

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Marília Gabriela Cardoso Corrêa Carlos

**Abundâncias químicas de estrelas anãs G e
K e modelos de evolução estelar para
 $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com
enriquecimento- α**

São Paulo

2020

Marília Gabriela Cardoso Corrêa Carlos

**Abundâncias químicas de estrelas anãs G e
K e modelos de evolução estelar para
 $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com
enriquecimento- α**

Tese apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador: Prof. Dr. Jorge Meléndez Moreno

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

São Paulo

2020

Aos meus pais Silvia e Edmar

Agradecimentos

À minha família que, com paciência, me ajudou muito durante o doutorado. Aos meus pais, Edmar e Silvia, pelo suporte emocional e financeiro em época tão difícil de investimentos em ciências no Brasil. Aos meus irmãos, Amanda, Fernanda e Pedro, pelos momentos de descontração. Aos meus sobrinhos, Rafaela e Arthur, pelo carinho e brincadeiras.

Ao meu orientador, Jorge Meléndez, pelos ensinamentos, ajuda e paciência; sem o qual não teria chegado até aqui.

À Professora Amanda Karakas, da Monash University, pela hospitalidade e todo o ensinamento adquirido durante meu aprendizado na Austrália.

Aos meus amigos e colegas que tornaram essa jornada mais leve e descontraída.

A todos os pesquisadores da instituição por todo o conhecimento adquirido ao longo do curso.

A todos os funcionários do IAG que me ajudaram com questões técnicas ao longo dos últimos anos.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e aos demais auxílios financeiros através do Programa de Excelência Acadêmica (Proex) e Programa de Doutorado-sanduiche no Exterior (PDSE), código de financiamento 001.

Resumo

O estudo de composição química das estrelas é crucial para o entendimento tanto sobre estrutura estelar quanto sobre a história de formação da nossa galáxia.

Levando em consideração que o elemento Li é um dos mais importantes traçadores astrofísicos sobre mecanismos de transporte e mistura dentro e abaixo da zona convectiva de estrelas do tipo tardio, concluímos um estudo abrangente sobre depleção de Li em 85 gêmeas solares do campo na vizinhança solar, e mais três gêmeas solares do aglomerado aberto M67. Encontramos uma forte correlação entre depleção de Li e idade estelar, em acordo com modelos não-padrão de evolução estelar. Observamos, também, que o Sol pode ser considerado pobre em Li em comparação a outras gêmeas solares de idades similares (por um fator de $\sim 2\sigma$). Nossos resultados também sugerem que estrelas com os mais baixos conteúdos de Li, para uma dada idade, são acompanhadas de baixos níveis de elementos refratários.

Analisamos 8 estrelas anãs K do halo da Galáxia para mais informações sobre a formação dessa componente galáctica, concluindo uma análise química detalhada dos elementos C, Li, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Ce, Nd, Sm e Eu, e também dos isótopos ^{24}Mg , ^{25}Mg e ^{26}Mg . Para sete estrelas encontramos um bom acordo em comparação a resultados da literatura. Entretanto, a anã K LHS 173 apresenta composição anômala de $[\alpha/\text{Fe}]$ e das seguintes outras espécies: baixas quantidades de Mg, Ca e K, e altos valores de Al, Sc, Co, Ni e Zn, em comparação a outras estrelas do halo galáctico. Esse resultado sugere que a anã LHS 173 pode não ter nascido na nossa galáxia, mas na verdade foi incorporada de uma galáxia satélite. A razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ indica que o enriquecimento químico galáctico devido a estrelas AGB ocorreu para $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -1.4$. Um novo modelo para reproduzir nossos dados sugere que a escala de tempo para a formação

do halo deve ser menor do que 1.5 Gano.

Finalmente, apresentamos novos modelos de evolução estelar com os respectivos *yields* para três casos distintos: $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$. Comparamos os resultados de estrutura dos modelos de evolução estelar, abundâncias superficiais finais e *yields*, para avaliarmos se há diferenças entre o caso escalonado para o padrão solar e o com enriquecimento- α . Encontramos uma diferença mínima entre os modelos de evolução estelar escalonado para o padrão solar e os modelos com enriquecimento- α para as espécies mais pesadas (Ga ao Bi), e uma diferença maior para os elementos leves (C ao Zn) para os modelos de maiores massas. Também, usamos os *yields* produzidos pelo nosso trabalho em modelos de evolução química da Galáxia. No geral, o elemento mais sensível aos *yields* com enriquecimento- α é o N, espécie produzida principalmente por estrelas AGB.

Abstract

The study of the chemical composition of stars is crucial to understand both stellar structure and the formation history of our galaxy.

Taking in consideration that the element Li is one of the most important astrophysical tracers of transport mechanisms and mixing within and below the convective zone of late-type stars, we performed a comprehensive study of Li depletion in 85 field solar twins, plus three solar twins in the M67 open cluster. We find a strong correlation between Li depletion and stellar age, in agreement with non-standard stellar evolution models. Interestingly, we found that the Sun can be considered a Li-poor star in comparison with other solar twins at similar age (by a factor of $\sim 2\sigma$). Our results also suggest that stars with the lowest Li abundances for their ages are accompanied by a lower level of refractory elements.

We analyzed 8 halo K dwarfs to shed light on the formation of this particular galactic component, performing a detailed chemical analyses of the elements C, Li, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Ce, Nd, Sm and Eu, including the isotopic abundances of ^{24}Mg , ^{25}Mg and ^{26}Mg . For seven stars we find a good agreement with results in the literature. However, the K dwarf LHS 173 presents anomalous composition of $[\alpha/\text{Fe}]$ and the following other species: lower amounts of Mg, Ca and K, and higher quantities of Al, Sc, Co, Ni and Zn, in comparison with other halo stars. This result suggests that LHS 173 was not born in our galaxy, but it was actually accreted from a dwarf galaxy. The $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ ratio indicates that the onset of AGB stars in the galactic halo occurred at $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -1.4$. A new model to fit our data suggests that the timescale for the formation of the halo should be below 1.5 Gyr.

Finally, we present stellar evolution models with their respective yields for three different cases: $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ scaled solar, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ with $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, and $[\text{Fe}/\text{H}] =$

-1.0 with $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$. We compare the output structure of the stellar evolution models, final surface abundances and yields, in order to see if there is any difference between the scaled solar case to the α -enhanced one. We find almost no difference between the scaled solar and α -enhanced models for the heaviest species (Ga to Bi), and a slightly higher difference for the light elements (C to Zn) for the more massive models. We also use the yields produced in this work to run galactic chemical evolution models. In general, the more sensitive element to the α -enhanced yields is N, an element that is produced mainly in AGB stars.

Lista de Figuras

1.1	Evolução estelar para estrelas de metalicidade solar e diferentes massas. . .	22
1.2	Tabela de núclídeos e os processos s e r.	23
2.1	Spite plateau	30
2.2	A(Li) vs. [Fe/H] para estrelas do disco espesso e fino da Galáxia	31
2.3	Estrelas RGB ricas em Li.	32
2.4	A(Li) versus idade para análogas solares.	34
2.5	A(Li) versus idade para algumas gêmeas solares.	36
2.6	Figura gerada pelo pacote de python q2 mostrando a análise da estrela FBC 1877.	44
2.7	Comparação entre os parâmetros atmosféricos T_{ef} , $\log g$ e massa da amostra 3 obtidos tanto pela análise espectroscópica diferencial como por fotometria.	45
2.8	Espectro sintético solar na região da linha Li I em 6707.75 Å.	47
2.9	Espectro sintético em comparação ao espectro observado da estrela HIP 1954 na determinação de $v \sin i$	48
2.10	Espectros observados em comparação à espectros sintéticos para três gêmeas solares de diferentes idades.	49
2.11	Comparação A(Li) entre estrelas comuns nas amostras 1 e 2.	54
2.12	A(Li) versus idade estelar para a amostra 1.	56
2.13	Depleção de Li em função da idade, com [Fe/H] codificada por cor para a amostra 1.	59
2.14	Depleção de Li em função da idade, com massa codificada por cor para a amostra 1.	59

2.15	Depleção de Li em função da idade, com a massa do envelope convectivo codificada por cor para a amostra 1.	60
2.16	A(Li) versus idade estelar para a amostra 2.	62
2.17	O Sol pobre em Li em comparação com estrelas de idades similares.	63
2.18	Depleção de Li em função da idade, com [Fe/H] codificada por cor para a amostra 2.	64
2.19	Depleção de Li em função da idade, com massa codificada por cor para a amostra 2.	65
2.20	Depleção de Li em função da idade, com a massa do envelope convectivo codificada por cor para a amostra 2.	65
2.21	A(Li) versus idade estelar no intervalo $0.98 \leq M/M_{\odot} \leq 1.02$, com massa codificada por cor.	66
2.22	$\Delta A(\text{Li})$ versus a inclinação do ajuste de T_{cond}	68
2.23	A(Li) versus idade estelar para a amostra 3.	70
3.1	Parâmetros orbitais de estrelas da Galáxia em função de $\delta(U - B)$	74
3.2	Distribuição de [Fe/H] para algumas componentes da Galáxia.	75
3.3	[O/Fe] vs. [Fe/H] para as diferentes componentes galácticas.	76
3.4	$[\alpha/\text{Fe}]$ vs. [Fe/H] para estrelas do disco espesso e halo da Galáxia.	76
3.5	Cadeias de reações Ne–Na e Mg–Al.	78
3.6	A razão isotópica $^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$ em função de [Fe/H].	80
3.7	Espectro sintético em comparação ao espectro observado da estrela G189-045 na determinação de v_{macro}	83
3.8	Exemplo de síntese espectral da estrela HD 103095 para C, Li e Eu.	84
3.9	Espectro observado das estrelas G128-061 e LHS 3780 na região da molécula de MgH em 5140.2 \AA	86
3.10	Determinação das abundâncias isotópicas de Mg por χ^2 e as respectivas sínteses espectrais.	87
3.11	Comparação entre T_{ef} e [Fe/H] obtidas por dois métodos distintos.	88
3.12	A(Li) em LTE versus T_{ef} e [Fe/H].	91
3.13	Abundâncias absolutas de [C/Fe] em função de [Fe/H].	92
3.14	$[\alpha/\text{Fe}]$ vs. [Fe/H].	93

3.15	[Mg/Fe], [Si/Fe], [Ca/Fe] e [Ti/Fe] em função de [Fe/H].	95
3.16	[Na/Fe], [Al/Fe], [K/Fe] e [Sc/Fe] em função de [Fe/H].	96
3.17	[V/Fe], [Mn/Fe], [Co/Fe] e [Ni/Fe] em função de [Fe/H].	98
3.18	[CrI/Fe], [CrII/Fe] e [Cr/Fe] em função de [Fe/H].	99
3.19	[Cu/Fe] e [Zn/Fe] em função de [Fe/H].	100
3.20	[Y/Fe], [Ba/Fe], [La/Fe] e [Ce/Fe] em função de [Fe/H].	102
3.21	[Nd/Fe], [Eu/Fe], [Sm/Fe] e [Dy/Fe] em função de [Fe/H].	104
3.22	Diagrama de Toomre.	105
3.23	Razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ versus [Fe/H] para as anãs K do halo em comparação com modelos de evolução química da Galáxia.	107
3.24	Razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ versus [Fe/H] para as anãs K do halo em comparação com modelos de evolução química da Galáxia e algumas funções de quebra.	108
3.25	<i>Yields</i> de $^{24,25,26}\text{Mg}$ provenientes de estrelas AGB.	109
3.26	Novo modelo de evolução química da Galáxia em acordo com os dados ob- servados.	111
4.1	Estrutura interna de estrelas na fase AGB	116
4.2	Razão C/O em função do número de pulsos térmicos para modelos de evolução estelar com $Z = 0.02$	117
4.3	Diagramas HR para $Z = 0.02$	118
4.4	Diagramas HR para [Fe/H] = -1.8 escalonado para o padrão solar	123
4.5	Diagramas HR para [Fe/H] = -1.8 e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$	124
4.6	Diagramas HR para [Fe/H] = -1.0 e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$	124
4.7	Luminosidade superficial, e devido às queimas de H e He durante a fase tp-AGB	125
4.8	Período de interpulso em função da massa do núcleo para [Fe/H] = -1.8 escalonado para o padrão solar e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$	127
4.9	Período de interpulso em função da massa do núcleo para [Fe/H] = -1.8 com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$	128
4.10	Período de interpulso em função da massa do núcleo para [Fe/H] = -1.0 com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$	129
4.11	Massa do núcleo estelar no primeiro pulso térmico em função da massa inicial	130

4.12	Massa total dragada na terceira dragagem em função da massa inicial . . .	131
4.13	Número máximo de pulsos térmicos em função da massa inicial	133
4.14	Massa do núcleo em função do pulso térmico e da eficiência da terceira dragagem	134
4.15	Temperatura na base do envelope convectivo em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$.	135
4.16	Temperatura na base do envelope convectivo em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$	136
4.17	Temperatura na base do envelope convectivo em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$	137
4.18	Temperatura na camada de He em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] =$ -1.8 escalonado para o padrão solar e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$	138
4.19	Temperatura na camada de He em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] =$ -1.8 com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$	139
4.20	Temperatura na camada de He em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] =$ -1.0 com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.5$	140
4.21	Razão C/O em função do pulso térmico para modelos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, e $[\text{Fe}/\text{H}] =$ -1.0 e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$	147
4.22	Abundâncias superficiais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar a cada pulso térmico para um modelo de $M = 3.0 M_{\odot}$	148
4.23	Comparação de abundâncias superficiais finais, do C ao Zn, entre distintas prescrições de taxa de perda de massa.	149
4.24	Comparação de abundâncias superficiais finais, do Ni ao Bi, entre distintas prescrições de taxa de perda de massa.	150
4.25	Abundâncias superficiais finais para o modelo de $M = 3.75 M_{\odot}$ com e sem pacote de ^{13}C	152
4.26	Comparação entre abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ esca- lonado para o padrão solar e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ para duas massas distintas. . .	153
4.27	Abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar do C ao Zn	155

4.28	Abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar do Ni ao Bi	156
4.29	Abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ do C ao Zn	157
4.30	Abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ do Ni ao Bi	158
4.31	Abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ do C ao Zn	159
4.32	Abundâncias superficiais finais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ do Ni ao Bi	160
4.33	<i>Yields</i> líquidos elementais para o C, N e F	163
4.34	<i>Yields</i> líquidos elementais para o Sr, Y, Ba, La e Pb	165
4.35	<i>Yields</i> totais elementais para o C, N, O e F em comparação à dados da literatura	167
4.36	<i>Yields</i> totais elementais para o Y, Ba, La e Pb em comparação à dados da literatura	168
4.37	Função de distribuição de metalicidade para o halo galáctico	170
4.38	$[\text{C}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos	171
4.39	$[\text{N}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos	172
4.40	$[\text{O}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos	173
4.41	$[\text{Mg}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos	173
4.42	$[\text{Si}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos	174
4.43	$[\text{Ca}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos	175

Lista de Tabelas

2.1	Idades, massas, e outros parâmetros atmosféricos para a amostra 1 (estrelas em negrito estão presentes tanto na amostra 1 como na 2).	38
2.2	Idades, massas, e outros parâmetros atmosféricos para a amostra 2 (estrelas em negrito estão presentes tanto na amostra 1 como na 2).	39
2.3	Massa, temperatura efetiva e gravidade superficial obtidas por fotometria para a amostra 3.	46
2.4	Parâmetros estelares obtidos por espectroscopia para a amostra 3.	46
2.5	Abundâncias de Li para as amostras 1, 2 e 3 (estrelas em negrito estão presentes tanto na amostra 1 como na 2).	50
3.1	Parâmetros estelares utilizados nas análises de abundâncias elementais das anãs K.	82
3.2	Parâmetros estelares utilizados nas análises de razões isotópicas de Mg nas anãs K.	85
3.3	Abundâncias elementais para as estrelas do halo da Galáxia.	89
3.4	Razões isotópicas de Mg.	106
4.1	Abundâncias médias $[X/Fe]$ adotadas para estrelas do halo com $[\alpha/Fe] \approx 0.30$.	121
4.2	Valor adotado de M_{mix} para os modelos com $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar.	143
4.3	Valor adotado de M_{mix} para os modelos com $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$.	144
4.4	Valor adotado de M_{mix} para os modelos com $[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$.	145
A.1	Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias de Li.	211
A.2	Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias de C.	219

A.3	Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias isotópicas de Mg.	389
A.4	Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias de Eu.	400
A.5	Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias elementais das anãs K.	436
B.1	<i>Yields</i> finais para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$	447
B.2	Abundâncias superficiais finais para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$	451
B.3	Razões isotópicas, do ^{12}C ao ^{30}Si , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$	455
B.4	Razões isotópicas, do ^{35}Cl ao ^{41}K , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$	457
B.5	Razões isotópicas, do ^{40}Ca ao ^{50}Ti , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$	459
B.6	Razões isotópicas, do ^{52}Cr ao ^{62}Ni , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$	461

Sumário

1. <i>Introdução</i>	21
2. <i>Lítio em gêmeas solares</i>	29
2.1 Amostra e Análise	35
2.2 Resultados e Discussão	50
2.2.1 Amostra 1	54
2.2.2 Amostra 2	61
2.2.3 Amostra 3	69
3. <i>Abundâncias químicas detalhadas de estrelas anãs K do halo Galáctico</i>	73
3.1 Amostra e Análise	81
3.2 Resultados e Discussão	86
3.2.1 Abundâncias elementais	87
3.2.2 Razões isotópicas do Magnésio	106
4. <i>Modelos de evolução estelar e yields de estrelas de massas baixa e intermediária</i>	113
4.1 Modelos de evolução estelar	119
4.1.1 Taxa de perda de massa	120
4.1.2 Resultados	123
4.2 Nucleossíntese	141
4.2.1 Abundâncias superficiais	146
4.2.2 <i>Yields</i>	161
4.3 Modelo de evolução química da Galáxia	169

5. Conclusões e Perspectivas	177
Referências	181
Apêndice	209
A. Lista de linhas	211
B. Exemplo de resultados dos modelos de nucleossíntese estelar	447
B.0.1 Yields finais	447
B.0.2 Abundâncias superficiais finais	450
B.0.3 Razões isotópicas	454

Introdução

Uma característica marcante dos humanos é a curiosidade em entender de onde viemos, o que implica em sabermos como o universo foi formado e funciona. Nesse sentido, os astrônomos têm um papel fundamental em observar e coletar informações para melhor compreendermos o espaço à nossa volta.

Assim, estudar abundâncias químicas de estrelas, ou seja, investigar do que são feitas, nos ajuda a entender melhor como são formadas e como funcionam. O estudo da composição química de estrelas também é fundamental para a compreensão da história de formação da Galáxia. Abundâncias elementais de estrelas do disco e halo de nossa galáxia nos dão uma percepção da formação e evolução dessas estruturas.

A Figura 1.1, retirada de [Karakas e Lattanzio \(2014\)](#), mostra a evolução de estrelas de massas diferentes mas de metalicidade solar ($Z = Z_{\odot}$, definida abaixo). Podemos notar que estrelas menos massivas ($M \lesssim 8 - 10 M_{\odot}$) queimam H em He, e He em C no seu núcleo, podendo chegar a ter um núcleo degenerado de O. Já estrelas mais massivas ($M \gtrsim 8 M_{\odot}$) podem apresentar queima nuclear hidrostática até a produção de ^{56}Fe . Estrelas mais massivas são as grandes responsáveis pela produção de elementos- α na Via Láctea, produzidos através de capturas sucessivas de partículas α ([Woosley e Weaver, 1995](#); [Nomoto et al., 2013](#)). Em particular, o Fe é produzido principalmente por supernovas tipo Ia ([Matteucci e Greggio, 1986](#)).

Já a nucleossíntese de elementos mais pesados que o Fe se dá principalmente pelos chamados processo-s e processo-r, onde elementos mais pesados são criados através da captura de nêutrons. O processo-s (s da palavra em inglês *slow*) é caracterizado por produzir elementos através de uma captura lenta de nêutrons, com densidade de nêutrons $N_n \sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$, em comparação ao processo-r (r da palavra em inglês *rapid*) que produz

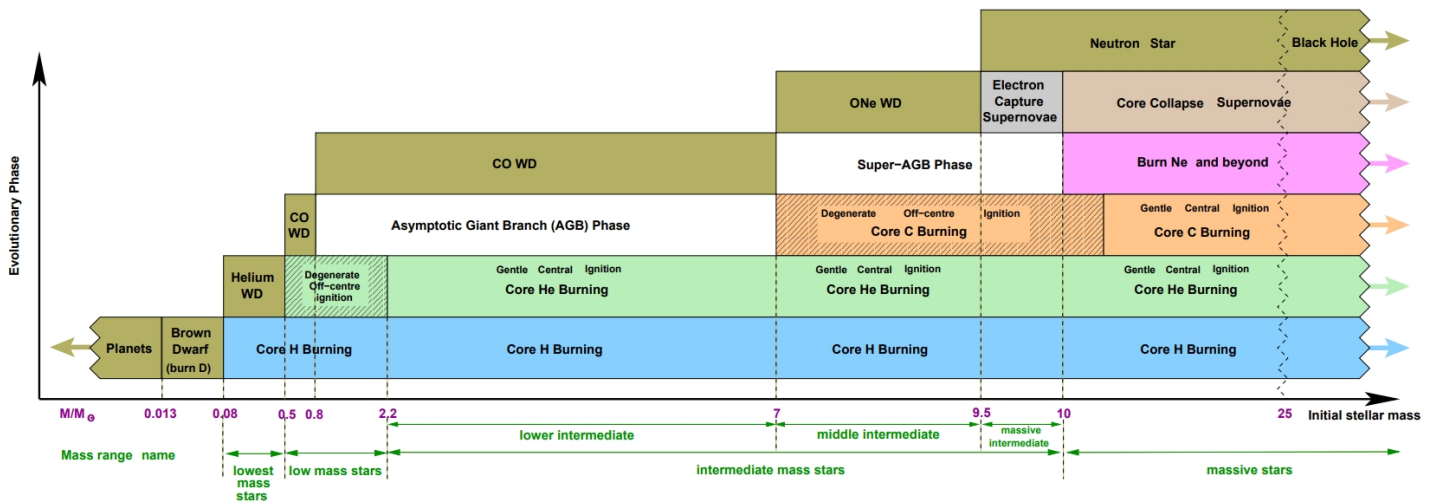


Figura 1.1: Figura original de [Karakas e Lattanzio \(2014\)](#) sobre a evolução de estrelas de metalicidade solar e diferentes massas.

elementos mais pesados que o Fe de forma mais rápida, devida à densidade de nêutrons maior $N_n > 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ([Meyer, 1994](#)). A Figura 1.2 apresenta uma tabela de núclídeos mostrando as espécies formadas pelos processos s e r. A principal fonte do processo-s são estrelas AGB ([Karakas e Lattanzio, 2014](#)), e acredita-se que o processo-r aconteça principalmente em supernovas do tipo II ([Arnould et al., 2007](#)) e em fusão de estrelas de nêutrons ([Pian et al., 2017](#); [Watson et al., 2019](#)).

Assim, estrelas de massas iniciais distintas são responsáveis pela produção de elementos diferentes. Como a diferença em massa implica em tempos de vida diversos para esses objetos, estudar elementos químicos específicos nos ajuda a entender em mais detalhes a história de formação estelar das diversas componentes galácticas. Em particular, estrelas da sequência principal (ou seja, com composição química não afetada ainda pela evolução estelar), fornecem a composição química do momento e lugar em que foram formadas. Portanto, estudando estrelas anãs de diferentes populações, metalicidades e idades, podemos obter pistas sobre as diferentes componentes da nossa galáxia e também como ela foi formada e como evoluiu.

Grupos de estrelas que compartilhem a mesma taxa de formação estelar têm distribuições de metalicidades distintas a de grupos com outras taxas de formação estelar. Assim, quando analisamos distribuições de metalicidades e relações $[X/Fe]$ em função de

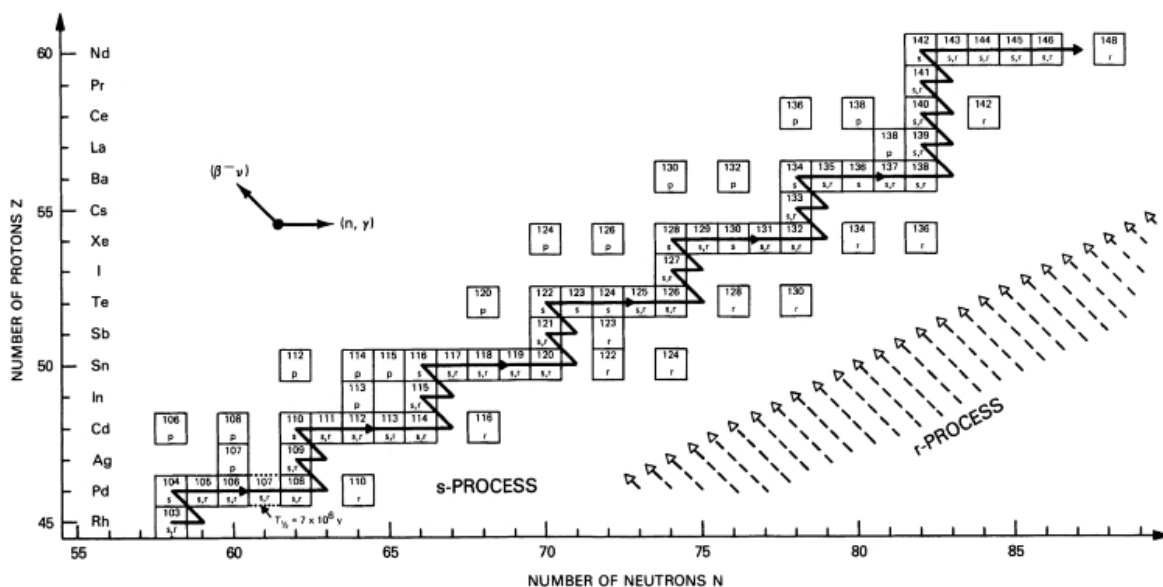


Figura 1.2: Figura original de Rolfs e Rodney (1988) apresentando as espécies com número de prótons Z em função do número de nêutrons N . O caminho traçado pela linha sólida indica as espécies formadas pelo processo s , enquanto espécies criadas pelo processo r estão indicadas pelas setas com linhas tracejadas. As direções do decaimento β e da captura de nêutrons são mostradas no canto superior esquerdo da imagem.

