6,\!50$	6797,00	0,02	0,28	$1,\!56$
193	HD44691	0,24	9,95	8150,67	0,08	0,40	0,93
200	HD48915	0,45	18276,70	9794,80	$0,\!59$	$0,\!51$	1,45
209	HIP34603	0,19	10,43		$0,\!34$		12,63
218	HD60179	0,42	9,21	10069,00	$0,\!50$	$0,\!52$	$0,\!59$
245	HD78316	0,24	6,39	13644,25	$0,\!13$	0,70	-0,63

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
246	HD78362	0,24	1062,40	6457,50	0,48	0,25	1,81
269	HD89822	0,12	$11,\!58$	$10728,\!50$	0,26	$0,\!56$	0,12
276	HD92139	0,26	10,21		$0,\!51$		1,72
277	HD92168	0,11	7,80	6090, 50	0,02	0,20	2,39
300	HD103578	0,18	6,63	8612,33	0,02	0,43	-0,65
306	HD106112	0,50	$1,\!27$		0,00		2,50
310	HD108642	0,23	11,78	8139,50	0,06	0,40	1,47
321	HD115968	0,20	$16,\!19$	5494,00	0,29	$0,\!12$	4,49
324	HD116657	0,24	$175,\!55$	8809,50	$0,\!46$	0,44	0,33
335	HD121370	0,25	$494,\!17$	$6045,\!36$	0,26	0,20	2,41
338	HD123299	0,12	51,42	$9891,\!33$	0,40	$0,\!51$	-1,21
343	HD124689	1,53	$0,\!61$	7031,00	0,00	0,30	2,39
347	HD128620	0,21	$29188,\!10$	$5529,\!86$	$0,\!52$	$0,\!13$	5,70
362	HD137909	0,76	$3833,\!58$	8762,67	$0,\!41$	0,44	0,94
370	HD141556	0,29	15,26	10869,50	0,00	$0,\!57$	-0,03
377	HD142926	0,27	$46,\!19$		0,34		-0,12
379	HD143807	0,21	$35,\!47$	11126,88	$0,\!56$	$0,\!58$	-0,18
383	HD144284	0,21	$3,\!07$	6097,22	0,04	0,21	2,41
386	HD145389	0,16	560, 50	11857,62	$0,\!47$	0,62	0,00
396	HD148367	0,14	27,22	7961,00	0,74	0,38	1,75
429	HD160922	0,40	$5,\!28$	$6647,\!50$	0,04	$0,\!27$	2,92
464	HD170829	0,11	26,39	$5409,\!50$	0,18	$0,\!11$	3,72
466	HD171653	0,80	14,36	7522,00	$0,\!31$	$0,\!35$	0,94
468	HD172044	0,28	$1675,\!00$	14450,00	$0,\!16$	0,74	-0,61
471	HD173524	0,24	9,81		0,20		-0,21
473	HD173648	0,39	4,30	7945,25	0,01	0,38	0,97
477	HD174714	0,26	1,64		$0,\!05$		0,09
478	HD174933	0,64	$6,\!36$	$12693,\!50$	$0,\!12$	0,66	-0,31
507	HD182490	0,64	$7,\!39$		0,00		1,08

Tabela A.1 – Continuação da página anterior

	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
520	HD188728	0,47	3,32	9162,00	0,00	0,47	1,28
524	HD190229	0,77	$61,\!54$	13432,00	0,49	$0,\!69$	-0,72
531	HD191692	0,20	$17,\!12$	10625,33	$0,\!61$	$0,\!55$	-1,48
543	HD195725	0,14	840,60	7536,33	$0,\!03$	$0,\!35$	1,11
548	HD196544	$0,\!17$	11,04	9048,50	0,23	0,46	1,74
555	HD198743	$0,\!57$	1566,00	7090,00	0,23	0,31	1,34
579	HD205234	0,21	8,44	6851,00	0,00	0,29	1,10
585	HD206546	0,74	$6,\!37$		0,00		1,02
588	HD207098	0,25	1,02		0,01		2,49
593	HD207857	0,20	338,20	14148,00	$0,\!58$	0,73	-1,39
598	HD209625	0,20	7,83	7820,60	$0,\!05$	$0,\!37$	1,04
616	HD216533	0,98	16,03	10286,00	0,04	$0,\!53$	0,97
636	HD219834	$0,\!12$	2323,60	5272,25	0,08	0,09	3,62
653	BD+42501	0,23	116675,00		0,80		4,86
676	HD7483	0,21	701,42	$5657,\!50$	$0,\!12$	$0,\!15$	5,01
677	HD30339	0,26	15,08	6049,50	$0,\!25$	0,20	3,88
680	HD140913	0,10	$147,\!97$	6027,40	$0,\!54$	0,20	4,66
695	HD98880	$0,\!64$	14,21	7113,00	0,00	0,31	1,20
696	HD83270	$0,\!65$	$5,\!82$	7201,00	0,00	0,32	1,34
697	HD79968	$0,\!15$	$30,\!50$	5287,00	0,19	0,09	4,07
763	HD11753	$0,\!15$	41,49	10549,50	0,32	$0,\!55$	0,24
765	HD72942	0,14	131,86	8293,33	0,06	0,41	1,73
772	HD108945	0,12	18,81	9000,00	$0,\!19$	0,46	$0,\!57$
779	HD73045	$0,\!50$	$435,\!57$	7528,50	0,32	$0,\!35$	2,09
780	HD28546	$0,\!25$	$58,\!37$	7773,00	0,26	$0,\!37$	2,24
781	HD33204	$0,\!35$	32,52	7670,00	$0,\!46$	$0,\!36$	2,24
789	HD69144	$0,\!14$	4,82		0,00		-2,23
797	HD167858	$0,\!17$	4,49	7075,00	0,00	$0,\!31$	2,64
839	HD171999	0,29	21,00	5277,60	$0,\!05$	0,09	$5,\!49$

Tabela A.1 – Continuação da página anterior
	Name	FeH	Per	Teff	е	logmassa	MAG
841	HD175518	0,30	52,78	5645,00	0,38	$0,\!15$	4,83
848	BD+64416	0,20	4227,00		$0,\!49$		5,58
857	HIP100984	$1,\!05$	81,20		$0,\!42$		4,73
861	HD17382	0,10	6127,00	$5329,\!50$	$0,\!69$	0,10	5,81
868	HD96345	0,82	6089,00		$0,\!61$		6,06
941	HD110010	$0,\!35$	4000,00	$5964,\!67$	0,14	$0,\!19$	4,22
943	HD129333	0,16	4575,00	5751,50	$0,\!66$	0,16	4,95
950	HD155714	0,21	3,33	6974,00	0,00	0,30	2,09
990	HD3970	$0,\!58$	$39,\!57$	7019,00	$0,\!52$	0,30	0,86
993	HD4134	$0,\!17$	4,72	6576,00	0,00	0,26	2,06
995	HD16287	$0,\!15$	14,84	5084,00	0,22	0,06	6,17
1005	HD219675	$0,\!67$	531,40		0,20		0,70
1048	HD9996	0,86	272,88	10723,00	$0,\!53$	$0,\!56$	0,66
1049	HD22128	0,48	5,09	6960,00	0,00	0,30	1,83

Tabela A.1 – Continuação da página anterior