$[Fe/H]$, somos capazes de separar populações estelares com histórias de formação estelar distintas. Além das clássicas separações da Via Láctea em estrelas formadas no disco fino, disco espesso, bojo ou halo, há também a possibilidade de estrelas observadas hoje na nossa galáxia, mas que tenham nascido em galáxias satélites e migrado para o halo, por exemplo. Essas estrelas podem ser identificadas de acordo com os padrões distintos nas relações $[X/Fe]$ versus $[Fe/H]$ em comparação a estrelas que se formaram na nossa galáxia. O trabalho de Nissen e Schuster (2010) mostra a existência de duas populações distintas no halo galáctico, que diferem na quantidade de elementos α , indicando que uma dessas populações possivelmente é proveniente de uma galáxia satélite e foi incorporada à Via Láctea.

Recentemente, os trabalhos de Belokurov et al. (2018) e Helmi et al. (2018) sugeriram que a Galáxia passou por um grande evento de interação com um objeto um pouco mais massivo que a Pequena Nuvem de Magalhães, há aproximadamente 8 – 11 bilhões de anos, durante o tempo em que o disco da Via Láctea começou a se formar; esses resultados estão

de acordo com a presença de duas populações do halo observadas por [Gaia Collaboration et al. \(2018\)](#). [Helmi et al. \(2018\)](#) designou esse evento como Gaia-Enceladus (em homenagem ao titã Encélado da mitologia grega). O estudo de [Brook et al. \(2020\)](#), usando simulações, apresentou um modelo de galáxia similar à Via Láctea, que também passou por um grande evento como o de Gaia-Enceladus, e conseguiu reproduzir qualitativamente as diferenças entre $[\alpha/\text{Fe}]$ versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ para as duas populações distintas do halo; no halo local a taxa de formação estelar e sua eficiência para o objeto progenitor (simulação da Via Láctea) são maiores do que as do objeto menor incorporado (simulação da galáxia satélite).

Um método de observação muito importante é a espectroscopia, pois nos permite determinar padrões de abundâncias químicas de estrelas distintas da Galáxia, e portanto pode nos ajudar a entender a estrutura e evolução estelar, além de diferentes aspectos da formação e evolução química da Via Láctea. O método nasceu a partir dos estudos de Isaac Newton sobre a decomposição da luz no século XVII e foi aperfeiçoado por vários estudiosos, passando pelo trabalho de Joseph von Fraunhofer que construiu instrumentos ópticos que conseguiram detectar linhas de absorção no espectro solar já no século XIX. Atualmente, grandes telescópios com espectrógrafos de alta precisão estendem cada vez mais os limites de observação para estrelas cada vez mais fracas, preservando a qualidade dos dados obtidos; no entanto, ao custo de longas horas de observação, dependendo da magnitude da estrela e sinal-ruído desejado.

Espectros estelares são formados por linhas de absorção, distribuídas pelo espectro contínuo (em consequência da natureza aproximada de corpo negro desses objetos), quando parte dos fótons criados nas regiões centrais devido à queima nuclear, e reprocessados devido a interações no interior estelar, são absorvidos por diferentes espécies presentes na fotosfera estelar (Lei de Kirchhoff), de modo que o fluxo monocromático (F_λ) na superfície da estrela é dependente dos coeficientes de absorção no contínuo e de absorção da linha (vinculado à transição atômica ou molecular específica), como discutido em detalhes por [Gray \(2005\)](#) e [Carlos \(2015\)](#). Assim, quando estudamos determinadas linhas de absorção em uma estrela através da análise de larguras equivalentes (proporcionais ao F_λ) ou em comparação a espectros sintéticos, avaliamos a composição química estelar.

Nesse trabalho, apresentamos resultados obtidos por análises feitas usando espectroscopia de alta resolução ($R \gtrsim 45000$), aplicando-se, quando possível, o método de espec-

troscopia diferencial que nos permite obter uma precisão da ordem de ~ 0.01 dex em metalicidades (Ramírez et al., 2011; Meléndez et al., 2012).

Para a obtenção de abundâncias químicas das estrelas observadas, utilizamos o código MOOG¹ (versão de julho de 2014; Sneden, 1973), onde são processados cálculos usando modelos de atmosferas estelares em uma dimensão (1D) considerando a aproximação de equilíbrio termodinâmico local (LTE, da sigla em inglês). O código pode processar abundâncias químicas de estrelas tanto pelo método de larguras equivalentes, através da ferramenta ‘*abfind*’, como pelo método de síntese espectral, usando a ferramenta ‘*synth*’. A seguir, uma descrição breve sobre o MOOG; uma explicação mais extensa dos detalhes do cálculo de abundâncias químicas via larguras equivalentes e síntese espectral com o MOOG está disponível em Carlos (2015).

Quando usamos a ferramenta ‘*abfind*’ do código MOOG, colocamos como dados de entrada um modelo de atmosferas e uma lista de linhas com os dados de largura equivalente para cada estrela. Para a ferramenta ‘*synth*’, precisamos considerar, novamente, um modelo de atmosferas e uma lista de linhas, mas também temos como entrada do código o espectro observado de cada estrela para comparação; nessa ferramenta devemos acrescentar os valores devidos a velocidade de rotação ($v \sin i$), velocidade de macroturbulência (v_{macro} , causados por movimentos de células de matéria na atmosfera de cada estrela), fator de escurecimento de limbo na fotosfera estelar, e o perfil instrumental utilizado na observação (representado por uma gaussiana), que contribuem para o alargamento do espectro estelar observado, como discutido amplamente em Gray (2005).

As listas de linhas utilizadas contêm os comprimentos de onda e as respectivas espécies estudadas, o potencial de excitação da transição que produz determinada linha (χ_{eV}), a força de oscilador vezes o peso estatístico (gf), o parâmetro de van der Waals (C_6 , alargamento da linha causado pela interação da espécie analisada com átomos de hidrogênio) e, no caso de moléculas, a energia de dissociação molecular (D_0). No caso de linhas atômicas, a energia de ionização já está incluída no código MOOG e não é necessário adicioná-la à lista de linhas. O alargamento natural (resultado do princípio da incerteza de Heisenberg), o alargamento Stark (causado pela interação da espécie analisada com prótons, elétrons ou íons), e o alargamento devido ao efeito Doppler, também são considerados internamente pelo MOOG.

¹ Descrição detalhada disponível online em <https://www.as.utexas.edu/~chris/moog.html>.

Usamos a grade de modelos de atmosferas MARCS de [Gustafsson et al. \(2008\)](#) e KURCZ de [Castelli e Kurucz \(2003\)](#). Os modelos das duas grades são calculados em 1D e usam a aproximação plano-paralela, onde as fotosferas são consideradas finas em espessura quando comparadas aos respectivos raios estelares; os cálculos levam em consideração equilíbrio hidrostático e equilíbrio termodinâmico local. O alargamento devido à velocidade de microturbulência (ξ_{turb} , causado por movimentos de células de matéria em menor escala comparada à profundidade óptica) é considerado no cálculo do modelo de atmosferas para cada estrela, geralmente adotando algum valor fixo como 2 km.s^{-1} .

Apresentamos nesse trabalho resultados de abundâncias químicas elementais absolutas em relação ao elemento hidrogênio, $A(X)$ definida na Equação 1.1:

$$A(X) = \log(N_X/N_H) + 12, \quad (1.1)$$

onde N_X e N_H representam a densidade numérica do elemento X analisado e do elemento hidrogênio, respectivamente (sendo $A(H) \equiv 12$). Ademais, apresentamos resultados em relação às abundâncias solares $[X/H]$, como definido na Equação 1.2:

$$[X/H] = A(X)_* - A(X)_\odot, \quad (1.2)$$

onde $A(X)_*$ é a abundância absoluta do elemento X na estrela analisada e $A(X)_\odot$ é a abundância absoluta desse mesmo elemento no Sol. E, portanto, $[X/Fe] = [X/H] - [Fe/H]$.

Também, usamos a notação de fração de massa do hidrogênio (X), hélio (Y) e de todos os outros elementos mais pesados que He (Z), como:

$$X = \frac{1}{1 + 4(N_{\text{He}}/N_H) + \sum_i A_i(N_i/N_H)}, \quad (1.3)$$

$$Y = \frac{4(N_{\text{He}}/N_H)}{1 + 4(N_{\text{He}}/N_H) + \sum_i A_i(N_i/N_H)}, \quad (1.4)$$

$$Z = \frac{\sum_i A_i(N_i/N_H)}{1 + 4(N_{\text{He}}/N_H) + \sum_i A_i(N_i/N_H)}, \quad (1.5)$$

onde A_i é o número de massa; de modo que $X + Y + Z = 1$.

Nos próximos capítulos discutimos o trabalho desenvolvido durante o doutorado, onde obtivemos abundâncias químicas elementais e isotópicas de alta precisão para melhor enten-

dermos a estrutura de estrelas similares ao Sol, e também para uma melhor compreensão da evolução e formação do halo da Galáxia. Apresentamos em cada capítulo uma introdução específica sobre o trabalho realizado. No Capítulo 2 apresentamos resultados de $A(\text{Li})$ para gêmeas solares da vizinhança solar e também do aglomerado aberto M67. No Capítulo 3, mostramos e discutimos resultados de abundâncias de várias espécies e razões isotópicas para oito anãs K do halo da Galáxia. Tão importante quanto a análise de dados observacionais é a construção de modelos teóricos para a interpretação do conteúdo observado. Por isso, no Capítulo 4, debatemos novos resultados para modelos teóricos de evolução estelar e seus respectivos *yields*. Por fim, no Capítulo 5, concluímos as discussões apresentadas neste trabalho e comentamos sobre perspectivas futuras.

Lítio em gêmeas solares

Este capítulo está baseado nos seguintes artigos desenvolvidos durante o doutorado: [Carlos et al. \(2016, 2019, 2020\)](#).

A importância do elemento Li na astronomia varia desde questões cosmológicas a debates abrangendo evolução estelar, envolvendo até discussões sobre exoplanetas. O estudo da abundância de Li nos oferece uma excelente oportunidade de entender os processos de mistura no interior estelar, e portanto, mecanismos de transporte, pois este é destruído nas camadas mais internas das estrelas via captura de prótons (${}^7\text{Li}(p, \alpha)\alpha$) a temperaturas próximas de 2.5×10^6 K. Sabendo que a quantidade de Li destruída depende da profundidade da camada convectiva, que por sua vez depende da massa e metalicidade da estrela, podemos melhorar nossos conhecimentos de estrutura e evolução estelar analisando a dependência de Li com essas variáveis. Apesar de vários fatores controlarem o nível de queima de Li no interior estelar, existe um debate sobre quais são os principais responsáveis pela depleção de Li.

O *problema cosmológico do Li* está relacionado com o desacordo entre o conteúdo de Li produzido durante a nucleossíntese ocorrida no Big Bang e o valor de Li medido em estrelas velhas do halo da Galáxia. O estudo de [Spite e Spite \(1982\)](#) foi o primeiro a mostrar que a abundância de Li em estrelas velhas do halo Galático (que não deveriam destruir Li ao longo de sua vida na sequência principal devido ao tamanho de suas camadas convectivas) atingem um valor máximo de $A(\text{Li}) \approx 2.0 \pm 0.2$, comumente conhecido como *Spite plateau* (visto na Figura 2.1).

Os trabalhos de [Fields et al. \(2020\)](#) e [Cyburt et al. \(2016\)](#), usando dados obtidos pelo telescópio espacial Planck ([Planck Collaboration et al., 2016](#)), encontram que o Li produzido na nucleossíntese ocorrida durante o Big Bang é $A(\text{Li}) \approx 2.65$, enquanto observações

de estrelas velhas do halo galáctico apontam para um valor médio de $A(\text{Li}) = 2.2 \pm 0.1$, resultando em um desacordo de fator ~ 3 entre esses dois valores (Ryan et al., 1999; Asplund et al., 2006; Bonifacio et al., 2007; Meléndez et al., 2010; Matsuno et al., 2017).

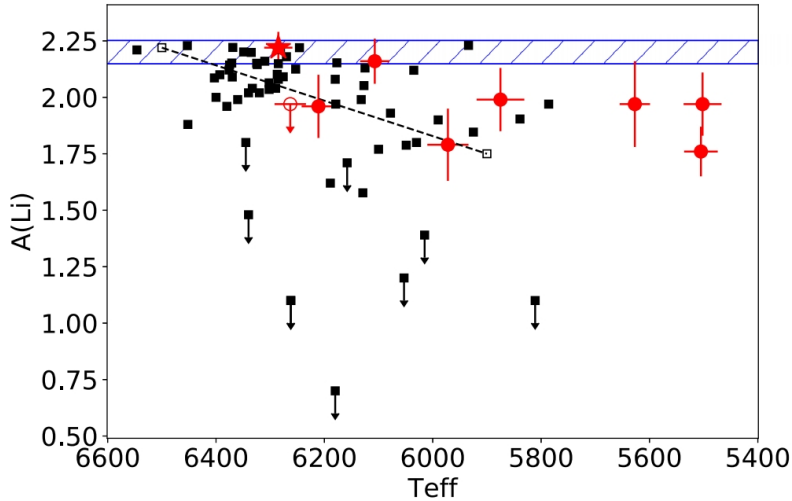


Figura 2.1: Figura original de Matsuno et al. (2017) mostrando $A(\text{Li})$ versus T_{ef} e a região do *Spite plateau* marcada em azul ($A(\text{Li}) = 2.2 \pm 0.1$ dex). Dados de Matsuno et al. (2017) são mostrados por círculos vermelhos e uma estrela vermelha para G64-12. Quadrados pretos preenchidos apresentam dados de Bonifacio et al. (2007); Frebel et al. (2008); Aoki et al. (2009); Sbordone et al. (2010); Caffau et al. (2011); Bonifacio et al. (2012, 2015) e Li et al. (2015). Os dois quadrados pretos abertos e ligados por uma linha tracejada apresentam as abundâncias de Li para um par de binárias espectroscópicas (CS 22876–032, Norris et al., 2000; González Hernández et al., 2008).

Já no contexto de evolução química da Galáxia, abundâncias de Li, medidas em estrelas pertencentes ao disco espesso e disco fino da Galáxia, indicam a produção desse elemento no disco fino (Ramírez et al., 2012; Bensby e Lind, 2018; Fu et al., 2018), como observado na Figura 2.2.

O possível aumento da abundância de lítio com $[\text{Fe}/\text{H}]$ em estrelas do disco fino, enquanto estrelas do disco espesso não apresentam vestígios de produção de Li, sugere que os mecanismos que mais contribuíram para a produção de Li devem ocorrer em estrelas com tempo de vida maior que a escala de tempo de formação do disco espesso, ou seja estrelas de menor massa.

O trabalho de Cescutti e Molaro (2019) concebe um modelo de evolução química usando *yields* de novas que explica porque observamos uma produção de Li no disco fino e não no disco espesso. Possíveis observações de ${}^7\text{Li}$ ou ${}^7\text{Be}$ (que logo decai para ${}^7\text{Li}$) em novas

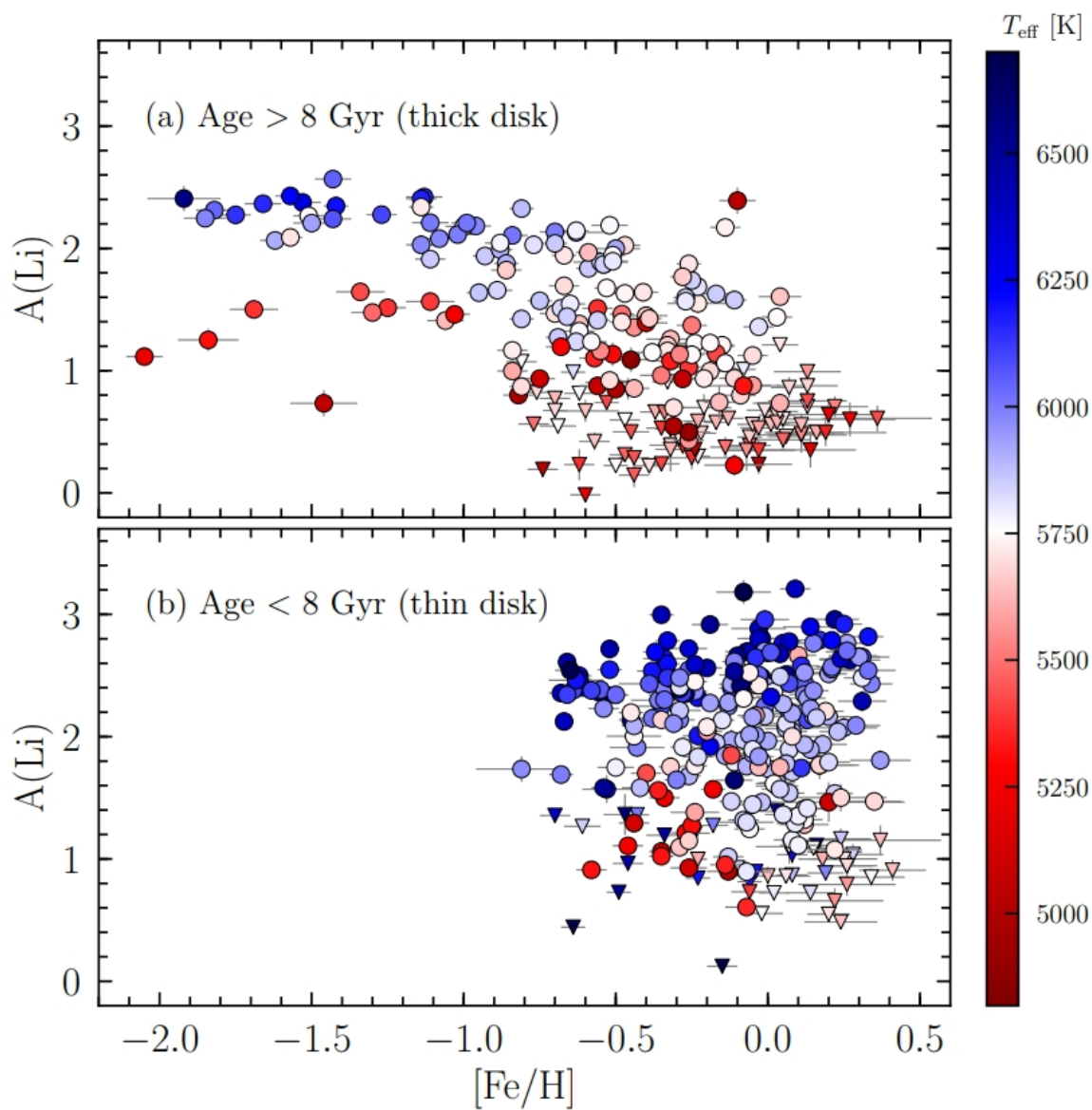


Figura 2.2: Figura original de [Bensby e Lind \(2018\)](#). O painel superior mostra $A(\text{Li})$ versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ para o disco espesso da Galáxia. O painel inferior apresenta $A(\text{Li})$ versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ para o disco fino da Galáxia. Ambos os painéis têm temperatura efetiva (T_{eff}) codificada por cor. Triângulos mostram limites superiores em $A(\text{Li})$.

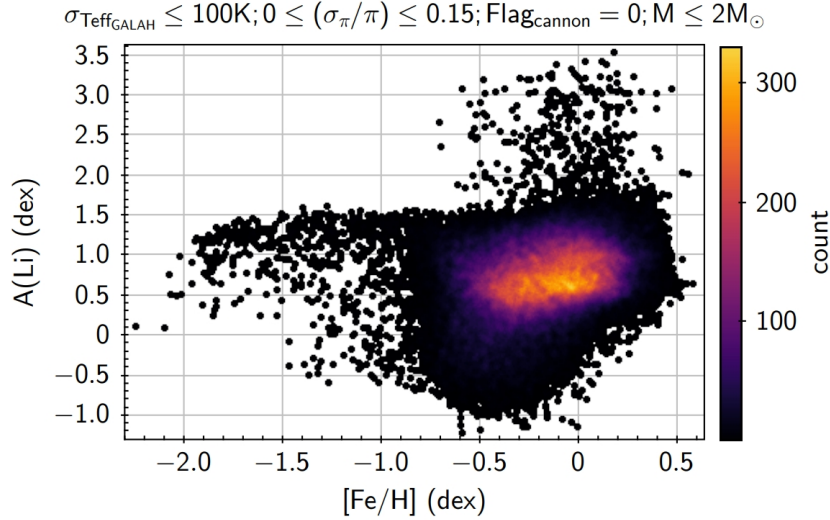


Figura 2.3: Figura original de Deepak e Reddy (2019), mostrando $A(\text{Li})$ versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ para mais de 50000 estrelas na fase RGB.

foram relatadas na literatura recentemente (Izzo et al., 2015; Tajitsu et al., 2015, 2016; Molaro et al., 2016; Izzo et al., 2018; Selvelli et al., 2018), enquanto o trabalho de Starrfield et al. (2020) nos abastece com simulações que indicam grande produção e ejeção de ${}^7\text{Be}$ por novas, sugerindo que são uma contribuição importante para o enriquecimento em Li do disco fino.

Com respeito à evolução estelar, pode-se discutir o problema de estrelas gigantes ricas em Li (Figura 2.3). Foram encontradas algumas estrelas na fase RGB (*red giant branch*, da sigla em inglês) que apresentam altas quantidades de Li ($A(\text{Li}) \gtrsim 1.5$), quando o esperado é que estrelas nessa fase de suas vidas tenham destruído o Li restante em suas camadas mais externas devido à expansão da zona convectiva estelar ocorrida durante a primeira dragagem (Karakas e Lattanzio, 2014), como previsto por modelos padrão de evolução estelar. De acordo com o recente trabalho de Charbonnel et al. (2020), a fração de estrelas que estão ou já passaram da fase RGB ricas em Li pode chegar a $\sim 2\%$.

O debate na literatura ainda é grande sobre qual o cenário melhor explica a razão de existirem estrelas que passaram pela primeira dragagem e possuem ainda grandes quantidades de Li. Os estudos de Casey et al. (2016) e Aguilera-Gómez et al. (2016) sugerem que uma fração de estrelas gigantes ricas em Li pode ser explicada por acreção de planetas; notar que a acreção planetária deveria resultar também em um excesso de Be, o que não é

observado em gigantes ricas em Li (Castilho et al., 1999; Melo et al., 2005), o que sugere que apenas uma fração das gigantes ricas em Li seja devida a engolimento de planetas. Já em Casey et al. (2019), os autores estendem a discussão, argumentando que a existência de gigantes ricas em Li não é decorrência da evolução estelar, mas sim devido a uma combinação de sistemas binários com interação por maré e também acreção planetária. Já o trabalho de Deepak e Reddy (2019) sugere que a principal razão para a existência desses objetos deve ocorrer dentro da própria estrela devido à evolução estelar. O estudo de Yan et al. (2018), com nucleossíntese estelar não-padrão, procura explicar as observações de estrelas gigantes ricas em Li em uma fase particular da evolução estelar.

Há também o debate na literatura sobre a influência da presença de poeira circunstelar (Gregorio-Hetem et al., 1993; Castilho et al., 1995, 1998), talvez associada à perda de massa nesses objetos ricos em Li; alguns estudos discutem que a maior taxa de perda de massa pode ser associada à estrelas ricas em Li (de La Reza et al., 1996; de la Reza et al., 1997; Monaco et al., 2011), mas notar que embora gigantes ricas em Li possuam excesso no infravermelho segundo cores do IRAS (Gregorio-Hetem et al., 1993), gigantes normais (pobres em Li) também podem apresentar excesso no infravermelho e, portanto, talvez o excesso no infravermelho não indique necessariamente anomalias na perda de massa dessas gigantes. De fato, o trabalho de Maciel e Costa (2018) sugere que estrelas mais ricas em Li apresentam menores taxas de perda de massa em comparação a estrelas gigantes com valores “normais” de Li.

Apesar de esforços teóricos e observacionais, a origem da depleção de Li observada em estrelas do tipo solar ainda não está completamente estabelecida e continua sendo arduamente debatida na literatura. As causas para a depleção de Li no interior de estrelas de tipo solar discutidas na literatura incluem ocorrência de planetas (Delgado Mena et al., 2014), estrelas em sistemas binários (Zahn, 1994; Beck et al., 2017), idade estelar (Monroe et al., 2013) ou ainda planetas devorados por suas estrelas hospedeiras (Montalbán e Rebolo, 2002; Sandquist et al., 2002).

Takeda et al. (2010) e Gonzalez et al. (2010) mostram que diferenças no momento angular em uma estrela podem causar diferentes quantidades de Li destruído. De acordo com esses trabalhos, há um aumento na queima de Li quanto menor for o momento angular da estrela. Portanto, estrelas de tipo solar com planetas ou em sistemas binários devem apresentar abundâncias de Li diferentes em comparação com estrelas isoladas do campo

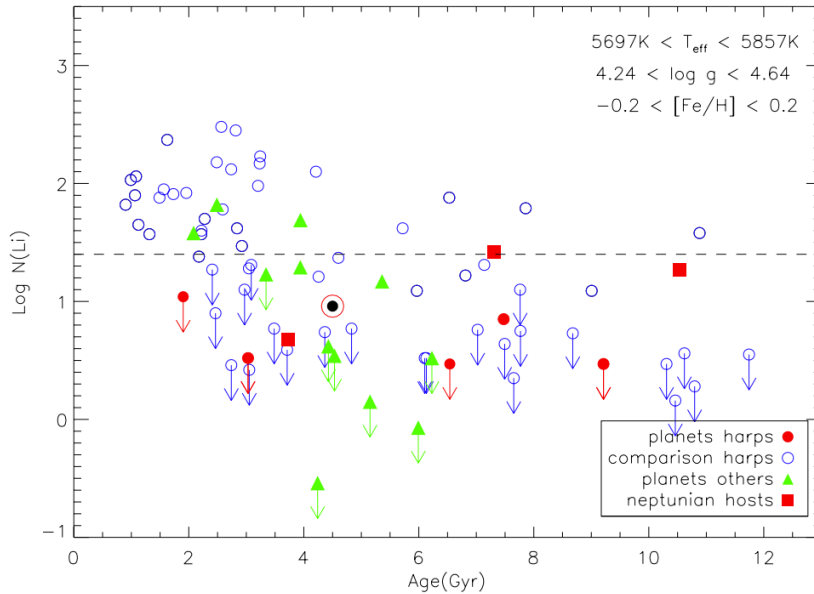


Figura 2.4: Figura original de [Delgado Mena et al. \(2014\)](#). Abundâncias de lítio versus idade para estrelas análogas solares com planetas detectados (símbolos vermelhos e verdes preenchidos) e sem planetas detectados (círculos azuis abertos). O Sol está representado pelo círculo vermelho com ponto preto no centro.

com os mesmos parâmetros estelares e idades. Isso é discutido nos trabalhos de [Israelian et al. \(2009\)](#), [Delgado Mena et al. \(2014\)](#) e [Zahn \(1994\)](#), mas é provavelmente um efeito secundário de acordo com [Pavlenko et al. \(2018\)](#).

A Figura 2.4 apresenta resultado discutido em [Delgado Mena et al. \(2014\)](#). [Sousa et al. \(2010\)](#) e [Delgado Mena et al. \(2014\)](#) sugerem que a forte depleção de Li em estrelas do tipo solar acontece devido principalmente à presença de planetas e não depende da idade para estrelas mais velhas que ~ 2 Gano. Isso está em desacordo com o trabalho de [Ghezzi et al. \(2010\)](#), que afirma que não há diferenças relevantes de $A(\text{Li})$ entre estrelas que tenham planetas detectados e estrelas sem planetas detectados, quando fazemos restrições em massa e metalicidade.

Já os trabalhos de [Baumann et al. \(2010\)](#) e [Monroe et al. \(2013\)](#) indicam que a principal causa para a depleção de Li em estrelas de tipo solar é a idade estelar. Como pode ser observado na Figura 2.5, estrelas mais velhas têm baixos níveis de abundância de Li em comparação a estrelas mais jovens. Essa afirmação é apoiada por vários modelos de evolução estelar não-padrão que levam em consideração diferentes movimentos internos em

uma estrela. Esses modelos podem incluir ondas de gravidade (Charbonnel e Talon, 2005), difusão e mistura induzida por rotação (do Nascimento et al., 2009), difusão turbulenta por rotação (Denissenkov, 2010), e *overshooting* e assentamento por gravidade (Xiong e Deng, 2009). Ademais, o trabalho de Beck et al. (2017) mostra que as abundâncias de Li variam com a rotação estelar, que por sua vez depende da idade de cada estrela (dos Santos et al., 2016; Lorenzo-Oliveira et al., 2019). Esse resultado está de acordo com trabalhos que indicam que o conteúdo de Li em estrelas do tipo solar é depletado conforme a estrela envelhece (Baumann et al., 2010; Monroe et al., 2013; Meléndez et al., 2014).

Gêmeas solares, para as quais podemos obter idades precisas, podem nos ajudar a entender o principal mecanismo de depleção de Li, seja ele a presença de planetas ou a própria evolução da estrela conforme esta envelhece. Assim, nesse capítulo, apresentamos e discutimos os resultados referentes à análise de três diferentes amostras de gêmeas solares com idades variando entre 0.5 e 9.0 Gano publicados em Carlos et al. (2016, 2019, 2020).

2.1 Amostra e Análise

Três diferentes amostras foram analisadas no decorrer desse estudo. Duas amostras apresentam estrelas do campo na vizinhança solar, a terceira contém estrelas observadas no aglomerado aberto M67.

A primeira amostra, daqui em diante referida como amostra 1, inicialmente apresentada em Nissen (2015), tem resultados publicados em Carlos et al. (2016). A segunda amostra, daqui em diante amostra 2, baseada no trabalho de Ramírez et al. (2014) e previamente estudada por dos Santos et al. (2017), Spina et al. (2018) e Bedell et al. (2018), tem resultados discutidos em Carlos et al. (2019). Finalmente, a terceira e última amostra com análise de A(Li) e publicada em Carlos et al. (2020), citada daqui em diante como amostra 3, foi selecionada a partir de uma lista formada por objetos que tenham alta probabilidade de serem membros do aglomerado aberto M67, calculada usando movimentos próprios de Yadav et al. (2008), análises espectroscópicas prévias de Pasquini et al. (2008), e estudos de velocidade radial de Geller et al. (2015). Também foi considerado que as estrelas selecionadas tenham massa aproximadamente igual a $1M_{\odot}$, e apresentem estudos de rotação baseados na modulação fotométrica de curvas de luz da missão Kepler K2 (Barnes et al., 2016; Gonzalez, 2016).

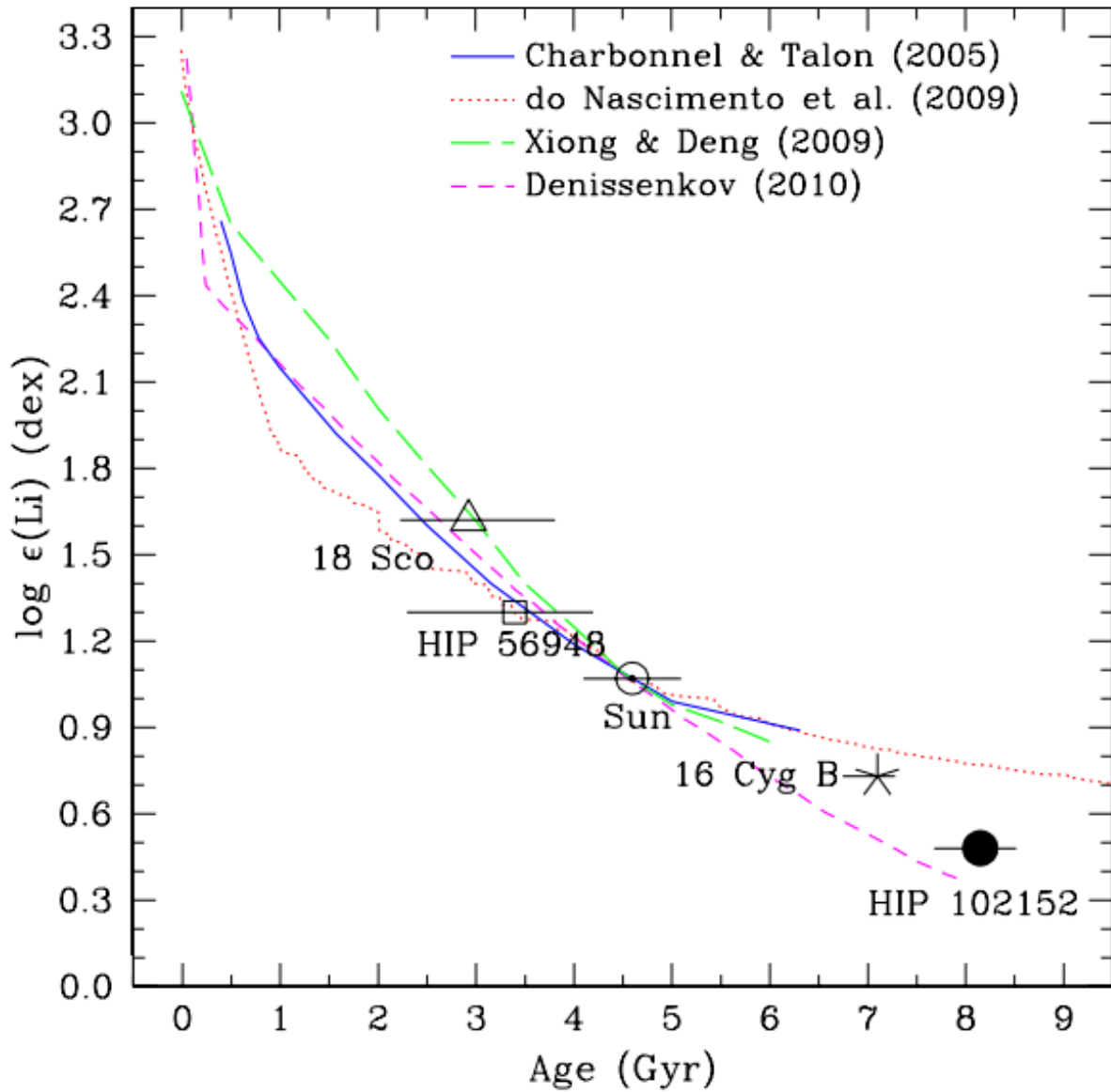


Figura 2.5: Figura original de [Monroe et al. \(2013\)](#). Abundâncias de lítio em NLTE versus idade para o Sol e algumas gêmeas solares.

As amostras 1 (programas de observação 072.C-0488, 088.C-0323, 183.C-0972 e 188.C-0265) e 2 (programas de observação 188.C-0265, 183.D-0729, 292.C-5004, 097.C-0571, 092.C-0721, 093.C-0409, 072.C-0488, 183.C-0972, 091.C-0936, 192.C-0852, 196.C-1006, 076.C-0155, 096.C-0499, 185.D-0056, 192.C-0224, 075.C-0332, 090.C-0421, 091.C-0034, 077.C-0364, 089.C-0415, 60.A-9036, 092.C-0832, 295.C-5035, 295.C-5031, 60.A-9700, 289.D-5015, 096.C-0210, 086.C-0284, 088.C-0323, 0100.D-0444, e 099.C-0491) têm espectros obtidos pelo espectrógrafo HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher; [Mayor et al., 2003](#)) no telescópio de 3.6m do ESO em La Silla. Ambas as amostras apresentam alta resolução ($R = 115000$) e alto sinal ruído ($300 \lesssim S/N \lesssim 1800$). A cobertura do espectrógrafo HARPS vai de 3780 a 6910 Å; tanto para amostra 1 quanto para a 2, espectros individuais para cada estrela foram combinados depois de efetuada a correção Doppler, e em seguida foram normalizados com o uso da ferramenta *continuum* do IRAF¹ (como descrito em [Nissen 2015](#) e [Spina et al. 2018](#)). A amostra 3 foi observada com o espectrógrafo GRACES (Gemini Remote Access to CFHT ESPaDOns Spectrograph; [Chene et al., 2014](#)) no observatório Gemini Norte em alta resolução ($R \sim 45000$) e com bom sinal ruído ($S/N \sim 100$); programa de observação GN-2016B-Q-36. Os espectros dessa amostra têm cobertura de 4000 a 10000 Å e foram reduzidos e normalizados através da pipeline OPERA ([Martoli et al., 2012](#); [Teeple, 2014](#)).

A análise espectroscópica diferencial, discutida nesse capítulo, foi feita exclusivamente em relação ao Sol. Para que abundâncias de alta precisão fossem medidas, os espectros de comparação devem ser obtidos no mesmo instrumento que os espectros das estrelas estudadas. Assim, o espectro solar foi obtido pela observação da luz do Sol refletida no asteroide Vesta pelos espectrógrafos HARPS e GRACES.

A amostra 1 é composta por 21 estrelas situadas na vizinhança solar; os parâmetros estelares $[Fe/H]$, gravidade superficial ($\log g$), temperatura efetiva (T_{ef}), velocidade de microturbulência (ξ_{turb}), massa e idade foram determinados e mostrados primeiramente no trabalho de [Nissen \(2015\)](#). Linhas de Fe I e Fe II foram usadas para determinar $[Fe/H]$, $\log g$, T_{ef} e ξ_{turb} , através da técnica de espectroscopia diferencial, visando o equilíbrio de excitação e ionização ([Bedell et al., 2014](#); [Meléndez et al., 2014](#)), o que possibilitou que os erros típicos estimados fossem pequenos ($\sigma(T_{ef}) = \pm 6$ K, $\sigma(\log g) = \pm 0.012$ dex, $\sigma([Fe/H]) = \pm 0.01$ dex e $\sigma(\xi_{turb}) = \pm 0.017$ km.s⁻¹). As idades e massas para a amostra

¹ <http://iraf.noao.edu/>

1 foram calculadas usando os parâmetros estelares mencionados anteriormente e isócronas de Yonsei-Yale (Yi et al., 2001; Kim et al., 2002). O erro interno típico para a medida de massa é $\sigma(M) = \pm 0.01 M_{\odot}$. Todos esses valores são encontrados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Idades, massas, e outros parâmetros atmosféricos para a amostra 1 (estrelas em negrito estão presentes tanto na amostra 1 como na 2).

Estrela	Idade*	Erro*	Massa*	T_{ef}^*	$\log g^*$	$[\text{Fe}/\text{H}]^*$	ξ_{turb}^*	v_{macro}	$v \sin i$
	(Gano)	(Gano)	(M_{\odot})	(K)	(dex)	(dex)	(km.s^{-1})	(km.s^{-1})	(km.s^{-1})
HIP 1954	3.5	0.8	0.97	5724	4.490	-0.084	0.96	3.09	1.43
HIP 6455	4.2	0.8	0.96	5730	4.479	-0.105	0.95	3.10	0.52
HIP 15527^(a)	7.5	0.4	0.97	5776	4.345	-0.058	1.04	3.20	0.80
HIP 19925	2.6	0.6	1.04	5779	4.469	0.064	0.99	3.20	0.70
HIP 20625	7.0	0.4	0.97	5754	4.380	-0.054	1.02	3.15	1.67
HIP 27058	7.3	0.4	1.01	5860	4.270	-0.070	1.17	3.37	1.57
HIP 30476[†]	8.5	0.4	1.00	5718	4.284	-0.020	1.06	3.08	1.50
HIP 30503 ^(b)	2.7	0.5	1.06	5871	4.445	0.047	1.06	3.39	1.68
HIP 41317	8.1	0.4	0.94	5701	4.374	-0.075	0.98	3.04	1.58
HIP 44713	7.5	0.4	1.04	5756	4.272	0.078	1.05	3.16	1.73
HIP 49728	6.0	0.6	0.96	5768	4.424	-0.091	1.02	3.18	0.72
HIP 52369	2.7	0.6	0.99	5813	4.488	-0.112	1.00	3.27	1.80
HIP 54102	0.7	0.7	1.05	5846	4.503	0.006	1.02	3.34	1.47
HIP 54287	6.0	0.4	1.03	5714	4.359	0.113	0.99	3.07	1.28
HIP 74389	2.3	0.5	1.07	5853	4.452	0.093	1.01	3.36	0.93
HIP 79672	3.8	0.5	1.04	5809	4.434	0.046	1.02	3.27	1.93
HIP 95962	5.0	0.5	1.03	5809	4.402	0.035	1.04	3.27	1.25
HIP 108468	6.9	0.4	0.98	5828	4.346	-0.091	1.08	3.30	1.50
HIP 109821[†]	8.5	0.4	0.96	5748	4.319	-0.095	1.07	3.14	1.18
HIP 115577[†]	8.8	0.4	1.01	5690	4.247	0.013	1.07	3.02	1.57
HIP 116906^(c)	6.5	0.4	1.01	5784	4.361	-0.004	1.07	3.21	1.73

Notas. *Dados de Nissen (2015). [†]Estrelas enriquecidas em elementos- α . ^(a)Exoplaneta detectado (Jones et al., 2006). ^(b)Exoplaneta detectado (Mayor et al., 2011). ^(c)Exoplaneta detectado (Butler et al., 2006).

A amostra 2 contém 77 estrelas da vizinhança solar. [Spina et al. \(2018\)](#) calcularam os parâmetros estelares $[\text{Fe}/\text{H}]$, $\log g$, T_{ef} e ξ_{turb} empregando, novamente, a técnica de espectroscopia diferencial usando linhas de Fe I e Fe II. Depois, massas e idades foram calculadas usando os parâmetros estelares mencionados acima e isócronas de Yonsei-Yale. As precisões típicas atingidas por [Spina et al. \(2018\)](#) são: $\sigma(T_{\text{ef}}) = \pm 4 \text{ K}$, $\sigma(\log g) = \pm 0.012 \text{ dex}$, $\sigma([\text{Fe}/\text{H}]) = \pm 0.004 \text{ dex}$, $\sigma(\xi_{\text{turb}}) = \pm 0.01 \text{ km.s}^{-1}$ e $\sigma(M) = \pm 0.004 M_{\odot}$. As estrelas HIP 19911, HIP 67620 e HIP 103983 foram removidas da amostra 2 devido à contaminação do espectro por companheiras próximas, como discutido em [dos Santos et al. \(2017\)](#). A amostra 2 está exposta na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Idades, massas, e outros parâmetros atmosféricos para a amostra 2 (estrelas em negrito estão presentes tanto na amostra 1 como na 2).

Estrela	Idade*	Massa*	T_{ef}^*	$\log g^*$	$[\text{Fe}/\text{H}]^*$	ξ_{turb}^*	v_{macro}^*	$v \sin i^*$
	(Gano)	(M_{\odot})	(K)	(dex)	(dex)	(km.s^{-1})	(km.s^{-1})	(km.s^{-1})
HIP 1954	$4.80^{+0.30}_{-0.80}$	0.970	5720	4.46	-0.090	0.96	2.90	1.79
HIP 3203	≤ 0.50	1.038	5868	4.54	-0.050	1.16	3.27	3.82
HIP 4909	≤ 0.60	1.055	5861	4.50	0.048	1.11	3.33	4.01
HIP 5301 ^(a)	$7.30^{+0.40}_{-0.50}$	0.960	5723	4.40	-0.074	0.98	3.01	2.00
HIP 6407 ^(b)	$1.90^{+0.70}_{-0.70}$	1.004	5775	4.51	-0.058	0.98	2.96	2.30
HIP 7585	$3.50^{+0.30}_{-0.50}$	1.043	5822	4.45	0.083	1.01	3.37	1.90
HIP 8507	$4.90^{+0.40}_{-0.50}$	0.961	5717	4.46	-0.099	0.96	2.88	0.77
HIP 9349	$0.60^{+0.40}_{-0.30}$	1.036	5818	4.52	-0.006	1.09	3.16	2.25
HIP 10175	$3.10^{+0.40}_{-0.30}$	0.990	5719	4.49	-0.028	0.97	2.89	1.83
HIP 10303	$5.90^{+0.40}_{-0.40}$	1.011	5712	4.40	0.104	0.94	3.04	0.77
HIP 11915 ^(c)	$3.60^{+0.50}_{-0.70}$	0.993	5769	4.48	-0.067	0.99	3.05	0.99
HIP 14501 ^(b)	$8.80^{+0.30}_{-0.30}$	0.979	5738	4.31	-0.153	1.07	3.25	1.37
HIP 14614	$4.70^{+0.40}_{-0.60}$	0.986	5803	4.45	-0.109	1.03	3.21	1.97
HIP 15527^(d)	$7.70^{+0.40}_{-0.30}$	0.986	5779	4.34	-0.064	1.07	3.40	0.54
HIP 18844 ^(b)	$7.00^{+0.30}_{-0.40}$	0.997	5734	4.37	0.014	1.01	3.15	1.62
HIP 22263	$0.80^{+0.30}_{-0.40}$	1.052	5870	4.54	0.037	1.10	3.27	3.37
HIP 25670	$5.10^{+0.30}_{-0.30}$	1.010	5760	4.42	0.054	0.98	3.13	1.38

Continua na próxima página

Tabela 2.2 – continuação da página anterior

Estrela	Idade* (Gano)	Massa* (M_{\odot})	T_{ef}^* (K)	$\log g^*$ (dex)	$[\text{Fe}/\text{H}]^*$ (dex)	ξ_{turb}^* (km.s^{-1})	v_{macro}^* (km.s^{-1})	$v \sin i^*$ (km.s^{-1})
HIP 28066	$8.80_{-0.30}^{+0.30}$	0.989	5742	4.30	-0.147	1.07	3.27	1.32
HIP 29432	$5.20_{-0.40}^{+0.40}$	0.969	5762	4.45	-0.112	1.01	3.08	1.83
HIP 30037 ^(b)	$6.70_{-0.50}^{+0.50}$	0.960	5666	4.42	0.007	0.91	2.81	1.76
HIP 30158	$7.90_{-0.30}^{+0.30}$	0.963	5678	4.37	-0.004	0.95	2.85	1.95
HIP 30476	$9.00_{-0.30}^{+0.30}$	0.990	5709	4.28	-0.033	1.05	3.24	1.43
HIP 30502	$7.00_{-0.10}^{+0.40}$	0.965	5731	4.40	-0.057	0.98	3.01	1.98
HIP 33094	$8.90_{-0.30}^{+0.30}$	1.064	5629	4.11	0.023	1.10	3.26	1.50
HIP 34511	$4.00_{-0.40}^{+0.50}$	0.998	5812	4.45	-0.091	1.04	3.25	1.99
HIP 36512	$5.90_{-0.50}^{+0.40}$	0.957	5744	4.45	-0.126	0.99	3.06	1.61
HIP 36515	$0.50_{-0.30}^{+0.30}$	1.031	5855	4.56	-0.029	1.23	3.23	3.76
HIP 38072	$1.00_{-0.50}^{+0.80}$	1.063	5860	4.51	0.085	1.15	3.33	3.14
HIP 40133	$5.40_{-0.30}^{+0.30}$	1.040	5745	4.37	0.116	0.99	3.20	1.97
HIP 41317	$7.70_{-0.30}^{+0.30}$	0.960	5706	4.39	-0.081	0.99	2.99	1.60
HIP 42333	$1.00_{-0.40}^{+0.70}$	1.069	5846	4.50	0.132	1.11	3.30	3.55
HIP 43297	$1.80_{-0.40}^{+0.50}$	1.014	5705	4.51	0.082	1.00	2.85	2.58
HIP 44713	$7.70_{-0.30}^{+0.30}$	1.029	5759	4.28	0.063	1.09	3.41	1.57
HIP 44935	$6.60_{-0.40}^{+0.30}$	1.009	5771	4.37	0.038	1.04	3.30	1.94
HIP 44997	$6.60_{-0.40}^{+0.40}$	0.970	5728	4.41	-0.012	0.96	2.93	1.18
HIP 49756	$4.50_{-0.40}^{+0.30}$	1.010	5789	4.44	0.023	1.03	3.25	0.73
HIP 54102^(b)	$0.70_{-0.40}^{+0.40}$	1.047	5845	4.51	0.011	1.06	3.18	1.73
HIP 54287	$6.50_{-0.40}^{+0.30}$	1.024	5714	4.34	0.107	0.99	3.12	1.33
HIP 54582 ^(b)	$6.90_{-0.30}^{+0.30}$	1.034	5883	4.28	-0.096	1.20	3.82	0.65
HIP 62039 ^(b)	$6.20_{-0.30}^{+0.40}$	1.040	5742	4.34	0.104	1.02	3.23	1.89
HIP 64150 ^(b)	$6.40_{-0.30}^{+0.30}$	1.010	5747	4.37	0.049	1.02	3.13	1.98
HIP 64673	$6.00_{-0.40}^{+0.40}$	1.068	5912	4.29	-0.017	1.20	3.84	1.86
HIP 64713	$5.30_{-0.60}^{+0.50}$	0.989	5788	4.44	-0.043	1.00	3.08	1.95
HIP 65708 ^(b)	$9.00_{-0.30}^{+0.30}$	1.009	5746	4.22	-0.063	1.12	3.42	1.35

Continua na próxima página

Tabela 2.2 – continuação da página anterior

Estrela	Idade*	Massa*	T_{ef}^*	$\log g^*$	$[\text{Fe}/\text{H}]^*$	ξ_{turb}^*	v_{macro}^*	$v \sin i^*$
	(Gano)	(M_{\odot})	(K)	(dex)	(dex)	(km.s^{-1})	(km.s^{-1})	(km.s^{-1})
HIP 68468 ^(e)	$5.50_{-0.40}^{+0.30}$	1.064	5845	4.33	0.071	1.10	3.66	1.92
HIP 69645	$5.70_{-0.90}^{+0.30}$	0.986	5751	4.44	-0.026	1.00	3.03	2.05
HIP 72043 ^(b)	$6.20_{-0.30}^{+0.40}$	1.026	5845	4.34	-0.026	1.12	3.55	1.39
HIP 73241 ^(b)	$8.90_{-0.30}^{+0.30}$	1.031	5661	4.22	0.092	1.00	3.08	2.08
HIP 73815	$7.20_{-0.30}^{+0.30}$	1.011	5790	4.33	0.023	1.07	3.32	1.42
HIP 74389	$3.90_{-0.60}^{+0.30}$	1.049	5845	4.44	0.083	1.05	3.31	1.09
HIP 74432	$8.60_{-0.30}^{+0.30}$	1.056	5679	4.17	0.048	1.09	3.17	1.66
HIP 76114	$6.60_{-0.30}^{+0.30}$	0.980	5740	4.41	-0.024	0.97	3.03	1.30
HIP 77052 ^(f)	$4.50_{-0.40}^{+1.10}$	0.985	5687	4.45	0.051	0.96	2.75	1.58
HIP 77883	$7.60_{-0.40}^{+0.30}$	0.970	5699	4.34	0.017	0.99	2.92	1.95
HIP 79578 ^(b)	$2.40_{-0.40}^{+0.60}$	1.031	5810	4.47	0.048	1.02	3.25	1.74
HIP 79672	$4.20_{-0.50}^{+0.30}$	1.022	5808	4.44	0.041	1.02	3.27	2.08
HIP 79715	$6.20_{-0.40}^{+0.30}$	1.000	5816	4.38	-0.037	1.09	3.35	0.64
HIP 81746 ^(b)	$8.10_{-0.30}^{+0.30}$	0.960	5715	4.37	-0.091	0.99	3.00	1.43
HIP 83276 ^(b)	$7.40_{-0.30}^{+0.30}$	1.033	5886	4.24	-0.093	1.23	3.95	0.50
HIP 85042	$7.80_{-0.30}^{+0.30}$	0.970	5685	4.35	0.030	0.97	2.91	1.64
HIP 87769 ^(b)	$5.00_{-1.00}^{+0.40}$	1.039	5828	4.40	0.072	1.03	3.33	2.05
HIP 89650	$4.30_{-0.30}^{+0.70}$	1.027	5851	4.42	-0.015	1.10	3.39	1.67
HIP 95962	$6.00_{-0.30}^{+0.40}$	1.010	5805	4.38	0.029	1.04	3.26	1.41
HIP 96160	$2.60_{-0.50}^{+0.40}$	1.012	5798	4.48	-0.036	1.02	3.06	2.09
HIP 101905	$1.20_{-0.30}^{+0.30}$	1.080	5906	4.50	0.088	1.08	3.52	3.06
HIP 102040	$2.40_{-0.40}^{+0.40}$	1.020	5853	4.48	-0.079	1.05	3.30	1.74
HIP 102152	$8.60_{-0.40}^{+0.30}$	0.978	5718	4.33	-0.016	0.99	3.01	1.78
HIP 104045	$4.10_{-0.30}^{+0.90}$	1.027	5826	4.41	0.051	1.04	3.29	2.09
HIP 105184	$0.60_{-0.30}^{+0.50}$	1.050	5843	4.51	0.003	1.05	3.25	2.64
HIP 108158	$8.10_{-0.30}^{+0.30}$	1.021	5675	4.29	0.055	1.01	3.02	1.20
HIP 108468	$7.00_{-0.30}^{+0.30}$	1.006	5841	4.35	-0.096	1.13	3.54	0.91

Continua na próxima página

Tabela 2.2 – continuação da página anterior

Estrela	Idade* (Gano)	Massa* (M_{\odot})	T_{ef}^* (K)	$\log g^*$ (dex)	$[\text{Fe}/\text{H}]^*$ (dex)	ξ_{turb}^* (km.s^{-1})	v_{macro}^* (km.s^{-1})	$v \sin i^*$ (km.s^{-1})
HIP 109821	$8.90_{-0.30}^{+0.30}$	0.980	5747	4.31	-0.108	1.06	3.28	0.82
HIP 114615	$0.50_{-0.30}^{+1.20}$	1.027	5819	4.51	-0.063	1.03	3.15	2.39
HIP 115577	$8.80_{-0.30}^{+0.30}$	1.019	5694	4.26	0.013	1.04	3.22	1.32
HIP 116906^(g)	$6.70_{-0.30}^{+0.30}$	1.010	5790	4.37	-0.005	1.08	3.33	1.74
HIP 117367	$5.70_{-0.30}^{+0.30}$	1.040	5867	4.35	0.024	1.12	3.72	1.17
HIP 118115	$8.00_{-0.30}^{+0.30}$	1.013	5798	4.28	-0.036	1.10	3.55	0.89

Notas. (*)Dados de Spina et al. (2018). (*)Dados de dos Santos et al. (2016). ^(a)Exoplaneta detectado (Naef et al., 2010). ^(b)Binária espectroscópica (dos Santos et al., 2017). ^(c)Exoplaneta detectado (Bedell et al., 2015). ^(d)Exoplaneta detectado (Jones et al., 2006). ^(e)Exoplaneta detectado (Meléndez et al., 2017). ^(f)Binária visual (dos Santos et al., 2017). ^(g)Exoplaneta detectado (Butler et al., 2006).

Os objetos marcados em negrito nas Tabelas 2.1 e 2.2 estão presentes tanto na amostra 1 como na amostra 2, e foram analisados de forma independente em cada amostra.

Os parâmetros estelares da amostra 3, que contém 3 estrelas do aglomerado aberto M67, foram calculados usando dois métodos diferentes, para comparação. O primeiro método foi pela análise espectroscópica diferencial (como feito nas amostras 1 e 2) usando larguras equivalentes medidas com a ajuda da tarefa *splot* do IRAF, a versão de 2014 do código 1D e LTE MOOG, e a grade Kurucz de modelos atmosféricos ATLAS9. O segundo método foi por fotometria, usando dados da literatura. Ambas as análises foram feitas com o auxílio do pacote de python *qoyllur-quipu* (q2, Ramírez et al., 2014).

Na análise espectroscópica diferencial, os parâmetros estelares $[\text{Fe}/\text{H}]$, $\log g$, T_{ef} e ξ_{turb} foram estimados a partir de medidas de linhas de Fe I e Fe II, em um método diferencial linha a linha visando o equilíbrio de excitação e de ionização (Figura 2.6, obtida através do pacote q2). Novamente, as massas foram calculadas com os parâmetros estelares derivados da espectroscopia diferencial e isócronas de Yonsei-Yale. Sabendo que essas isócronas são caracterizadas pelos parâmetros: temperatura efetiva (T), gravidade superficial (G) e

metalicidade (M); a Equação 2.1 apresenta a distribuição de probabilidades para os valores mais prováveis de massa estelar de acordo com a comparação dos parâmetros atmosféricos obtidos pela análise espectroscópica em comparação com isócronas de parâmetros similares (de acordo com a Equação 2.2).

$$dP(\text{Massa}) = \frac{1}{\Delta(\text{Massa})} \sum_{\Delta(\text{Massa})} p(T_{\text{ef}}, \log g, [\text{Fe}/\text{H}], T, G, M) \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} p &\propto \exp[-(T_{\text{ef}} - T)^2/2(\Delta T_{\text{ef}})^2] \\ &\times \exp[-(\log g - G)^2/2(\Delta \log g)^2] \\ &\times \exp[-([\text{Fe}/\text{H}] - M)^2/2(\Delta [\text{Fe}/\text{H}])^2] \end{aligned} \quad (2.2)$$

O pacote de python q2 usa o código MOOG (nesse caso a rotina ‘*abfind*’), a grade Kurucz de modelos atmosféricos ATLAS9 e as larguras equivalentes de Fe I e Fe II, para calcular os parâmetros estelares de forma iterativa até que os equilíbrios de excitação e ionização sejam atingidos de forma simultânea. Os erros de $[\text{Fe}/\text{H}]$ foram obtidos pelo desvio padrão das medidas das linhas de Fe I e Fe II. Já para a temperatura efetiva, o erro é propagado do equilíbrio de excitação através do coeficiente angular do ajuste de abundância diferencial de Fe I versus o potencial de excitação da linha, e do impacto do equilíbrio de ionização (usando as linhas de Fe I e Fe II) na determinação da T_{ef} (painel superior da Figura 2.6). Semelhante ao erro de T_{ef} , o erro da velocidade de microturbulência é dado pelo erro do coeficiente angular de abundância diferencial de Fe I versus a largura equivalente reduzida (segundo painel da Figura 2.6). Já o erro da gravidade superficial, propagado do equilíbrio de ionização, vêm da incerteza das medidas das linhas de Fe I e Fe II.

Para verificar os parâmetros estelares obtidos pela espectroscopia diferencial da amostra 3, massas, $\log g$ e T_{ef} também foram estimados usando dados fotométricos da literatura. A calibração fotométrica de Casagrande et al. (2010) foi aplicada para determinar a T_{ef} usando as magnitudes V, J, H, K_S e a cor $B - V$ (Geller et al., 2015; Pace et al., 2012; Cutri et al., 2003). Para esse estudo adotamos o avermelhamento $E(B - V) = 0.037$ para o aglomerado M67 de Gaia Collaboration et al. (2018). As razões de avermelhamento usadas para corrigir outras cores, $k = E(\text{cor})/E(B - V)$, vêm de Ramírez e Meléndez (2005). Os erros de T_{ef} , nesse caso, são dados pelo desvio padrão das temperaturas obtidas para cada cor. As massas e $\log g$ foram estimadas usando isócronas de Yonsei-Yale, adotando-se a T_{ef}

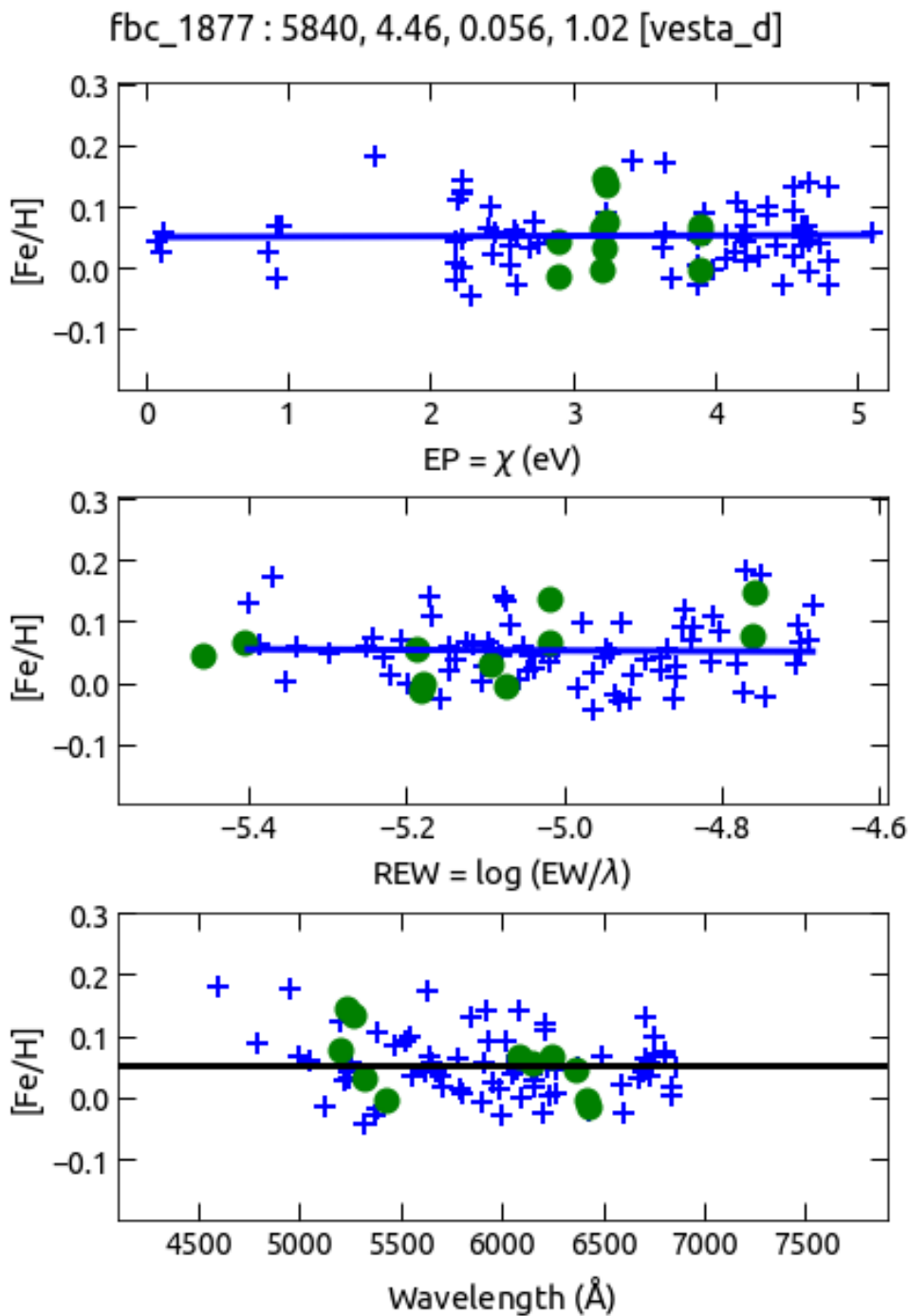


Figura 2.6: Figura gerada pelo pacote de python q2 mostrando a análise da estrela FBC 1877. O painel superior mostra $[Fe/H]$ versus o potencial de excitação de cada linha. O painel do meio apresenta $[Fe/H]$ versus largura equivalente reduzida e o painel inferior mostra $[Fe/H]$ versus o comprimento de onda de cada linha usada. As cruces azuis representam linhas de Fe I e os círculos verdes mostram linhas de Fe II. No topo da figura, vemos o registro do código mostrando o nome da estrela (FBC 1877) e os parâmetros atmosféricos (T_{ef} , $\log g$, $[Fe/H]$, ξ_{turb}) obtidos na análise diferencial em relação ao objeto de referência (asteroide Vesta, usado para obter o espectro solar), determinados pelo equilíbrio espectroscópico diferencial.

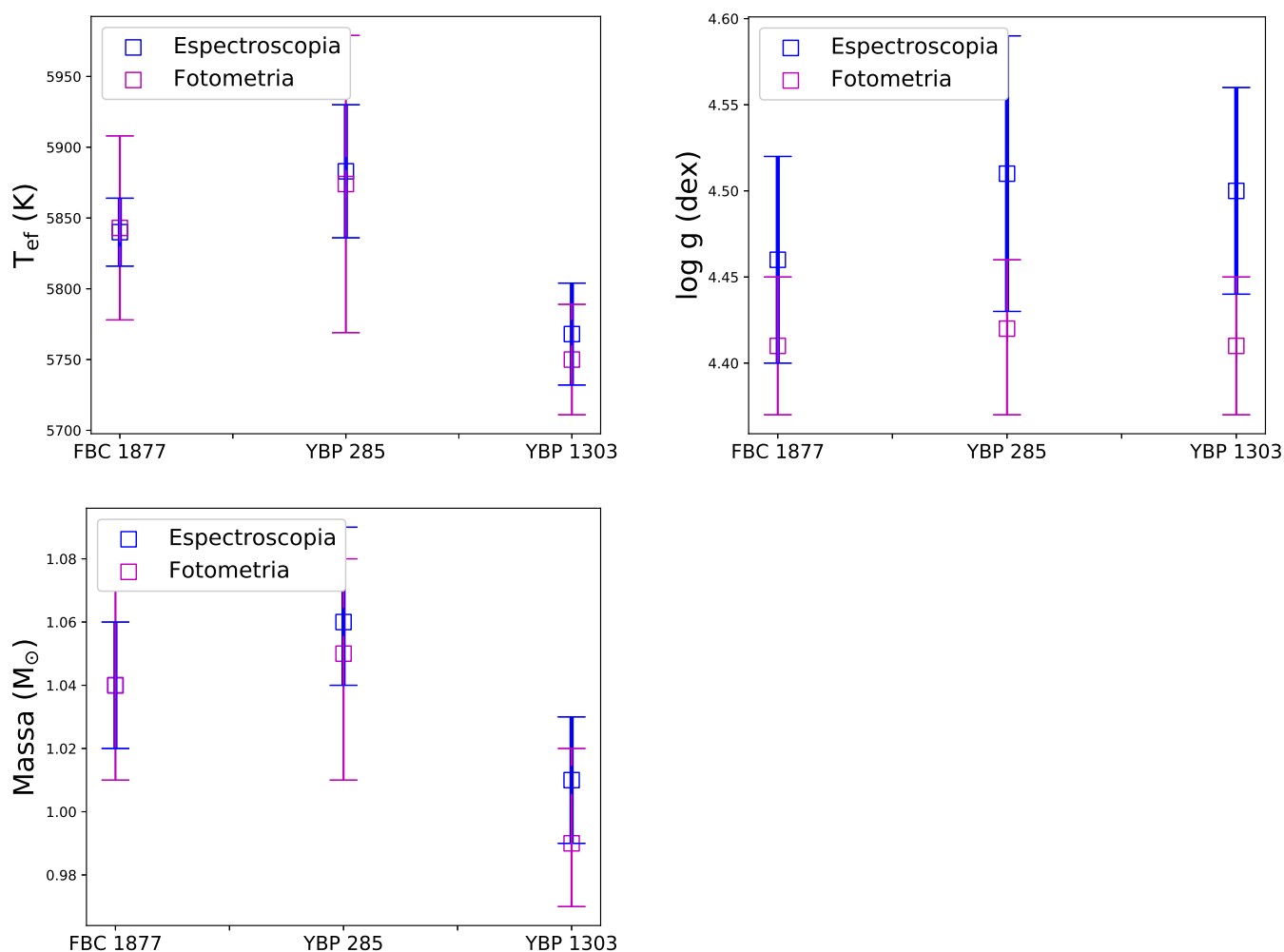


Figura 2.7: Comparação entre os parâmetros atmosféricos T_{ef} , $\log g$ e massa da amostra 3 obtidos tanto pela análise espectroscópica diferencial como por fotometria.

fotométrica, $[\text{Fe}/\text{H}]$ espectroscópico determinado anteriormente, a magnitude V de Geller et al. (2015), o $E(B - V)$ para o aglomerado M67, e as paralaxes do *Gaia Data Release 2* (DR2) com uma correção de 0.03 *mas* como sugerido em Lindegren et al. (2018).

Os parâmetros estelares para a amostra 3 determinados por fotometria estão presentes na Tabela 2.3, já os resultados espectroscópicos são encontrados na Tabela 2.4. Os parâmetros estelares calculados tanto por fotometria quanto por espectroscopia mostram a consistência entre esses dois diferentes métodos e são compatíveis dentro de 1σ . A Figura 2.7 mostra as comparações entre os parâmetros atmosféricos obtidos por espectroscopia diferencial e fotometria.

Os parâmetros estelares das três amostras, mostrados nas Tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4;

Tabela 2.3 - Massa, temperatura efetiva e gravidade superficial obtidas por fotometria para a amostra 3.

Estrela	Massa (M_{\odot})	T_{ef} (K)	$\log g$ (dex)
Cl* NGC 2682 FBC 1877	$1.04^{+0.03}_{-0.03}$	5843 ± 65	$4.41^{+0.04}_{-0.04}$
Cl* NGC 2682 YBP 285	$1.05^{+0.03}_{-0.04}$	5874 ± 105	$4.42^{+0.04}_{-0.05}$
Cl* NGC 2682 YBP 1303	$0.99^{+0.03}_{-0.02}$	5750 ± 39	$4.41^{+0.04}_{-0.04}$

Tabela 2.4 - Parâmetros estelares obtidos por espectroscopia para a amostra 3.

Estrela	Massa (M_{\odot})	T_{ef} (K)	$\log g$ (dex)	[Fe/H] (dex)	ξ_{turb} (km.s^{-1})	v_{macro} (km.s^{-1})	$v \sin i$ (km.s^{-1})
FBC 1877	$1.04^{+0.02}_{-0.02}$	5840 ± 24	4.46 ± 0.06	0.06 ± 0.02	1.02 ± 0.05	4.25	2.50
YBP 285	$1.06^{+0.03}_{-0.02}$	5883 ± 47	4.51 ± 0.08	0.07 ± 0.03	1.15 ± 0.0	4.32	2.70
YBP 1303	$1.01^{+0.02}_{-0.02}$	5768 ± 36	4.50 ± 0.06	0.04 ± 0.03	1.14 ± 0.07	3.91	3.00

são consistentes com valores adotados para gêmeas solares pois as temperaturas efetivas estão aproximadamente entre $T_{\text{ef},\odot} \pm 100$ K, as gravidades superficiais aproximadamente entre $\log g_{\odot} \pm 0.1$, e as metalicidades aproximadamente entre $[\text{Fe}/\text{H}]_{\odot} \pm 0.1$.

Com os parâmetros atmosféricos de todas as estrelas definidos, o passo seguinte foi determinar as abundâncias de Li. Para isso, utilizamos a linha de Li I na região de 6707.75 Å. Levando em consideração que a linha utilizada é assimétrica e contaminada por linhas de outras espécies, temos que empregar a síntese espectral. A Figura 2.8 apresenta o espectro solar sintético e todas as contribuições na região da linha do Li em 6707.75 Å, de acordo com a lista de linhas de Meléndez et al. (2012), mostrada na Tabela A.1, que inclui *blends* atômicos e moleculares (CN e C₂). Vale notar que há várias componentes do isótopo ⁷Li nessa região, o que introduz uma assimetria na linha estudada; o isótopo ⁶Li também contribui para essa assimetria em menor quantidade. No cálculo consideramos a contribuição do ⁶Li adotando a abundância desse isótopo no Sol ($\sim 8\%$ de acordo com Asplund et al. 2009). A razão isotópica exata não é muito relevante, pois a contribuição de ⁶Li é pequena. Também, no trabalho não notamos nenhum indício que sugira um excesso significativo de ⁶Li nas gêmeas solares da amostra, em acordo com os trabalhos de Reddy et al. (2002), Mandell et al. (2004) e Ghezzi et al. (2009).

Para a produção do espectro sintético usou-se novamente o código MOOG, dessa vez

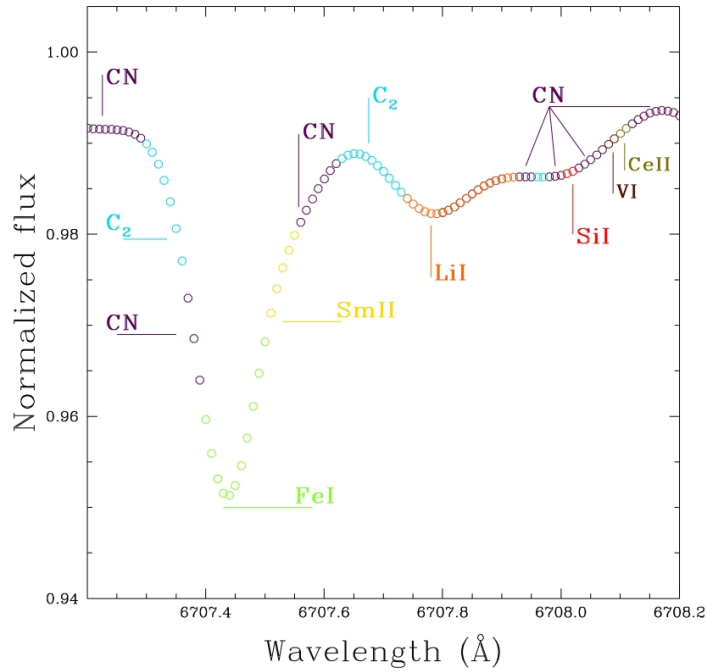


Figura 2.8: Figura original de [Carlos et al. \(2016\)](#) mostrando o espectro sintético solar e identificando diferentes espécies na região da linha Li I em 6707.75 Å.

usando a rotina *'synth'*. Além dos fatores que alargam o espectro já mencionados anteriormente, e que são considerados internamente pelo código MOOG, é preciso inserir valores de alargamento causados pela velocidade de macroturbulência (v_{macro}) e pela velocidade rotacional projetada ($v \sin i$) para cada objeto.

A velocidade de macroturbulência para o Sol foi determinada através do estudo do perfil das linhas de Fe I 6027.050 Å, 6093.644 Å, 6151.618 Å, 6165.360 Å, 6705.102 Å e Ni I 6767.772 Å, e considerando $v \sin i_{\odot} = 1.9 \text{ km.s}^{-1}$. Para o espectro solar observado pelo espectrógrafo HARPS obtivemos como referência $v_{\text{macro},\odot} = 3.2 \text{ km.s}^{-1}$, já para o espectro solar adquirido pelo espectrógrafo GRACES obtivemos $v_{\text{macro},\odot} = 4.1 \text{ km.s}^{-1}$.

As velocidades de macroturbulência para os objetos da amostra 1 foram determinadas pela Equação 2.3 ([Tucci Maia et al., 2015](#)), e para amostra 3 pela Equação 2.4 ([dos Santos et al., 2016](#)).

$$v_{\text{macro},\star} = v_{\text{macro},\odot} + \frac{(T_{\text{ef}} - 5777)}{486}, \quad (2.3)$$

onde $v_{\text{macro},\star}$ é a velocidade de macroturbulência da estrela analisada, $v_{\text{macro},\odot}$ é a velo-

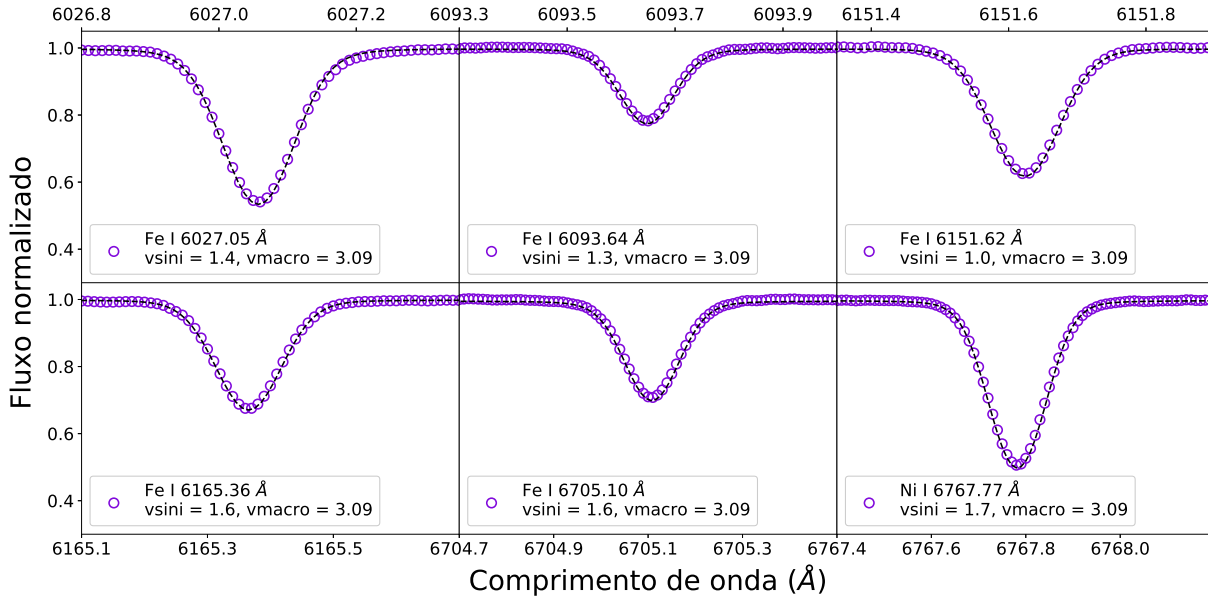


Figura 2.9: Espectro observado (círculos abertos roxos) da estrela HIP 1954 em comparação com as sínteses espectrais (linha preta tracejada) das linhas de Fe I 6027.050 Å, 6093.644 Å, 6151.618 Å, 6165.360 Å, 6705.102 Å, e Ni I 6767.772 Å.

cidade de macroturbulência para o Sol e T_{ef} é a temperatura efetiva da estrela analisada.

$$v_{\text{macro},\star} = v_{\text{macro},\odot} - 0.00707T_{\text{ef}} + 9.2422 \times 10^{-7}T_{\text{ef}}^2 + 10.0 + k_1(\log g - 4.44) + k_2, \quad (2.4)$$

onde, novamente, $v_{\text{macro},\star}$ é a velocidade de macroturbulência da estrela analisada, $v_{\text{macro},\odot}$ é a velocidade de macroturbulência para o Sol, T_{ef} é a temperatura efetiva da estrela analisada, $\log g$ é a gravidade superficial, e $k_1 = -1.81 \pm 0.26$ e $k_2 = -0.05 \pm 0.03$.

Depois de determinado o alargamento devido à macroturbulência para cada objeto, calculou-se o $v_{\text{sin } i}$ médio para as amostras 1 e 3 através da análise do perfil das seguintes linhas de Fe I, 6027.050 Å, 6093.644 Å, 6151.618 Å, 6165.360 Å, 6705.102 Å, e Ni I 6767.772 Å. A Figura 2.9 mostra a análise feita para a estrela HIP 1954, onde compara-se o espectro sintético criado com valores específicos de v_{macro} e $v_{\text{sin } i}$, com o respectivo espectro observado de cada estrela.

Os valores de v_{macro} e $v_{\text{sin } i}$ para a amostra 2 foram medidos por [dos Santos et al. \(2016\)](#). Todos os valores usados para determinação das abundâncias de Li estão presentes nas Tabelas 2.1, 2.2 e 2.4. Vale notar que adotamos os parâmetros estelares determinados

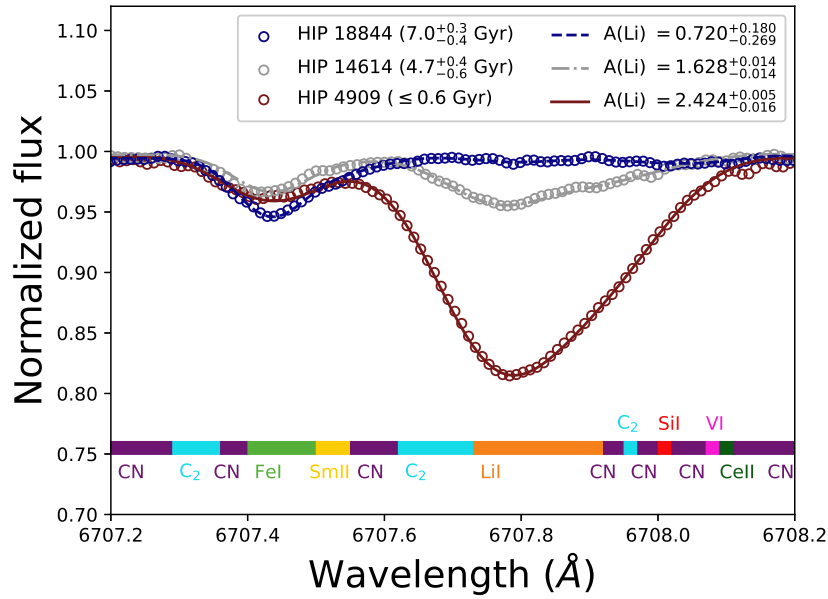


Figura 2.10: Figura original de Carlos et al. (2019). Espectros observados (círculos abertos) em comparação com os respectivos espectros sintéticos (linhas) para três estrelas de diferentes idades. A barra na base da figura indica a posição de cada contribuição atômica ou molecular dessa região.

por espectroscopia diferencial para a amostra 3, pois estes apresentam incertezas menores.

A Figura 2.10 mostra os espectros observados de diferentes estrelas e seus respectivos espectros sintéticos usados na determinação da abundância LTE de Li. Os resultados considerando correções non-LTE (NLTE) foram obtidos com a ajuda da base de dados INSPECT², que se baseia em cálculos NLTE de Lind et al. (2009).

Os erros na medida da abundância de Li foram obtidos levando-se em consideração incertezas no contínuo (σ_{cont}), no desvio *rms* do perfil de linha do espectro observado em relação ao perfil de linha do espectro sintético (σ_{rms}), e também os erros propagados dos parâmetros estelares ($\sigma_{T_{\text{ef}}}$, $\sigma_{\log g}$, $\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]}$, σ_{ξ}); como descrito na Equação 2.5:

$$\sigma_{\text{total}} = \sqrt{\sigma_{\text{cont}}^2 + \sigma_{\text{rms}}^2 + \sigma_{T_{\text{ef}}}^2 + \sigma_{\log g}^2 + \sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]}^2 + \sigma_{\xi}^2} \quad (2.5)$$

² www.inspect-stars.com (version 1.0).

2.2 Resultados e Discussão

A Tabela 2.5 contém os resultados finais para as abundâncias de Li ($A(\text{Li})$), tanto em LTE quanto em NLTE, para as três amostras estudadas.

Tabela 2.5 - Abundâncias de Li para as amostras 1, 2 e 3 (estrelas em negrito estão presentes tanto na amostra 1 como na 2).

Estrela	A(Li) LTE	A(Li) NLTE
<i>Amostra 1</i>		
HIP 1954	$1.39^{+0.02}_{-0.04}$	$1.43^{+0.02}_{-0.04}$
HIP 6455	$1.69^{+0.01}_{-0.01}$	$1.73^{+0.01}_{-0.01}$
HIP 15527	$0.67^{+0.08}_{-0.12}$	$0.71^{+0.08}_{-0.12}$
HIP 19925	$1.67^{+0.02}_{-0.01}$	$1.71^{+0.02}_{-0.01}$
HIP 20625	$0.86^{+0.10}_{-0.09}$	$0.90^{+0.10}_{-0.09}$
HIP 27058	$1.56^{+0.03}_{-0.03}$	$1.58^{+0.03}_{-0.03}$
HIP 30476	$\lesssim 0.57$	$\lesssim 0.61$
HIP 30503	$2.08^{+0.01}_{-0.02}$	$2.10^{+0.01}_{-0.02}$
HIP 41317	$0.58^{+0.14}_{-0.11}$	$0.62^{+0.14}_{-0.11}$
HIP 44713	$0.59^{+0.11}_{-0.19}$	$0.63^{+0.11}_{-0.19}$
HIP 49728	$0.96^{+0.12}_{-0.06}$	$1.00^{+0.12}_{-0.06}$
HIP 52369	$1.88^{+0.01}_{-0.01}$	$1.90^{+0.01}_{-0.01}$
HIP 54102	$2.19^{+0.01}_{-0.01}$	$2.21^{+0.01}_{-0.01}$
HIP 54287	$1.88^{+0.01}_{-0.01}$	$1.93^{+0.01}_{-0.01}$
HIP 74389	$2.08^{+0.02}_{-0.01}$	$2.11^{+0.02}_{-0.01}$
HIP 79672	$1.58^{+0.02}_{-0.03}$	$1.62^{+0.02}_{-0.03}$
HIP 95962	$1.24^{+0.04}_{-0.07}$	$1.28^{+0.04}_{-0.07}$
HIP 108468	$1.05^{+0.05}_{-0.03}$	$1.08^{+0.05}_{-0.03}$
HIP 109821	$0.67^{+0.06}_{-0.17}$	$0.71^{+0.06}_{-0.17}$
HIP 115577	$\lesssim 0.50$	$\lesssim 0.55$
HIP 116906	$0.89^{+0.08}_{-0.05}$	$0.93^{+0.08}_{-0.05}$
<i>Amostra 2</i>		
HIP 1954	$1.340^{+0.028}_{-0.061}$	$1.380^{+0.028}_{-0.061}$

Continua na próxima página

Tabela 2.5 – continuação da página anterior

Estrela	$A(\text{Li})$ LTE (dex)	$A(\text{Li})$ NLTE (dex)
HIP 3203	$2.450^{+0.005}_{-0.005}$	$2.452^{+0.005}_{-0.005}$
HIP 4909	$2.410^{+0.005}_{-0.016}$	$2.424^{+0.005}_{-0.016}$
HIP 5301	$\lesssim 0.910$	$\lesssim 0.952$
HIP 6407	$1.770^{+0.014}_{-0.028}$	$1.800^{+0.014}_{-0.028}$
HIP 7585	$1.790^{+0.008}_{-0.011}$	$1.829^{+0.008}_{-0.011}$
HIP 8507	$1.530^{+0.042}_{-0.030}$	$1.570^{+0.042}_{-0.030}$
HIP 9349	$2.010^{+0.010}_{-0.011}$	$2.036^{+0.010}_{-0.011}$
HIP 10175	$1.690^{+0.014}_{-0.022}$	$1.730^{+0.014}_{-0.022}$
HIP 10303	$1.490^{+0.014}_{-0.014}$	$1.540^{+0.014}_{-0.014}$
HIP 11915	$1.570^{+0.010}_{-0.014}$	$1.604^{+0.010}_{-0.014}$
HIP 14501	$\lesssim 0.220$	$\lesssim 0.260$
HIP 14614	$1.600^{+0.014}_{-0.014}$	$1.628^{+0.014}_{-0.014}$
HIP 15527	$0.640^{+0.141}_{-0.224}$	$0.676^{+0.141}_{-0.224}$
HIP 18844	$0.670^{+0.180}_{-0.269}$	$0.720^{+0.180}_{-0.269}$
HIP 22263	$2.370^{+0.005}_{-0.010}$	$2.383^{+0.005}_{-0.010}$
HIP 25670	$1.110^{+0.050}_{-0.050}$	$1.160^{+0.050}_{-0.050}$
HIP 28066	$0.710^{+0.054}_{-0.058}$	$0.745^{+0.054}_{-0.058}$
HIP 29432	$1.210^{+0.036}_{-0.022}$	$1.245^{+0.036}_{-0.022}$
HIP 30037	$0.740^{+0.141}_{-0.224}$	$0.790^{+0.141}_{-0.224}$
HIP 30158	$0.670^{+0.100}_{-0.197}$	$0.720^{+0.100}_{-0.197}$
HIP 30476	$\lesssim 0.270$	$\lesssim 0.315$
HIP 30502	$0.950^{+0.099}_{-0.094}$	$0.990^{+0.099}_{-0.094}$
HIP 33094	$0.620^{+0.166}_{-0.089}$	$0.678^{+0.166}_{-0.089}$
HIP 34511	$1.730^{+0.005}_{-0.022}$	$1.756^{+0.005}_{-0.022}$
HIP 36512	$1.200^{+0.036}_{-0.036}$	$1.236^{+0.036}_{-0.036}$
HIP 36515	$2.680^{+0.005}_{-0.005}$	$2.667^{+0.005}_{-0.005}$
HIP 38072	$1.620^{+0.054}_{-0.028}$	$1.656^{+0.054}_{-0.028}$

Continua na próxima página

Tabela 2.5 – continuação da página anterior

Estrela	A(Li) LTE (dex)	A(Li) NLTE (dex)
HIP 40133	$1.480^{+0.011}_{-0.021}$	$1.530^{+0.011}_{-0.021}$
HIP 41317	$0.690^{+0.081}_{-0.186}$	$0.733^{+0.081}_{-0.186}$
HIP 42333	$2.250^{+0.006}_{-0.006}$	$2.280^{+0.006}_{-0.006}$
HIP 43297	$1.590^{+0.014}_{-0.010}$	$1.640^{+0.014}_{-0.010}$
HIP 44713	$0.590^{+0.141}_{-0.355}$	$0.638^{+0.141}_{-0.355}$
HIP 44935	$0.980^{+0.057}_{-0.090}$	$1.020^{+0.057}_{-0.090}$
HIP 44997	$1.140^{+0.043}_{-0.036}$	$1.184^{+0.043}_{-0.036}$
HIP 49756	$1.410^{+0.014}_{-0.025}$	$1.450^{+0.014}_{-0.025}$
HIP 54102	$2.170^{+0.011}_{-0.010}$	$2.191^{+0.011}_{-0.010}$
HIP 54287	$1.860^{+0.007}_{-0.011}$	$1.911^{+0.007}_{-0.011}$
HIP 54582	$1.620^{+0.011}_{-0.022}$	$1.640^{+0.011}_{-0.022}$
HIP 62039	$0.760^{+0.067}_{-0.184}$	$0.814^{+0.067}_{-0.184}$
HIP 64150	$\lesssim 0.440$	$\lesssim 0.490$
HIP 64673	$1.780^{+0.010}_{-0.036}$	$1.799^{+0.010}_{-0.036}$
HIP 64713	$1.420^{+0.014}_{-0.036}$	$1.454^{+0.014}_{-0.036}$
HIP 65708	$0.710^{+0.144}_{-0.089}$	$0.750^{+0.144}_{-0.089}$
HIP 68468	$1.460^{+0.014}_{-0.071}$	$1.497^{+0.014}_{-0.071}$
HIP 69645	$1.040^{+0.057}_{-0.143}$	$1.080^{+0.057}_{-0.143}$
HIP 72043	$1.030^{+0.100}_{-0.076}$	$1.060^{+0.100}_{-0.076}$
HIP 73241	$\lesssim 0.180$	$\lesssim 0.240$
HIP 73815	$0.870^{+0.099}_{-0.122}$	$0.910^{+0.099}_{-0.122}$
HIP 74389	$2.060^{+0.005}_{-0.013}$	$2.090^{+0.005}_{-0.013}$
HIP 74432	$0.590^{+0.156}_{-0.112}$	$0.640^{+0.156}_{-0.112}$
HIP 76114	$0.910^{+0.064}_{-0.085}$	$0.950^{+0.064}_{-0.085}$
HIP 77052	$1.510^{+0.018}_{-0.022}$	$1.564^{+0.018}_{-0.022}$
HIP 77883	$0.660^{+0.061}_{-0.114}$	$0.710^{+0.061}_{-0.114}$
HIP 79578	$1.940^{+0.005}_{-0.006}$	$1.970^{+0.005}_{-0.006}$

Continua na próxima página

Tabela 2.5 – continuação da página anterior

Estrela	$A(\text{Li})$ LTE (dex)	$A(\text{Li})$ NLTE (dex)
HIP 79672	$1.570^{+0.011}_{-0.011}$	$1.608^{+0.011}_{-0.011}$
HIP 79715	$1.050^{+0.140}_{-0.085}$	$1.080^{+0.140}_{-0.085}$
HIP 81746	$0.590^{+0.242}_{-0.112}$	$0.630^{+0.242}_{-0.112}$
HIP 83276	$1.670^{+0.018}_{-0.009}$	$1.690^{+0.018}_{-0.009}$
HIP 85042	$0.480^{+0.124}_{-0.040}$	$0.533^{+0.124}_{-0.040}$
HIP 87769	$1.570^{+0.064}_{-0.030}$	$1.610^{+0.064}_{-0.030}$
HIP 89650	$1.380^{+0.024}_{-0.081}$	$1.409^{+0.024}_{-0.081}$
HIP 95962	$1.230^{+0.021}_{-0.106}$	$1.269^{+0.021}_{-0.106}$
HIP 96160	$1.720^{+0.007}_{-0.029}$	$1.750^{+0.007}_{-0.029}$
HIP 101905	$2.120^{+0.010}_{-0.014}$	$2.145^{+0.010}_{-0.014}$
HIP 102040	$2.160^{+0.010}_{-0.010}$	$2.170^{+0.010}_{-0.010}$
HIP 102152	$0.580^{+0.212}_{-0.224}$	$0.630^{+0.212}_{-0.224}$
HIP 104045	$1.510^{+0.064}_{-0.030}$	$1.550^{+0.064}_{-0.030}$
HIP 105184	$2.230^{+0.011}_{-0.014}$	$2.247^{+0.011}_{-0.014}$
HIP 108158	$0.560^{+0.194}_{-0.252}$	$0.616^{+0.194}_{-0.252}$
HIP 108468	$1.100^{+0.058}_{-0.122}$	$1.127^{+0.058}_{-0.122}$
HIP 109821	$0.670^{+0.136}_{-0.234}$	$0.707^{+0.136}_{-0.234}$
HIP 114615	$1.860^{+0.014}_{-0.011}$	$1.886^{+0.014}_{-0.011}$
HIP 115577	$\lesssim 0.160$	$\lesssim 0.210$
HIP 116906	$0.740^{+0.191}_{-0.112}$	$0.778^{+0.191}_{-0.112}$
HIP 117367	$1.420^{+0.028}_{-0.058}$	$1.450^{+0.028}_{-0.058}$
HIP 118115	$0.920^{+0.042}_{-0.081}$	$0.960^{+0.042}_{-0.081}$
<i>Amostra 3</i>		
FBC 1877	$1.76^{+0.05}_{-0.06}$	$1.79^{+0.05}_{-0.06}$
YBP 285	$1.57^{+0.18}_{-0.30}$	$1.60^{+0.18}_{-0.30}$
YBP 1303	$\lesssim 1.19$	$\lesssim 1.24$

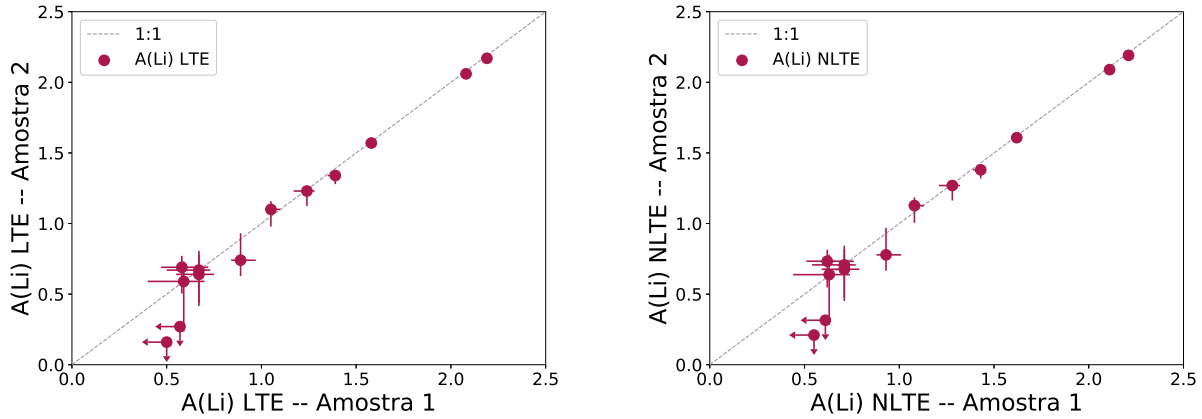


Figura 2.11: Comparação entre as medidas de $A(\text{Li})$ para as amostras 1 e 2: LTE (painel esquerdo) e NLTE (painel direito).

Novamente, as estrelas marcadas em negrito na Tabela 2.5 foram analisadas de forma independente tanto na amostra 1 quanto na amostra 2. Vale notar que os parâmetros estelares obtidos para esses objetos diferem ligeiramente entre si da amostra 1 para a amostra 2, mas são compatíveis dentro de, no máximo, $\sim 2\sigma$. A Figura 2.11 mostra a comparação do resultado das duas análises para esse conjunto de estrelas; 11 dos 13 objetos comparados ($\sim 84\%$) estão razoavelmente de acordo se consideradas as barras de erros. Justamente os dois objetos que mostram significativas diferenças em $A(\text{Li})$ apresentam limites superiores de abundâncias de Li (HIP 30476 e HIP 115577), devido à linha extremamente fraca observada (a linha de Li apresenta fluxo observado da ordem de $\sim 1\%$ para essas duas estrelas), sendo assim, mais sensível ao sinal ruído (estrelas da amostra 2 foram observadas mais vezes) e à normalização (as amostras 1 e 2 foram normalizadas por pessoas diferentes), que podem ter afetado o resultado final. Por fim, para as estrelas presentes nas amostras 1 e 2, damos preferência aos resultados da amostra 2, pois estas apresentam maior número de observações em comparação à amostra 1, produzindo maiores S/N e, portanto, resultados mais confiáveis.

2.2.1 Amostra 1

A Figura 2.12 contém o resultado obtido pela análise da amostra 1, onde podemos notar uma forte correlação entre depleção de Li com idade estelar (estrelas mais novas têm

mais Li do que estrelas mais velhas). Comparamos os resultados com modelos de evolução estelar não-padrão de uma estrela de massa e metalicidade solares (Xiong e Deng, 2009; do Nascimento et al., 2009; Charbonnel e Talon, 2005; Denissenkov, 2010; Andrásy e Spruit, 2015). Como citado anteriormente, esses modelos levam em consideração fenômenos físicos não incluídos no modelo padrão de evolução solar e podem conter circulação meridional, difusão (assentamento gravitacional e aceleração radiativa), turbulência, ondas de gravidade, *overshooting* devido à convecção, e assentamento convectivo. De maneira geral todos os modelos concordam qualitativamente com as observações, como esperado já que esses modelos foram calibrados usando o Sol e dados observados de algumas gêmeas solares.

Além das estrelas presentes na amostra 1 (representadas por círculos; pretos para estrelas sem planetas detectados, vermelhos para estrelas com planetas detectados e verdes para estrelas do disco espesso), a Figura 2.12 apresenta também resultados de trabalhos anteriores representados por triângulos pretos para estrelas sem planetas detectados e triângulos vermelhos para estrelas com planetas detectados (18 Sco e HIP 102152 de Monroe et al. 2013, HIP 56948 de Meléndez et al. 2012, HIP 114328 de Meléndez et al. 2014, e 16 Cyg A e 16 Cyg B de Ramírez et al. 2011). A temperatura efetiva, gravidade superficial e idades para as estrelas dos trabalhos mencionados anteriormente foram determinadas da mesma forma que nas estrelas da amostra 1, por análise espectroscópica diferencial em relação ao Sol para T_{ef} e $\log g$ e interpolação de isócronas de Yonsei-Yale para as idades. Assim, espera-se que essas idades e abundâncias de Li estejam no mesmo sistema que as dos objetos da amostra 1.

Para além da forte correlação entre depleção de Li e idade estelar, a Figura 2.12 também mostra três estrelas que não seguem a tendência observada no restante da amostra 1; são essas estrelas HIP 27058 (HD 38277), HIP 54287 (HD 96423) e 16 Cyg A. Esses objetos apresentam altas quantidades de Li em relação à estrelas de idades similares e também em comparação aos modelos de evolução estelar não-padrão apresentados nessa figura. Uma explicação para a existência dessas gêmeas solares ricas em Li é a possibilidade dessas estrelas terem passado por um episódio de acreção planetária ocorrida já na sequência principal, como descrito em Montalbán e Rebolo (2002) e Sandquist et al. (2002). Se esse for o caso estaríamos talvez observando um evento de curta duração, pois de acordo com Théado e Vauclair (2012) a mistura causada por termohalina no interior de gêmeas solares diluiria essa sobreabundância de Li em aproximadamente ~ 50 milhões de anos.

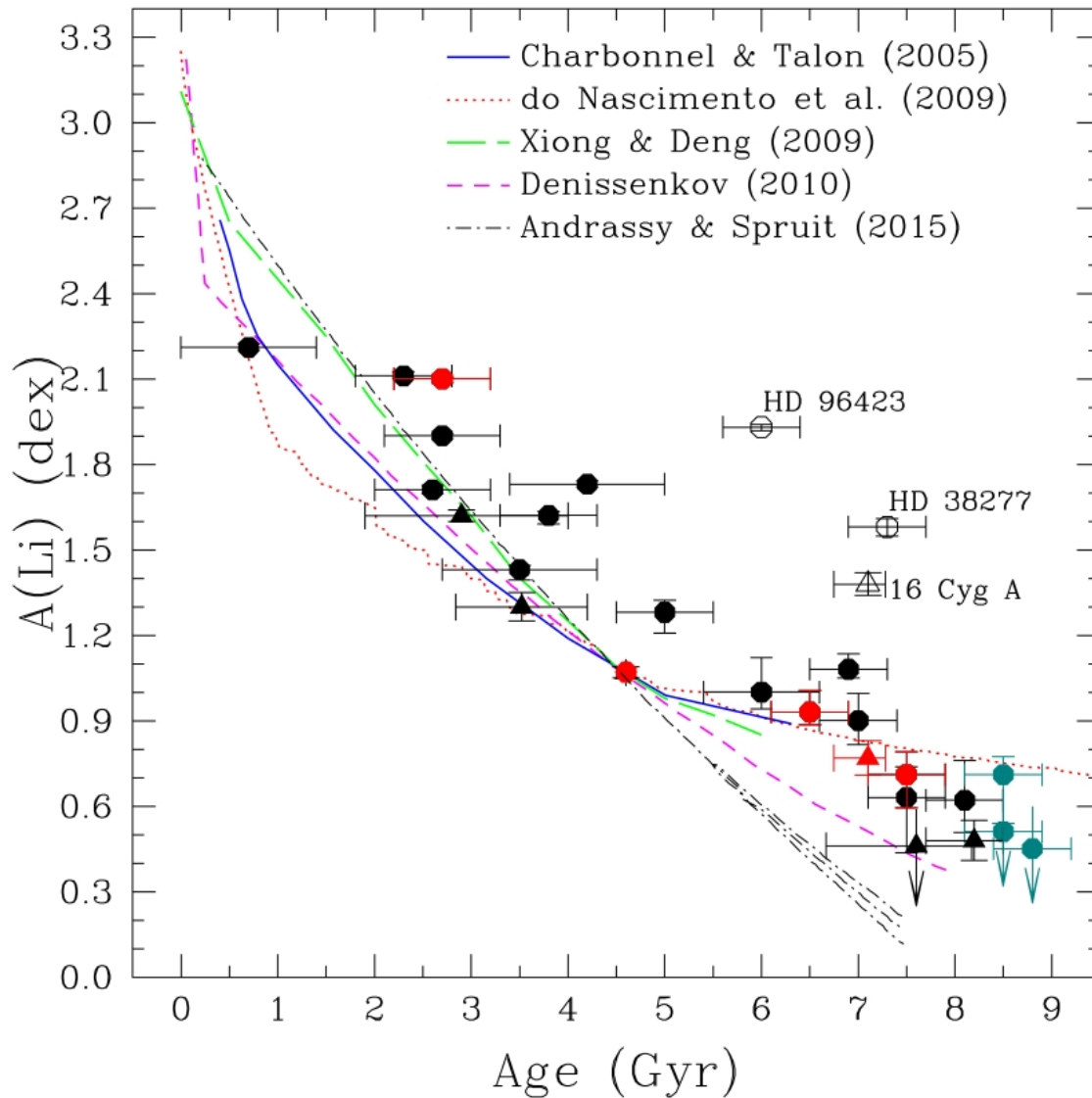


Figura 2.12: Figura original de Carlos et al. (2016). Conexão entre idades estelares e depleção de Li para a amostra 1. Estrelas da amostra 1 estão representadas por círculos enquanto triângulos mostram gêmeas solares da literatura (referenciadas no texto). Estrelas com planetas estão representadas por símbolos vermelhos, gêmeas solares sem planetas detectados têm símbolos pretos e estrelas com composição química do disco espesso da Galáxia são representadas por símbolos verdes.

Podemos observar também na Figura 2.12 que as estrelas com enriquecimento- α (representadas pelos círculos verdes) seguem a mesma tendência que as estrelas do disco fino. Vale notar que duas dessas estrelas enriquecidas em elementos α (HIP 30476 e HIP 109821) apresentam cinemática do disco espesso, enquanto a terceira (HIP 115577) tem cinemática do disco fino como as outras estrelas da amostra 1 e padrão de abundâncias químicas consistentes com as outras duas estrelas do disco espesso (Nissen, 2015).

Um ajuste linear entre $A(\text{Li})$ e idade para as estrelas da amostra 1 através do método dos mínimos quadrados nos dá:

$$A(\text{Li}) = 2.437(\pm 0.098) - 0.224(\pm 0.018)\text{Idade}[\text{Gano}]. \quad (2.6)$$

Um teste de correlação *Spearman* foi feito com todas as estrelas da amostra 1 para as quais abundâncias de Li foram derivadas (excluindo estrelas com limites superiores). Podemos afirmar que a correlação Li-idade tem uma significância de aproximadamente 10σ ; e o coeficiente *rank* de Spearman $r_s = -0.89$ foi encontrado com uma probabilidade de 10^{-8} desses resultados terem surgido ao acaso. Assim, mesmo quando consideramos as duas estrelas ricas em Li, a correlação encontrada entre Li e idade é muito forte. Por outro lado, se excluirmos as estrelas anômalas (HIP 27058 e HIP 54287), a correlação entre Li e idade para as 17 estrelas da amostra 1, que têm detecções precisas de Li, tem um nível de significância de 23σ e uma probabilidade extremamente pequena de não ser real (10^{-11}) com um coeficiente *rank* de Spearman $r_s = -0.96$, ou seja, uma correlação quase perfeita de *Spearman*. Assim, os resultados encontrados aqui estão em contraste com os encontrados no trabalho de Delgado Mena et al. (2014), que analisou estrelas em um intervalo mais amplo de massas e metalicidades em relação ao Sol, e encontrou uma fraca correlação entre depleção de Li e idade estelar.

Outra alternativa para a depleção de Li acentuada discutida na literatura é a presença de planetas. Israelian et al. (2009) sugerem que estrelas que hospedam planetas apresentam menos Li que estrelas que não tenham planetas, já Baumann et al. (2010) contestam esse resultado afirmando que a amostra do trabalho citado é enviesada em metalicidade e inclui estrelas em diferentes estágios evolutivos. Nosso resultado, mostrado na Figura 2.12, em acordo com os estudos de Baumann et al. (2010) e Ghezzi et al. (2010), não mostra nenhuma conexão entre depleção de Li e a presença de planetas; estrelas com planetas detectados (círculos vermelhos) seguem a mesma tendência de depleção de Li com idade estelar que

gêmeas solares sem planetas detectados (círculos pretos).

A amostra 1 sem os dados que têm limite superior de abundâncias de Li apresenta espalhamento de ≈ 0.18 dex em $A(\text{Li})$, estimado pelo desvio padrão das abundâncias de Li em bins de 1 Gano. Uma possível causa que pode ter contribuído para o espalhamento encontrado na Figura 2.12 é a rotação inicial de cada estrela. Para modelos que incluem mistura induzida por rotação, variações na velocidade de rotação inicial podem causar um espalhamento considerável nas abundâncias de Li para uma mesma idade estelar; uma mudança de velocidade rotacional inicial de 15 km.s^{-1} para 110 km.s^{-1} causaria um decréscimo de ~ 1 dex em $A(\text{Li})$ (Charbonnel e Talon, 2005). Entretanto, diferenças enormes na velocidade rotacional inicial são necessárias para explicar as gêmeas solares ricas em Li.

Para entender melhor a causa do espalhamento em $A(\text{Li})$, e também a existência de estrelas ricas em Li, para uma dada idade, uma análise qualitativa sobre a influência das massas e $[\text{Fe}/\text{H}]$ para cada estrela da amostra 1 foi feita.

A Figura 2.13 mostra a distribuição de $A(\text{Li})$ com idade estelar e $[\text{Fe}/\text{H}]$ codificada por cor. Podemos notar que a metalicidade não tem relação direta com a depleção de Li já que a distribuição de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para uma dada idade é homogênea. O mesmo acontece quando analisamos o parâmetro massa; podemos observar na Figura 2.14 que a distribuição de massa para uma dada idade também é homogênea.

Um ajuste dos resíduos relativos à Eq. 2.6 em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ e massa é mostrado a seguir:

$$\Delta A(\text{Li}) = -0.05 - 2.17(\pm 1.30)[\text{Fe}/\text{H}] + 3.55(\pm 2.25)(M/M_{\odot} - 1.0). \quad (2.7)$$

Podemos observar que os coeficientes têm os sinais esperados; a depleção de Li cresce com $[\text{Fe}/\text{H}]$ e decresce com a massa, em concordância com as previsões teóricas de Castro et al. (2009). Entretanto, a dependência é pouco significativa, com correlação de 1.7σ com $[\text{Fe}/\text{H}]$ e 1.6σ com massa.

Com os parâmetros massa e $[\text{Fe}/\text{H}]$, determinamos o tamanho em massa do envelope convectivo para cada estrela, interpolando parâmetros na grade de isócronas de YaPSI³ (Spada et al., 2017). A Figura 2.15 mostra a correlação entre depleção de Li e idade

³ Yale Astro web page: <http://www.astro.yale.edu/yapsi/>; AIP web page: <http://vo.aip.de/yapsi/>.

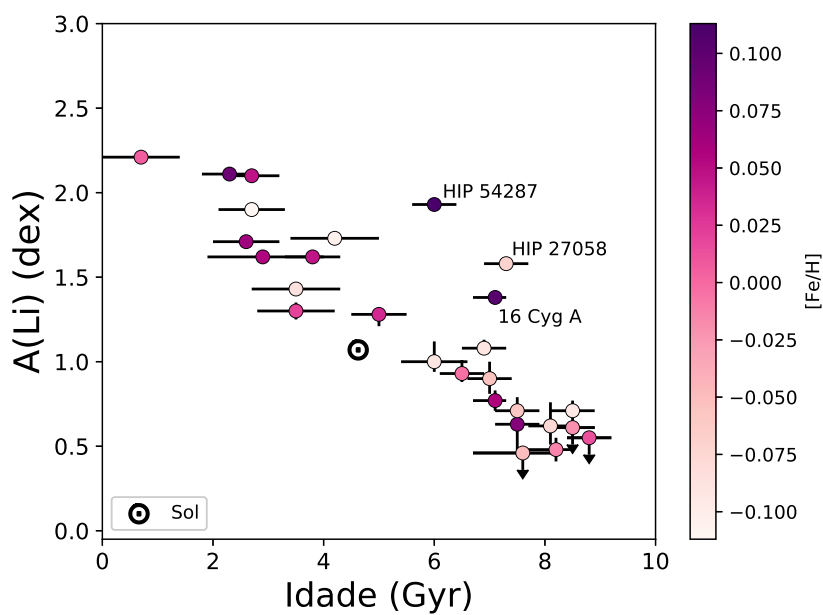


Figura 2.13: Depleção de Li em função da idade, com $[\text{Fe}/\text{H}]$ codificada por cor para a amostra 1.

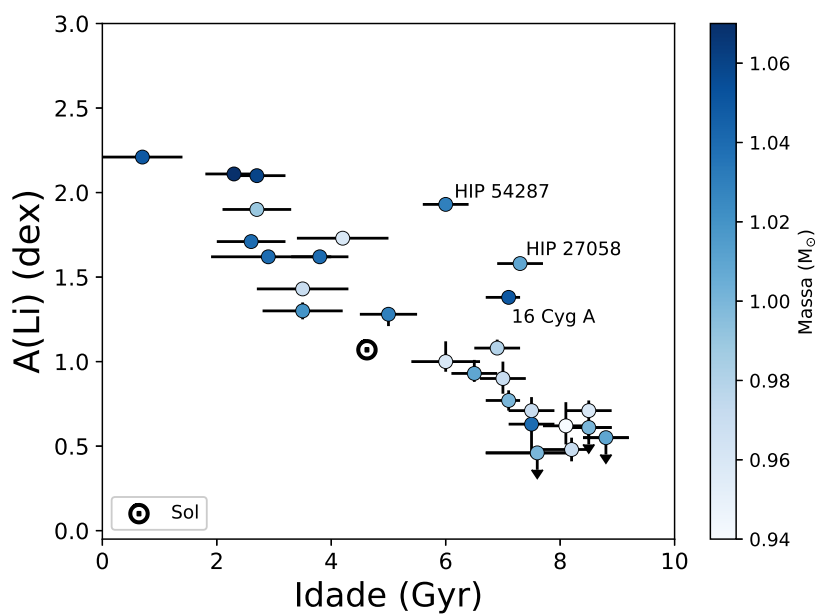


Figura 2.14: Depleção de Li em função da idade, com massa codificada por cor para a amostra 1.

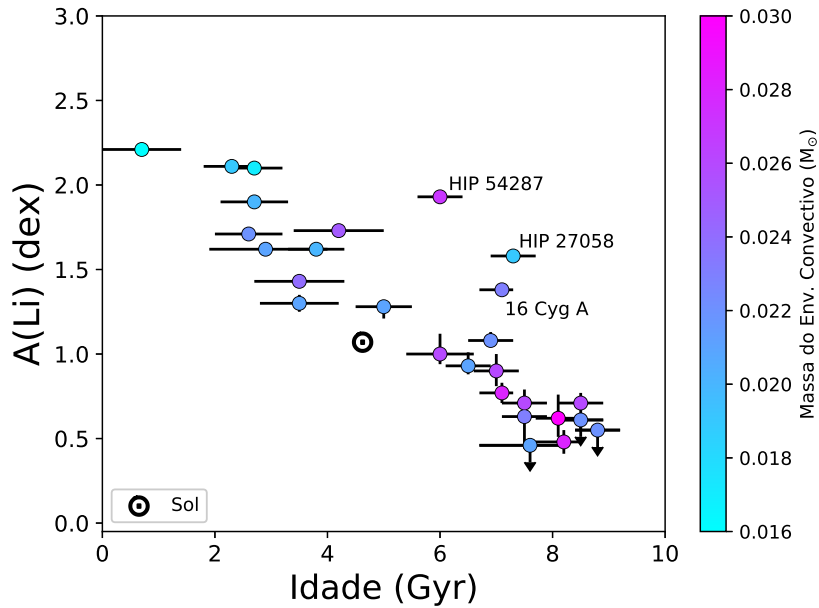


Figura 2.15: Depleção de Li em função da idade, com a massa do envelope convectivo codificada por cor para a amostra 1.

estelar e o tamanho do envelope convectivo codificado por cor. Podemos notar que estrelas com idade $\lesssim 3$ Gyr têm envelope convectivo menos massivo que estrelas mais velhas, já estrelas com idade $\gtrsim 3$ Gyr apresentam envelopes convectivos de tamanhos similares (excluindo as estrelas anômalas em Li). Uma combinação de massa e metalicidade fez com que a estrela HIP 27058 apresente um envelope convectivo menos massivo que estrelas com idades semelhantes, podendo, assim, ser a causa do baixo Li queimado.

Já as gêmeas solares HIP 54287 e 16 Cyg A apresentam envelopes convectivos com massas semelhantes às outras estrelas de mesma idade, mais uma evidência de que estas estrelas possam ter de fato engolido um planeta. Se esse realmente for o caso, estamos observando mais estrelas do que deveríamos, considerando o tempo de mistura de ~ 50 milhões de anos sugerido por Théado e Vauclair (2012). Isso nos leva a concluir ou que não estamos observando um evento de acreção planetária, ou que a escala temporal de diluição do material na estrela talvez seja maior.

2.2.2 Amostra 2

Os resultados para a análise da amostra 2 são mostrados na Figura 2.16, onde novamente podemos observar uma forte correlação entre depleção de Li e idade estelar. Como na amostra 1, os resultados da amostra 2 também foram comparados com modelos não-padrão de evolução estelar (Charbonnel e Talon, 2005; do Nascimento et al., 2009; Xiong e Deng, 2009; Denissenkov, 2010; Thévenin et al., 2017).

No geral, a amostra 2 segue a correlação entre depleção de Li e idade estelar de forma razoável com um espalhamento típico de ≈ 0.22 dex para uma dada idade, estimado pelo desvio padrão das abundâncias de Li em bins de 1 Gano (excluindo quatro estrelas anômalas que apresentam altas quantidades de Li para suas idades: HIP 54287, HIP 54582, HIP 64673 e HIP 83276). Fizemos também para a amostra 2 um teste de correlação de *Spearman*, excluindo as estrelas anômalas, e achamos um coeficiente *rank* de Spearman $r_s = -0.95$ e uma probabilidade de 10^{-37} dos resultados terem surgido ao acaso.

Vale notar que a amostra 2 apresenta 10 novas gêmeas solares no intervalo de idade $0.0 \leq \text{Idade (Gano)} \lesssim 2.0$ em comparação com a amostra 1. Podemos notar na Figura 2.16 que essas estrelas com idade $\lesssim 2$ Gano apresentam queda acentuada de $A(\text{Li})$ com idade, comportamento que pode ser explicado pelas altas velocidades de rotação que essas estrelas apresentam (Pace e Pasquini, 2004; Barnes, 2007; do Nascimento et al., 2014; dos Santos et al., 2016), que podem influenciar na estrutura interna estelar (Ballot et al., 2007; Brown et al., 2008) e aumentar os mecanismos de transporte interno (Schirbel et al., 2015), afetando a quantidade de Li queimada num determinado intervalo de tempo. Nesse intervalo de idade nossos dados estão mais bem representados pelo modelos não-padrão de evolução solar de do Nascimento et al. (2009), que leva em consideração os processos de mistura induzida por rotação e difusão. Por outro lado, não há acordo entre os dados e os modelos no intervalo de $2.0 \lesssim \text{Idade (Gano)} \lesssim 4.0$, onde os modelos predizem uma depleção de Li mais significativa do que a tendência quase plana observada.

Também podemos observar que o Sol tem uma baixa abundância de Li em comparação com estrelas de idades similares, apesar de trabalhos na literatura indicarem que o Sol tem rotação e atividade estelar típicas comparadas a gêmeas solares de mesma idade (dos Santos et al., 2016; Lorenzo-Oliveira et al., 2018). A Figura 2.17 mostra de duas formas diferentes, a partir dessas observações, que o Sol é mais pobre em Li comparado com gêmeas

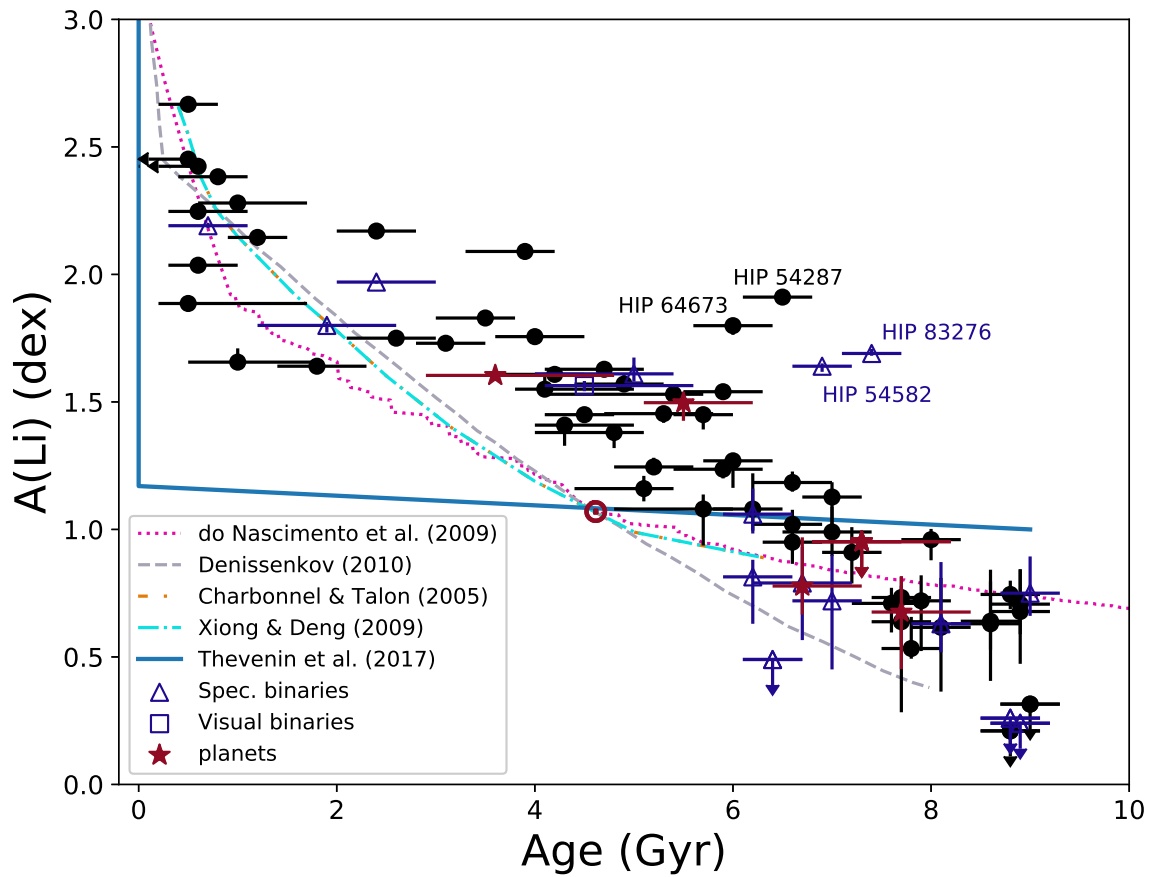


Figura 2.16: Figura original de Carlos et al. (2019). Conexão entre idades estelares e depleção de Li para a amostra 2. Estrelas com planetas detectados estão representadas pelo símbolo de estrela na cor vinho, quadrados azuis abertos mostram binárias visuais, triângulos azuis abertos mostram binárias espectroscópicas e os círculos pretos representam estrelas sem planetas detectados.

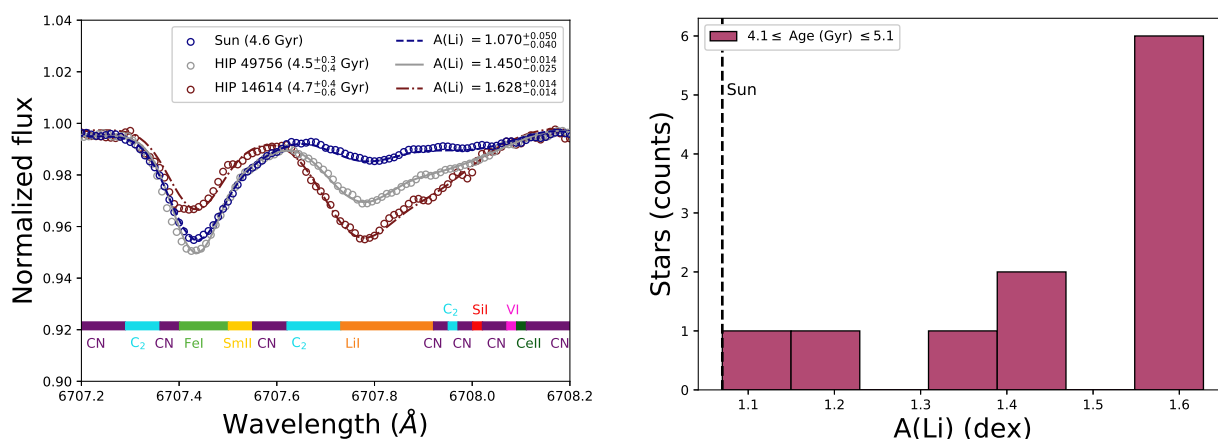


Figura 2.17: Figuras originais de [Carlos et al. \(2019\)](#). O painel esquerdo mostra espectros observados (círculos abertos) em comparação com os respectivos espectros sintéticos para o Sol e duas estrelas de idades similares. O painel direito apresenta a distribuição de $A(\text{Li})$ para uma sub-amostra de gêmeas solares com idades entre 4.1 e 5.1 Gano. A linha tracejada vertical marca a abundância NLTE de Li do Sol.

solares de mesma idade. O painel esquerdo da Figura 2.17 apresenta o espectro observado em comparação com os respectivos espectros sintéticos para o Sol e outras duas estrelas de idade similar (HIP 49756 de $4.5^{+0.3}_{-0.4}$ Gano e HIP 14614 de $4.7^{+0.4}_{-0.6}$ Gano); podemos observar que o Sol apresenta a linha de Li mais fraca entre os três espectros mostrados. Já o painel direito da Figura 2.17 mostra a distribuição de $A(\text{Li})$ para estrelas entre 4.1 e 5.1 Gano; nesse intervalo o Sol apresenta o menor valor de $A(\text{Li})$, o bin solar está abaixo de 91% da amostra de estrelas com idade de 4.6 ± 0.5 Gano. Ademais, os buracos na distribuição apresentada no painel direito da Figura 2.17 confirmam a demanda por observações de novas gêmeas solares nesse intervalo de idade.

Assim como na amostra 1, para entendermos melhor a natureza das estrelas anômalas presentes na amostra 2, analisamos novamente a correlação entre $A(\text{Li})$ e idade estelar com $[\text{Fe}/\text{H}]$, massas, e as massas do envelope convectivo de cada estrela (calculadas da mesma forma que para a amostra 1).

A Figura 2.18 mostra dependência entre $A(\text{Li})$ e idade estelar com $[\text{Fe}/\text{H}]$ codificada por cor. Assim como para a amostra 1, podemos concluir que a amostra 2 é homogênea em relação à metalicidade e não há tendência aparente entre abundâncias de Li e $[\text{Fe}/\text{H}]$ para uma dada idade. Ademais, as estrelas anômalas HIP 54287, HIP 54582, HIP 64673 e

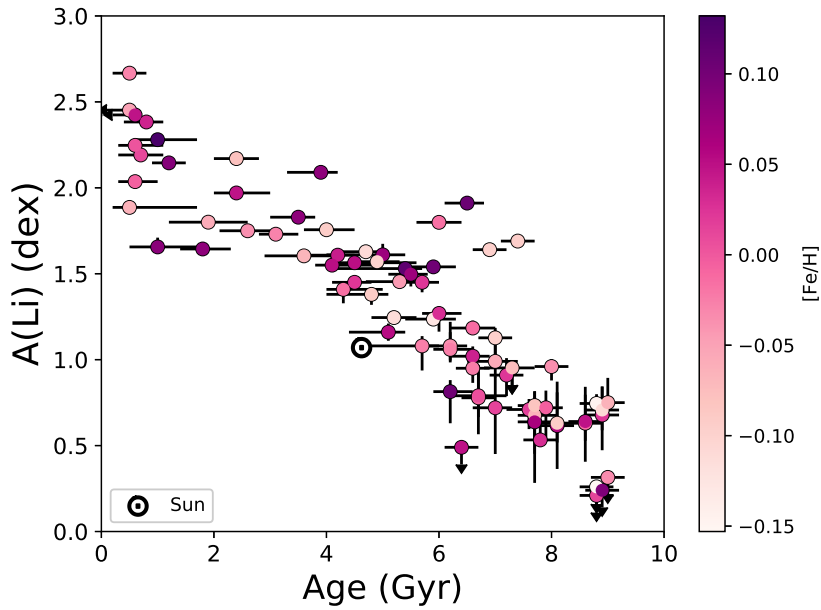


Figura 2.18: Figura original de [Carlos et al. \(2019\)](#). Depleção de Li em função da idade, com $[\text{Fe}/\text{H}]$ codificada por cor para a amostra 2.

HIP 83276 têm $[\text{Fe}/\text{H}]$ diferentes entre si, variando de -0.096 dex a 0.107 dex.

A Figura 2.19 apresenta a correlação entre $A(\text{Li})$ e idade estelar com massa codificada por cor. Da mesma forma que $[\text{Fe}/\text{H}]$, a distribuição em massa é razoavelmente homogênea para todas as idades, exceto para estrelas mais jovens com idades $\lesssim 2.0$ Gano, onde faltam estrelas com massa $\lesssim 0.98M_{\odot}$.

A correlação entre $A(\text{Li})$ e idade estelar com a massa do envelope convectivo para toda amostra 2 pode ser encontrada na Figura 2.20. Seguindo a dependência em $[\text{Fe}/\text{H}]$ e massa mostradas nas Figura 2.18 e 2.19, a amostra 2 é suficientemente homogênea para gêmeas solares com idade $\gtrsim 2$ Gano (desconsiderando as estrelas anômalas mencionadas anteriormente).

Das quatro estrelas consideradas anômalas, três apresentam massa do envelope convectivo menor em comparação a estrelas de mesma idade (HIP 54582, HIP 64673 e HIP 83276). Isso é provavelmente um efeito da combinação dos baixos valores de $[\text{Fe}/\text{H}]$ e altos valores de massa, em comparação com outros objetos da amostra 2. Como discutido anteriormente, um envelope convectivo menor implica em menor queima de Li, o que causaria a discrepância de $A(\text{Li})$ dessas três estrelas anômalas em comparação com o restante da

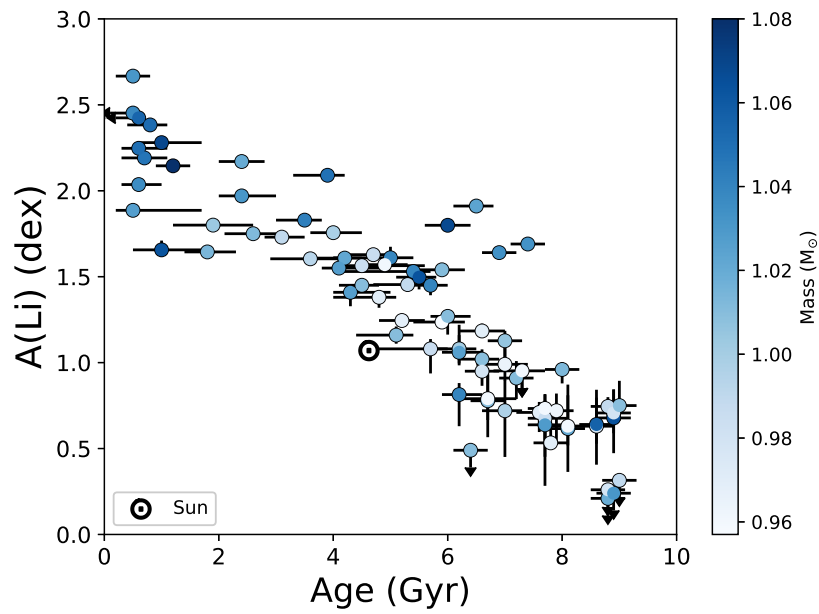


Figura 2.19: Figura original de Carlos et al. (2019). Depleção de Li em função da idade, com massa codificada por cor para a amostra 2.

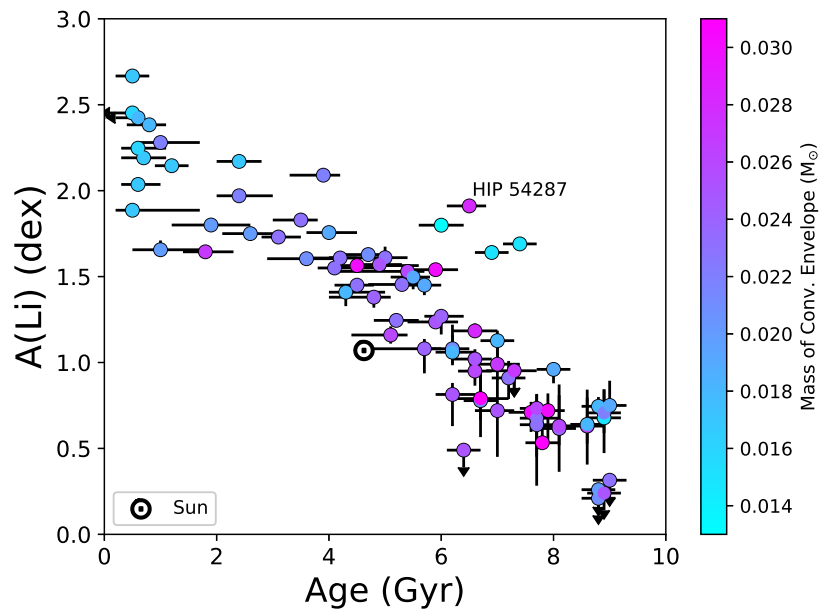


Figura 2.20: Figura original de Carlos et al. (2019). Depleção de Li em função da idade, com a massa do envelope convectivo codificada por cor para a amostra 2.

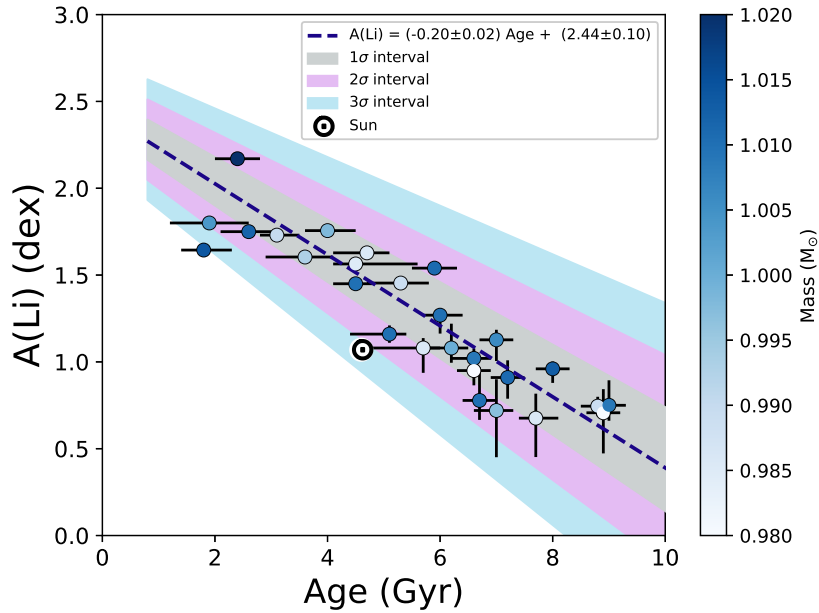


Figura 2.21: Figura original de Carlos et al. (2019). $A(\text{Li})$ versus idade estelar no intervalo $0.98 \leq M/M_{\odot} \leq 1.02$, com massa codificada por cor.

amostra 2.

Já a estrela HIP 54287 apresenta os mesmos resultados nas análises independentes das amostras 1 e 2; essa estrela tem massa do envelope convectivo regular para sua idade quando comparada com o restante da amostra. Ainda assim, essa estrela é rica em Li, o que sugere que pode ter ocorrido um ou mais eventos de acreção planetária durante sua vida na fase de sequência principal, como discutido anteriormente.

Para entendermos melhor o fato do Sol ser pobre em Li em comparação com outras gêmeas solares de idades semelhantes, criamos uma subamostra de estrelas com massas no intervalo $0.98 \leq M/M_{\odot} \leq 1.02$, excluindo as estrelas anômalas. Essa subamostra, apresentada na Figura 2.21, é homogênea e tem valor mediano para as massas do envelope convectivo de 0.023 ± 0.003 .

Para essa subamostra, o ajuste linear foi calculado usando uma regressão de distância ortogonal com o pacote de python *scipy.odr*⁴, considerando os erros em ambos os eixos, entre $A(\text{Li})$ e idade estelar:

⁴ <http://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/odr.html>

$$A(\text{Li}) = (-0.20 \pm 0.02)\text{Idade}[\text{Gano}] + (2.44 \pm 0.10). \quad (2.8)$$

Da Figura 2.21 podemos concluir novamente que o Sol é pobre em Li comparado a estrelas de mesma idade. Ele pode ser considerado uma estrela anômala em $\sim 2\sigma$ do ajuste da Eq. 2.8.

A partir da Eq. 2.8 encontramos, para a amostra 2 completa, os resíduos de Li ($\Delta(\text{Li}) = A(\text{Li})_{\text{obs.}} - A(\text{Li})$, onde $A(\text{Li})$ é dado pela Eq. 2.8) em função dos parâmetros estelares, massa e $[\text{Fe}/\text{H}]$:

$$\Delta A(\text{Li}) = -(3.55 \pm 1.11) + (3.47 \pm 1.09)M/M_{\odot} - (1.17 \pm 0.52)[\text{Fe}/\text{H}]. \quad (2.9)$$

Os resultados da Eq. 2.9 são compatíveis com os resultados da Eq. 2.7 calculada para a amostra 1. No entanto, os resíduos da amostra 2 apresentam dependência com os parâmetros estelares com maior significância em comparação com os resíduos da amostra 1 (3.2σ contra 1.6σ para massa e 2.3σ contra 1.7σ para $[\text{Fe}/\text{H}]$).

O trabalho de Meléndez et al. (2009) mostrou que o Sol apresenta uma deficiência de 20% de elementos refratários em relação a elementos voláteis, em comparação com um conjunto de gêmeas solares da vizinhança solar com idades similares ao Sol e sem planetas detectados. Esse resultado foi encontrado analisando-se os ajustes das abundâncias químicas dessas estrelas com respeito à temperatura de condensação dos elementos (T_{cond}), pois acredita-se que os elementos refratários faltantes em estrelas com planetas podem ter sido usados na formação desses planetas. Já que a inclinação dos ajustes de T_{cond} está ligada ao volume de elementos refratários na atmosfera de uma estrela, a análise desses ajustes pode nos ajudar a entender melhor os cenários de formação planetária.

O estudo de Bedell et al. (2018) analisou e ajustou os dados de abundâncias químicas elementais versus a temperatura de condensação desses elementos para toda a amostra 2 (incluindo correções dada a evolução química da Galáxia). De acordo com o trabalho de Bedell et al. (2018), o Sol é pobre em elementos refratários em comparação a elementos voláteis, em relação a 93% da amostra de gêmeas solares. A Figura 2.22 mostra os resíduos $\Delta A(\text{Li})$ para a subamostra de estrelas com massa no intervalo $0.98 \leq M/M_{\odot} \leq 1.02$, versus a respectiva inclinação do ajuste de T_{cond} .

Há três estrelas com planetas detectados, além do Sol, presentes na Figura 2.22. A estrela HIP 11915 tem um gêmeo de Júpiter detectado com período orbital de 3830 ± 150

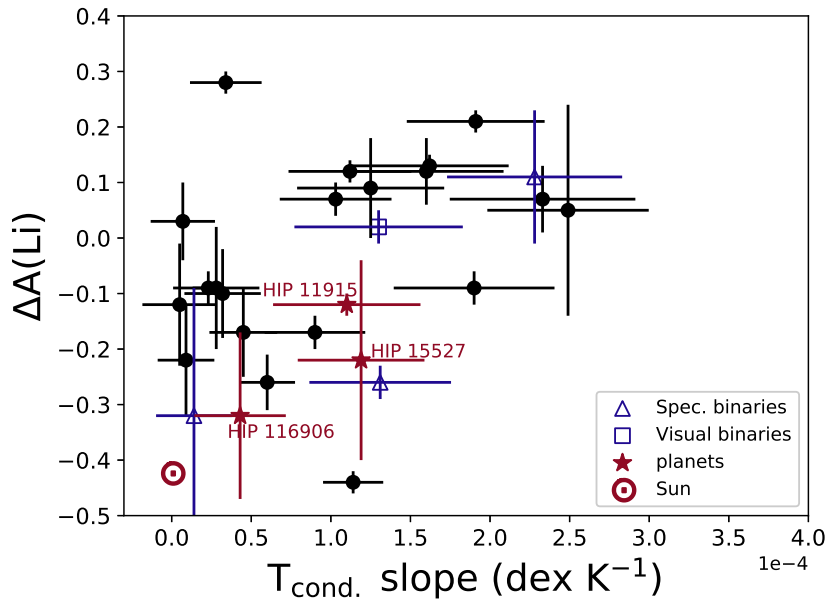


Figura 2.22: Figura original de [Carlos et al. \(2019\)](#). Resíduos de Li versus a inclinação do ajuste da temperatura de condensação (T_{cond}) de [Bedell et al. \(2018\)](#) para a subamostra com $0.98 \leq M/M_{\odot} \leq 1.02$. Os nomes das estrelas com planetas detectados são mostrados.

dias e $m_p \sin i = 0.99 \pm 0.06 M_{\text{jup}}$ ([Bedell et al., 2015](#)). Um planeta com período orbital de 572.38 ± 0.61 dias e $m_p \sin i = 7.75 \pm 0.65 M_{\text{jup}}$ foi detectado ao redor da estrela HIP 116906 ([Butler et al., 2006](#)). Já a estrela HIP 15527 tem um planeta detectado com período orbital de 595.86 ± 0.03 dias e $m_p \sin i = 1.77 \pm 0.22 M_{\text{jup}}$ ([Jones et al., 2006](#)).

Fizemos um teste de correlação de *Spearman* para a distribuição apresentada na Figura 2.22 considerando os erros em ambos os eixos e encontramos um coeficiente *rank* de Spearman $r_s = 0.47$ e probabilidade de 0.01 desses resultados terem surgido ao acaso. Essa possível correlação indica que as estrelas com maior conteúdo de Li depletado têm menos material refratário em sua superfície. Se a presença, ou mesmo a quantidade de planetas em um sistema planetário estiver conectada com a falta de elementos refratários, o que a Figura 2.22 mostra é que o baixo conteúdo de Li no Sol pode estar ligado à presença de planetas rochosos e à configuração do Sistema Solar. Vale notar que devemos ser cautelosos pois ainda não temos disponível um censo completo de gêmeas solares que hospedam planetas de massas terrestres.

2.2.3 Amostra 3

Apesar de encontrarmos uma boa correlação entre depleção de Li e idades estelares para gêmeas solares (amostras 1 e 2), é sabido que os erros envolvidos na determinação de idades para estrelas do campo são consideráveis. Numa tentativa de melhorar esses resultados, analisamos três estrelas pertencentes ao aglomerado aberto M67 (amostra 3).

O aglomerado M67 é bem conhecido, com vários estudos publicados na literatura, além de ser um ótimo ambiente para o estudo de estrelas similares ao Sol devido à sua idade e metalicidade. As idades do M67 publicadas na literatura variam de 3.4 a 5.4 Gano (p.ex., [VandenBerg e Stetson, 2004](#); [Sarajedini et al., 2009](#); [Magic et al., 2010](#); [Gaia Collaboration et al., 2018](#)), enquanto a metalicidade varia no intervalo $-0.1 \lesssim [\text{Fe}/\text{H}] \lesssim 0.1$ (p.ex., [Fan et al., 1996](#); [Önehag et al., 2011](#); [Gaia Collaboration et al., 2018](#); [Liu et al., 2016, 2019](#); [Souto et al., 2019](#)).

A Figura 2.23 apresenta os resultados para a amostra 3 e mais uma gêmea solar do aglomerado M67 observada e analisada por [Liu et al. \(2016\)](#), em comparação com as estrelas da amostra 2 ([Carlos et al., 2019](#)) e dados de outros aglomerados abertos (círculos azuis preenchidos) coletados da literatura: NGC 2264 de [King 1998](#); IC2602 e IC2391 de [Randich et al. 2001](#); Plêiades de [Soderblom et al. 1993](#); Blanco 1 de [Ford et al. 2005](#); NGC 6475 de [Sestito et al. 2003](#); NGC 1039 de [Jones et al. 1997](#); Coma Berenices de [Ford et al. 2001](#); Híades de [Thorburn et al. 1993](#); e NGC 762 de [Sestito et al. 2004](#). Há também um estudo recente de abundâncias de Li no aglomerado Ruprecht 147 ([Bragaglia et al., 2018](#)), no entanto, somente uma potencial gêmea solar tem medidas de Li (os outros dados são todos limites superiores).

Duas das três estrelas da amostra 3 têm resultados publicados na literatura. Os trabalhos de [Pasquini et al. \(2008\)](#) e [Castro et al. \(2011\)](#) mediram $A(\text{Li})$ para as estrelas YBP 285 e YBP 1303 com dados do espectrógrafo multi-objeto FLAMES/GIRAFFE no UT2/Kueyen ESO-Very Large Telescope (VLT; [Pasquini et al., 2002](#)) com resolução de $R \sim 17000$, insuficiente para separar as linhas 6707.43 Å de Fe I e 6707.75 Å de Li I. Vale notar que o trabalho de [Pasquini et al. \(2008\)](#) obteve as abundâncias de Li por medidas de largura equivalente, enquanto o estudo de [Castro et al. \(2011\)](#) é uma reanálise da mesma amostra do trabalho anterior usando a técnica de síntese espectral. Nosso trabalho provavelmente atingiu melhores resultados devido à maior resolução de nossos dados,

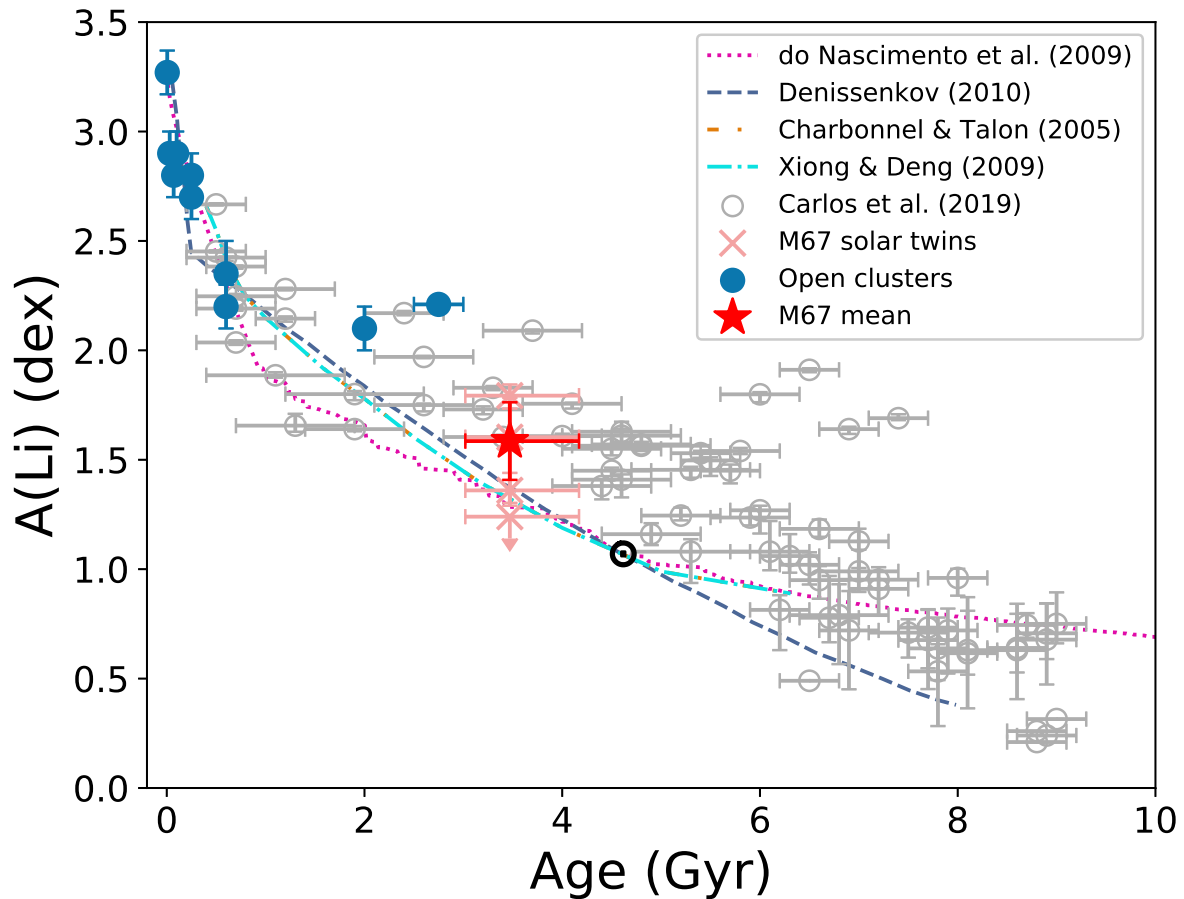


Figura 2.23: Figura original de Carlos et al. (2020). Conexão entre idades estelares e depleção de Li para a amostra 3. As estrelas do aglomerado M67 estão representadas por cruces vermelhas enquanto a respectiva mediana de $A(\text{Li})$ para essa amostra é mostrada pela estrela vermelha. Para comparação, a amostra 2 é mostrada por círculos abertos cinzas. Outras medidas de $A(\text{Li})$ em aglomerados encontradas na literatura estão representadas por círculos preenchidos azuis (as referências são encontradas no texto).

aproximadamente três vezes maior ($R \sim 45000$), que consegue resolver as linhas de Fe I e Li I. A terceira estrela da amostra 3, FBC 1877, teve sua abundância de Li determinada pela primeira vez.

Adicionamos à nossa análise a gêmea solar CI* NGC 2682 YBP 1194 estudada por Önehag et al. (2011) e Liu et al. (2016). Em Liu et al. (2016) essa estrela foi analisada da mesma forma que as outras da amostra 3, sendo seus parâmetros estelares $T_{\text{ef}} = 5786 \pm 13$ K, $\log g = 4.46 \pm 0.02$ dex, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.005 \pm 0.010$ dex e $\xi_{\text{turb}} = 1.04 \pm 0.02$ km.s⁻¹. A abundância de Li obtida por Liu et al. (2016) também foi determinada por síntese espectral (pela autora da tese) usando a mesma lista de linhas de Meléndez et al. (2012); Liu et al. (2016) calcularam $A(\text{Li})_{\text{NLTE}} = 1.36_{-0.07}^{+0.08}$ dex. Nosso trabalho estimou a massa dessa estrela usando isócronas de Yonsei-Yale adotando os parâmetros de Liu et al. (2016) ($M = 1.01_{-0.02}^{+0.02} M_{\odot}$).

Vale notar que o trabalho de Randich et al. (2002) observou uma candidata a gêmea solar (CI* NGC 2682 YBP 713, também conhecida como CI* NGC 2682 SAND 969), e obteve através do método de larguras equivalentes $A(\text{Li})_{\text{NLTE}} = 2.06 \pm 0.10$ dex. No entanto, essa estrela não é uma gêmea solar, sendo mais brilhante que outras gêmeas solares do aglomerado M67. De acordo com Pasquini et al. (2008), essa estrela pertence a um sistema binário. Assim, decidimos não acrescentá-la a nossa amostra de gêmeas solares.

A idade do aglomerado M67 (Idade = $3.4_{-0.45}^{+0.70}$ Gano) adotada aqui foi estimada por Gaia Collaboration et al. (2018) comparando isócronas PARSEC (Chene et al., 2014) aos dados fotométricos obtidos pelo Gaia DR2. Para comparação, estimativas de idades usando isócronas estão por volta de 4 Gano (e.g., Castro et al. 2011 obteve $3.9_{-0.7}^{+0.6}$ Gano), já uma estimativa usando girocronologia, isto é, usando o período de rotação das estrelas, do trabalho de Barnes et al. (2016), é 4.2 ± 0.2 Gano.

Podemos concluir da Figura 2.23, que a amostra 3 segue a mesma tendência que as estrelas do campo (amostra 2) e outros aglomerados da literatura, com valor de $A(\text{Li})$ esperado para essa idade. O valor mediano e seu respectivo desvio padrão para a abundância de Li no aglomerado M67 é $A(\text{Li}) = 1.6 \pm 0.2$ dex, incluindo a gêmea solar de Liu et al. (2016) e excluindo a estrela YBP 1303 que apresenta limite superior em $A(\text{Li})$. Se considerarmos também a estrela YBP 1303, temos $A(\text{Li}) = 1.5 \pm 0.2$ dex. Curiosamente, o espalhamento calculado a partir do desvio padrão das abundâncias de Li encontrado na amostra 3 é similar ao espalhamento típico encontrado para as gêmeas solares das amostras 1 e 2, da

ordem de 0.2 dex.

O espalhamento de $A(\text{Li})$ para uma dada idade pode ser causado pelas diferentes características das gêmeas solares, como por exemplo, períodos rotacionais, metalicidades e pequenas diferenças em massa. Essas pequenas diferenças combinadas podem influenciar na profundidade da camada convectiva e história rotacional de cada estrela, assim, resultando em diferentes quantidades de Li destruídas, como discutido em vários estudos (Pinsonneault et al., 1990; Chaboyer et al., 1995; Pace et al., 2012; Somers e Stassun, 2017).

O trabalho de Pace et al. (2012) construiu um modelo calibrado para o aglomerado M67, levando em consideração mistura induzida por rotação, que mostra que pequenas diferenças em massas, correspondentes ao intervalo de massas de gêmeas solares, implicam em diferenças significativas nas abundâncias de Li. Assim, parte do espalhamento encontrado pode ser causado simplesmente por pequenas variações em massas estelares.

Depois de estudarmos mais de 80 estrelas similares ao Sol, concluímos definitivamente que a principal dependência da depleção de Li em gêmeas solares é relacionada à idade estelar; ou seja, o Sol e as gêmeas solares queimam o Li gradualmente conforme envelhecem. Aspectos como rotação, massa, metalicidade e presença de planetas também podem influenciar na destruição de Li, mas são fatores secundários.

Abundâncias químicas detalhadas de estrelas anãs K do halo Galáctico

Este capítulo está baseado parcialmente no artigo [Carlos et al. \(2018\)](#) desenvolvido durante o doutorado, e em resultados de um novo artigo (Carlos et al. 2020, em preparação).

O estudo da formação e evolução da nossa galáxia é um campo importante para a astronomia, com trabalhos na literatura discutindo como esta evolui química e dinamicamente com o tempo. Muitos estudos exploram cenários que discutem como o halo da Galáxia foi formado e quanto tempo esse evento durou.

O clássico trabalho de [Eggen et al. \(1962\)](#) procurou reconstruir a história de formação da Galáxia com dados observacionais, sendo esses os parâmetros orbitais e as respectivas composições químicas para cada estrela. Os parâmetros orbitais usados no estudo de [Eggen et al. \(1962\)](#) foram a excentricidade da órbita (e), o momento angular (h) e os vetores de velocidade (U, V, W) para cada estrela; já a composição química dos objetos analisados foi inferida pelo excesso ultravioleta ($\delta(U - B)$). A Figura 3.1 mostra a forte correlação entre $\delta(U - B)$ e os parâmetros e , W e h , concluindo que estrelas com maiores $\delta(U - B)$ (ou seja, estrelas com menos metais) apresentam maior excentricidade e órbitas mais altas com os menores momentos angulares. Concluindo, assim, que deve ter havido um colapso rápido e dissipativo com escala de tempo de 200 milhões de anos no início da formação de nossa galáxia para explicar os dados observados.

Mais tarde, o trabalho de [Searle e Zinn \(1978\)](#) sugeriu que a Galáxia sofreu um colapso central, mas conjecturou que o halo externo foi formado pela fusão de grandes fragmentos em uma escala de tempo > 1 Gano, abordagem similar aos modelos cosmológicos Λ CDM atuais que indicam que grandes galáxias, como a nossa, foram formadas hierarquicamente

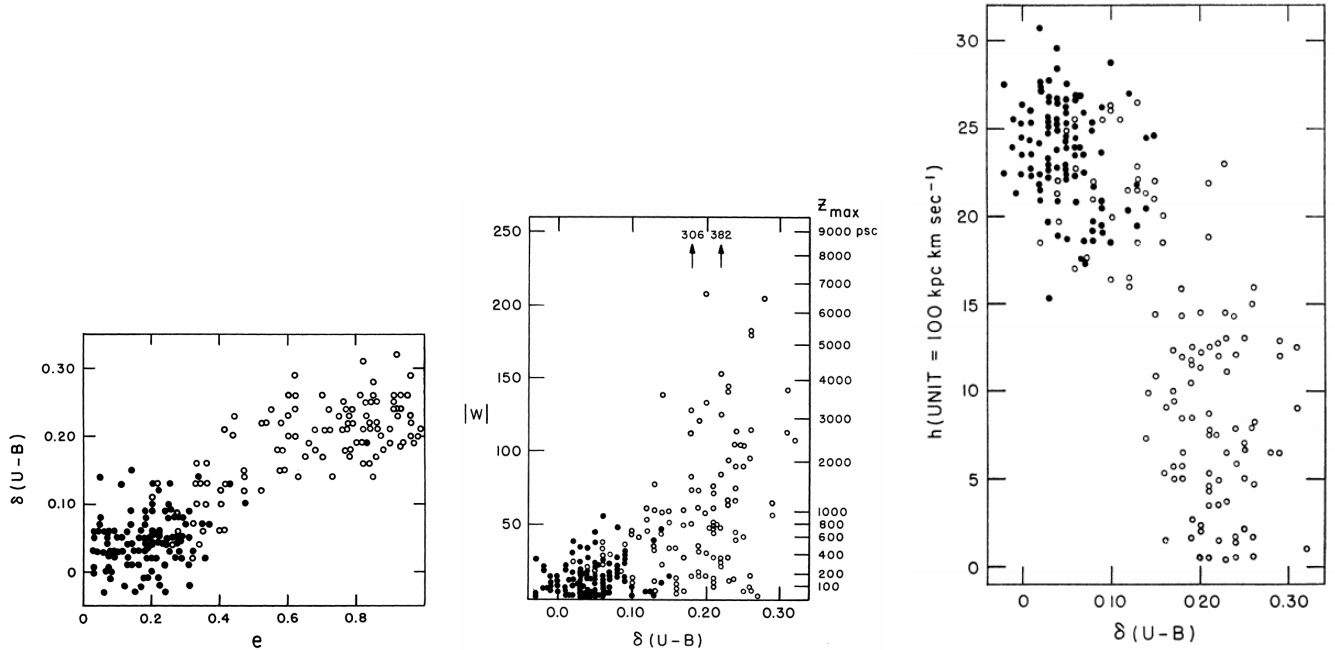


Figura 3.1: Figuras originais de Eggen et al. (1962) mostrando o excesso ultravioleta em função da excentricidade (primeiro painel), a componente de velocidade W (segundo painel) e o momento angular (terceiro painel).

(Navarro et al., 1997; Zolotov et al., 2009). Os estudos de Kobayashi e Nakasato (2011) e Tissera et al. (2012) indicam a presença de estrelas enriquecidas em elementos α incorporadas à região mais externa do halo da nossa galáxia; esses modelos hierárquicos predizem a distribuição para vários elementos químicos na Galáxia e podem ser comparados com observações (Figura 3.2). Também, esses modelos de formação galáctica estão de acordo com observações que indicam a existência de pelo menos duas populações estelares diferentes no halo da Galáxia (Carollo et al., 2007; Nissen e Schuster, 2010).

Além disso, não só a distribuição de $[Fe/H]$ de uma população em comparação com dados observacionais (como visto na Figura 3.2) é indicativo de como cada componente galáctica evolui. As relações $[X/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ são muito importantes e podem ajudar a entender como componentes diferentes da Galáxia com distintas taxas de formação estelar podem ser observadas hoje. A Figura 3.3 apresenta as diferentes distribuições de $[O/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ para o disco fino e espesso da Via Láctea, mostrando como essas duas componentes galácticas se formaram em tempos distintos (Bensby et al., 2004).

Já a Figura 3.4 apresenta os resultados de Nissen e Schuster (2010) que encontraram

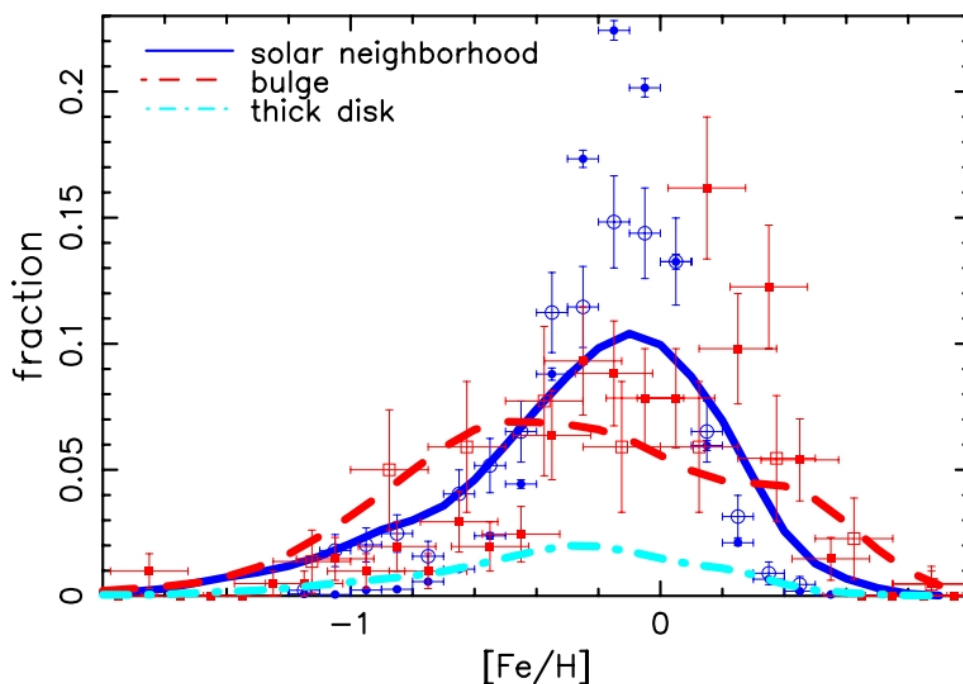


Figura 3.2: Figura original de Kobayashi e Nakasato (2011). Distribuição de $[Fe/H]$ para *redshift* $z = 0$ na vizinhança solar (linha sólida azul escuro), bojo (linha tracejada vermelha) e disco espesso (linha de traço e ponto azul claro) em comparação com observações da vizinhança solar de Edvardsson et al. (1993) (círculos abertos) e Holmberg et al. (2007) (círculos preenchidos), e do bojo por McWilliam e Rich (1994) (quadrados abertos) e Zoccali et al. (2008) (quadrados preenchidos).

que o halo da nossa galáxia é composto por duas populações distintas, uma rica em elementos α (Mg, Si, Ca e Ti), daqui em diante referida como *high-alpha*, e outra com uma quantidade menor desses mesmos elementos em comparação com a população *high-alpha*, daqui em diante referida como *low-alpha*. Nissen e Schuster (2010) sugerem que essas duas diferentes populações foram formadas em ambientes diferentes em escalas de tempo distintas; a população *high-alpha* pode ser composta de estrelas antigas do disco ou bojo “aquecidas” para o halo da Galáxia pela fusão com galáxias satélites, ou, simplesmente, foram parte das primeiras gerações de estrelas formadas durante o colapso do gás da proto-Galáxia; já as estrelas da população *low-alpha* provavelmente foram agregadas de galáxias anãs satélites.

Com respeito aos estudos de evolução da Via Láctea, a escala de tempo de formação do halo ainda envolve grandes debates na literatura. Se considerarmos que diferentes episódios de acreção de gás contribuem para a formação das componentes Galácticas, mo-

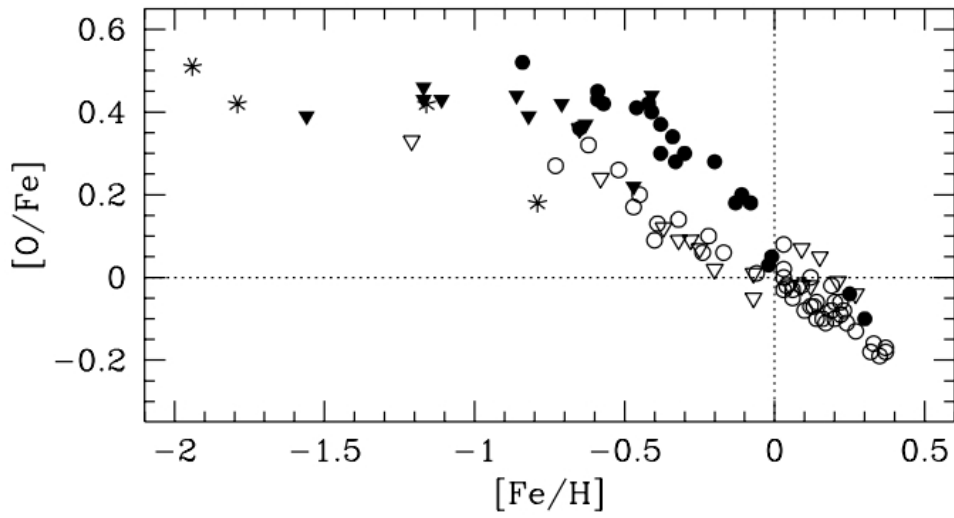


Figura 3.3: Figura original de Bensby et al. (2004) apresentando $[O/Fe]$ versus $[Fe/H]$ para dados do disco fino (círculos abertos) e espesso (círculos preenchidos) em comparação com os dados de Nissen et al. (2002) (triângulos abertos para disco fino, triângulos preenchidos para disco espesso e asteriscos para estrelas do halo).

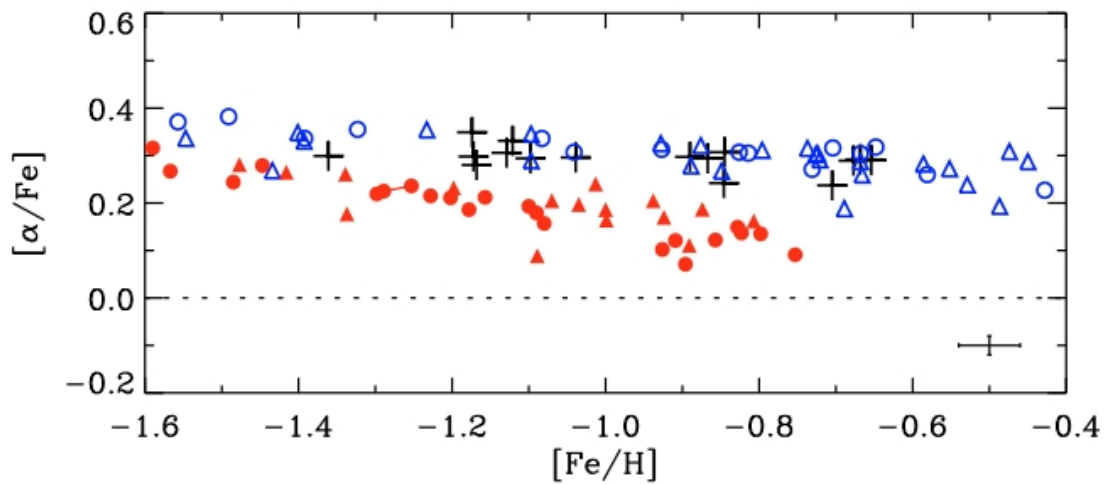


Figura 3.4: Figura original de Nissen e Schuster (2010) apresentando $[\alpha/Fe]$ versus $[Fe/H]$ para estrelas do disco espesso (cruzes pretas) e halo (círculos e triângulos azuis abertos para a população *high-alpha* e círculos e triângulos vermelhos preenchidos para a população *low-alpha*).

delos de evolução química para a Galáxia como os de [Chiappini et al. \(1997\)](#) e [Micali et al. \(2013\)](#) restringem os valores para as escalas de tempo de formação estelar e enriquecimento químico para as componentes galácticas. De acordo com modelos de evolução química da Galáxia, a escala de tempo para a formação do halo varia de 0.2 a 2 Gano. Nesses casos, a taxa de acreção do gás depende das escalas de tempo de formação do halo, disco fino e espesso, e determinará a função de distribuição de metalicidade da Galáxia. Assim, saber a escala de tempo para a formação dessas várias componentes da Via Láctea podem restringir os modelos de evolução química.

Para isso, abundâncias elementais e isotópicas geradas a partir de diferentes nucleossínteses são ferramentas extremamente úteis. Como diferentes isótopos podem ser formados em estrelas de diferentes massas, e que, portanto, têm tempos de vida distintos, eles podem funcionar como “relógios” que rastreiam as escalas de tempo para a formação do halo da Galáxia.

O elemento Mg, em particular, pode ser considerado como um bom “relógio” porque seus diferentes isótopos são produzidos em locais distintos (estrelas de diferentes massas), e portanto, pode traçar evoluções estelares e galácticas para escalas de tempo curtas e longas.

O principal isótopo ^{24}Mg é produzido em estrelas massivas durante a queima de carbono e neônio antes da explosão de supernova. Uma das reações mais importantes durante a queima de C no núcleo da estrela é $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, \text{p})^{23}\text{Na}$, onde o produto ^{23}Na é destruído pela reação $^{23}\text{Na}(\text{p}, \gamma)^{24}\text{Mg}$ que é responsável pela criação de ^{24}Mg . De acordo com [Arnett e Thielemann \(1985\)](#), ^{24}Mg é o terceiro produto mais importante durante a queima de C no núcleo de estrelas massivas. Já durante a queima de Ne no núcleo de estrelas massivas, a principal reação é $^{20}\text{Ne}(\gamma, \alpha)^{16}\text{O}$, responsável pela criação de partículas α ([Thielemann e Arnett, 1985](#)). Essas partículas α , junto com o restante de ^{20}Ne , formam ^{24}Mg através da reação $^{20}\text{Ne}(\alpha, \gamma)^{24}\text{Mg}$.

Os isótopos $^{25,26}\text{Mg}$ são produzidos em quantidades menores em estrelas massivas nas camadas externas de C durante a queima de He ([Woosley e Weaver, 1995](#)) através das reações $^{22}\text{Ne}(\alpha, \text{n})^{25}\text{Mg}$, $^{22}\text{Ne}(\alpha, \gamma)^{26}\text{Mg}$ e $^{25}\text{Mg}(\text{n}, \gamma)^{26}\text{Mg}$.

Os isótopos de Mg são produzidos também em estrelas AGB em três regiões possíveis: na camada de queima de H, na camada de queima de He, e na base do envelope convectivo em estrelas de massa intermediária durante o chamado *hot bottom burning* ([Karakas e](#)

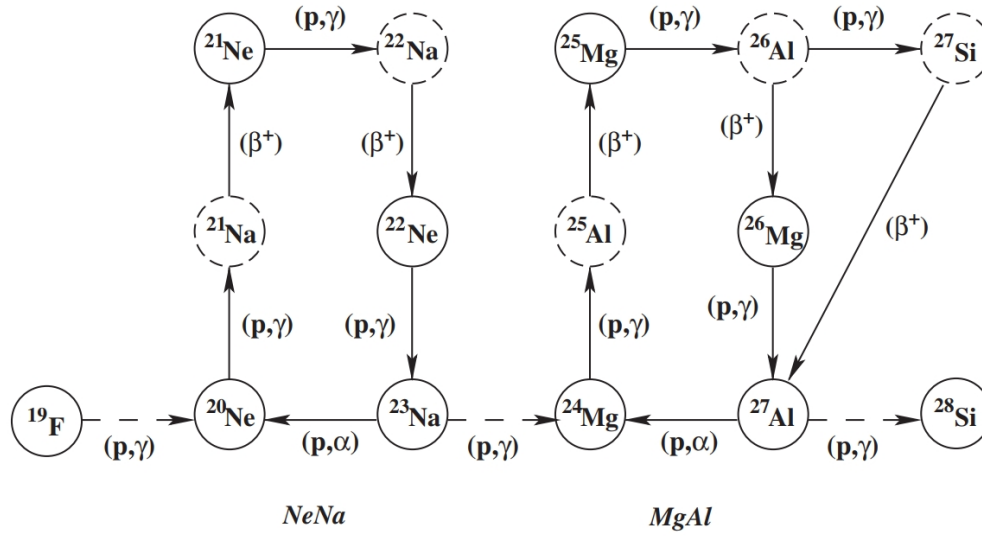


Figura 3.5: Figura original de [Karakas e Lattanzio \(2003\)](#), e baseada em [Arnould et al. \(1999\)](#), mostrando as cadeias Ne–Na e Mg–Al; círculos tracejados apresentam isótopos instáveis.

[Lattanzio, 2014](#)).

O local mais importante para a produção de $^{25,26}\text{Mg}$ em estrelas AGB é a camada de queima de He ([Karakas e Lattanzio, 2003](#)). Durante o pulso térmico, ^{22}Ne é criado depois que o ^{14}N faz sucessivas capturas de partículas α . Quando a temperatura dessa região atinge valores maiores que $T \approx 300 \times 10^6$ K, a estrela tem um aumento nas quantidades de $^{25,26}\text{Mg}$ produzidos através das reações $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ e $^{22}\text{Ne}(\alpha, \gamma)^{26}\text{Mg}$. O isótopo ^{26}Mg pode ser produzido também por captura de nêutrons via $^{25}\text{Mg}(n, \gamma)^{26}\text{Mg}$.

Já durante o *hot bottom burning*, que acontece em estrelas AGBs mais massivas, a queima de H ocorre através do ciclo CNO, e nas cadeias Ne–Na e Mg–Al, apresentadas na Figura 3.5, quando $T > 50 \times 10^6$ K. As baixas densidades na base do envelope convectivo implicam que as reações para a queima de H precisam ocorrer a temperaturas maiores ([Arnould et al., 1999](#)). Assim, podemos considerar esse local como importante tanto na produção quanto na destruição dos isótopos de Mg ([Karakas e Lattanzio, 2003](#); [Ventura e D’Antona, 2011](#)).

Como visto na Figura 3.5, os isótopos do Mg podem tanto ser criados como destruídos na cadeia Mg–Al. O isótopo ^{25}Mg é destruído na reação $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$, enquanto a quantidade de ^{26}Mg diminui através da reação $^{26}\text{Mg}(p, \gamma)^{27}\text{Al}$ até $T \approx 60 \times 10^6$ K, mas também

é produzido pelo decaimento de ^{26}Al nas cinzas da camada de H. As abundâncias de ^{24}Mg permanecem aproximadamente estáveis até $T \approx 70 \times 10^6$ K na camada de queima de H, mas nas estrelas AGBs mais massivas a temperatura da base do envelope convectivo pode exceder 90×10^6 K, quente o suficiente para a destruição de ^{24}Mg por captura de prótons.

De modo geral, estrelas AGB são responsáveis por quantidades consideráveis de $^{25,26}\text{Mg}$ produzidas na Galáxia. Como o tempo de vida de uma estrela depende de sua massa e metalicidade, o estudo de abundâncias de Mg em estrelas do halo da Galáxia ainda na sequência principal, que ainda não tiveram sua composição química afetada pela evolução estelar, pode determinar o surgimento dos efeitos da evolução de estrelas AGB no halo galáctico, podendo ajudar na compreensão sobre a escala de tempo de formação do halo da Galáxia. Assim, medir as razões isotópicas de Mg pode nos ajudar a entender quando os isótopos mais pesados desse elemento, produzidos principalmente em estrelas AGB, começaram a contribuir para o enriquecimento químico da Galáxia. Ou seja, é esperado que as razões $^{25,26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$ cresçam à partir do surgimento de estrelas AGB no halo.

Alguns modelos de evolução química da Galáxia incluem as abundâncias químicas de Mg e seus isótopos estáveis (Alibés et al., 2001; Fenner et al., 2003; Kobayashi et al., 2011). Apesar da existência desses modelos, há poucas observações na literatura para comparação. Os trabalhos de Barbuy (1985), Barbuy (1987), Barbuy et al. (1987), Gay e Lambert (2000), Yong et al. (2003), Yong et al. (2003), Yong et al. (2004), Meléndez e Cohen (2007), Meléndez e Cohen (2009) e Thygesen et al. (2016) apresentam importantes contribuições, mas devido à dificuldade de se medir as razões isotópicas de Mg, existem poucos dados na literatura para podermos analisar a evolução das razões de Mg. Um número limitado de estrelas do halo foi analisado, com contribuições importantes de Yong et al. (2003) e Meléndez e Cohen (2007). Somente 7 estrelas pobres em metais do halo da Galáxia ($-2.60 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.35$) apresentam medidas para as razões dos isótopos de Mg na literatura (Figura 3.6).

Assim, nesse capítulo apresentamos abundâncias químicas detalhadas, incluindo abundâncias de razões isotópicas de Mg, para 8 estrelas anãs K do halo da nossa galáxia, para melhor entendermos como essa foi formada e seus processos de evolução química.

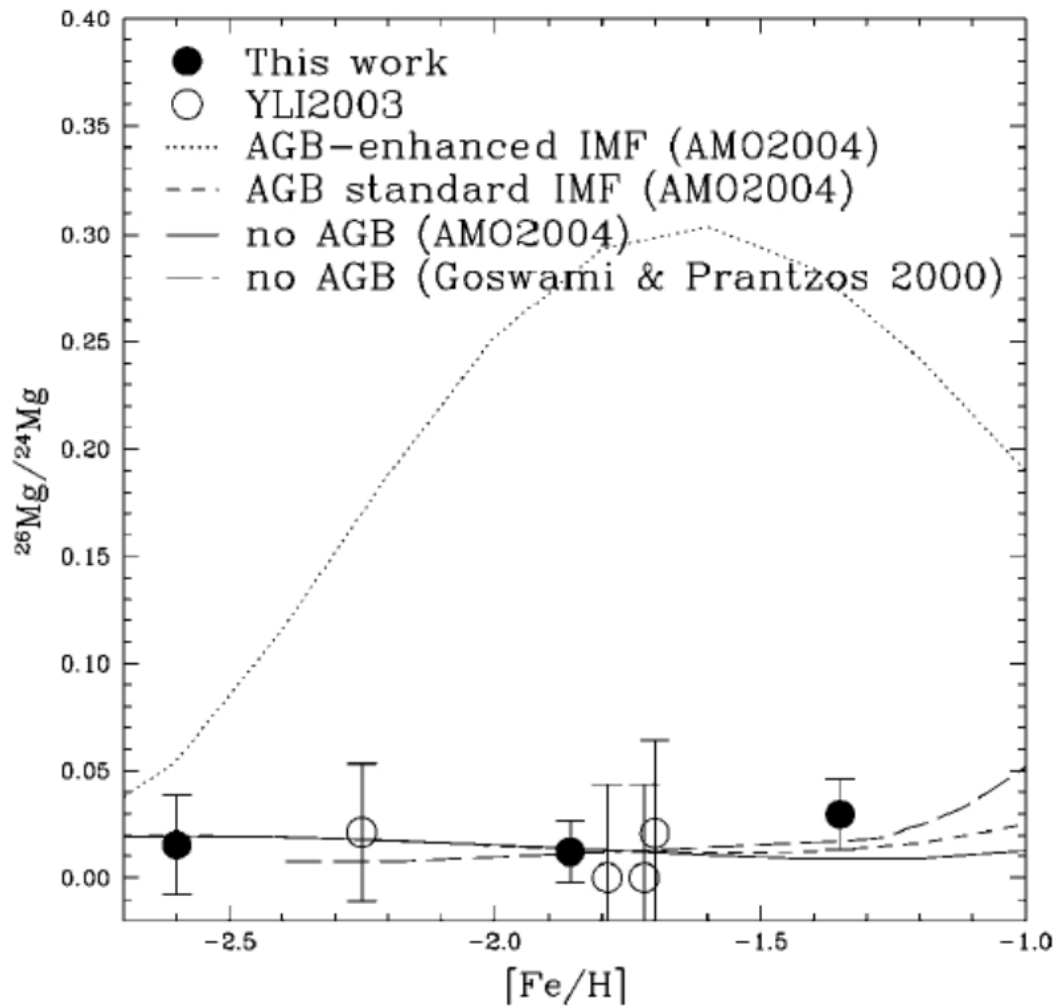


Figura 3.6: Figura original de Meléndez e Cohen (2007) mostrando $^{26}\text{MgH}/^{24}\text{MgH}$ como função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para estrelas anãs do halo galáctico. Os círculos abertos representam resultados de Yong et al. (2003) e os círculos fechados representam resultados de Meléndez e Cohen (2007).

3.1 Amostra e Análise

Oito estrelas anãs do tipo K situadas no halo da Galáxia foram observadas pela Dra. Judith Cohen (Caltech) em dezembro de 2007 usando o espectrógrafo HIRES no observatório Keck (Vogt et al., 1994). Os espectros obtidos têm alta resolução e bom sinal-ruído ($R \approx 10^5$ e $200 \lesssim S/N \lesssim 300$). Esses objetos foram escolhidos a partir do catálogo de Ramírez e Meléndez (2005), por terem temperaturas efetivas no intervalo $4000 < T_{\text{ef}}(\text{K}) < 5000$ e metalicidades entre $-2.0 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.8$.

Para as oito estrelas observadas as ordens foram extraídas através da pipeline MAKEE¹. Em seguida, a correção devido ao efeito Doppler, combinação dos espectros e a normalização do contínuo foram concluídas com a ajuda do IRAF. Infelizmente, duas estrelas foram descartadas da amostra, pois detectamos contaminação no espectro por companheiras (BD-004470 e G3-13). Para a análise espectroscópica diferencial, adotamos a estrela HD 103095, com parâmetros bem definidos na literatura, como objeto de referência. Também adicionamos à nossa amostra a estrela HD 163810 para podermos comparar nossos resultados com os de Nissen e Schuster (2010, 2011).

O espectro da estrela HD 103095 foi obtido através do espectrógrafo HIRES pelo Professor Jorge Meléndez em junho de 2005, e também tem alta resolução e bom sinal-ruído ($R \approx 10^5$ e $S/N \sim 300$). Já o espectro da estrela HD 163810 foi coletado no arquivo do ESO (programa de observação 071.B-0529), obtido pelo UVES/VLT com cobertura espectral entre 4000 Å e 7800 Å, e resolução $R \approx 47000$ e $S/N \approx 250$.

Para a análise de abundâncias elementais, os parâmetros estelares T_{ef} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ e ξ_{turb} foram determinados usando espectroscopia diferencial de alta precisão através da análise de linhas de Fe I e Fe II, em um método linha a linha até os equilíbrios de ionização e excitação serem atingidos; usamos a rotina ‘*abfind*’ do código MOOG e modelos de atmosferas plano-paralelas 1D MARCS. Nós adotamos os parâmetros estelares T_{ef} , $\log g$ e ξ_{turb} de Sitnova et al. (2015) e $[\text{Fe}/\text{H}]$ de Reggiani e Meléndez (2018) para a estrela de referência HD 103095. A anã K LHS 173 teve T_{ef} calculado a partir da calibração fotométrica de Casagrande et al. (2010) usando as magnitudes B , V , J , H , e Ks compiladas de Soubiran et al. (2016); a gravidade superficial foi estimada através de isócronas

¹ MAKEE foi desenvolvido por T. A. Barlow especificamente para redução de dados do HIRES no observatório Keck. Está disponível de graça em <http://www.astro.caltech.edu/~tb/makee/>.

Tabela 3.1 - Parâmetros estelares utilizados nas análises de abundâncias elementais das anãs K.

Estrela	[Fe/H]	T_{ef} (K)	log g	ξ_{turb} (km.s ⁻¹)	v_{macro} (km.s ⁻¹)	Notas
HD 103095 [†]	-1.35±0.08	5100±65	4.65±0.08	0.90±0.05	2.4	Estrela de referência
HD 163810	-1.23±0.02	5510±16	4.54±0.03	0.99±0.07	1.2	
G078-026	-1.25±0.02	4525±38	4.41±0.10	0.83±0.10	2.8	
G128-061	-0.85±0.01	4647±21	4.41±0.07	0.09±0.48	1.0	
G185-030	-1.82±0.04	4837±42	4.41±0.10	1.87±0.27	2.1	
G189-045	-1.29±0.01	5065±12	4.62±0.03	0.86±0.05	2.5	
LHS 3780	-1.40±0.01	4883±19	4.67±0.05	0.91±0.08	1.9	
LHS 173	-1.45±0.03	4102±46	4.84±0.02	1.10±0.10	1.5	T_{ef} e log g fotométricos

Notas. [†]Dados de [Sitnova et al. \(2015\)](#) e [Reggiani e Meléndez \(2018\)](#).

de Yonsei-Yale (como descrito no Capítulo 2) adotando-se T_{ef} fotométrica, a magnitude V de [Soubiran et al. \(2016\)](#), paralaxe de [de Bruijne e Eilers \(2012\)](#) e a metalicidade [Fe/H] da nossa análise espectroscópica; ξ_{turb} também foi calculada pela análise espectroscópica. Finalmente, os erros foram estimados como descrito na Seção 2.1. Os parâmetros estelares utilizados na análise de abundâncias elementais são apresentados na Tabela 3.1.

Em seguida, os elementos Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Ce, Nd, Sm e Dy tiveram abundâncias obtidas pela análise de larguras equivalentes (medidas através da tarefa SPLIT do IRAF) usando a rotina ‘*abfind*’ do código MOOG, com modelo de atmosferas plano-paralelas 1D MARCS. Essa análise, assim como as análises descritas no Capítulo 2, foi concluída com a ajuda do pacote de *python* q2. A lista de linhas utilizada nessa análise é mostrada na Tabela A.5 e foi construída a partir de linhas selecionadas de [Chen e Zhao \(2006\)](#), [Reggiani e Meléndez \(2018\)](#) e [Meléndez et al. \(2014\)](#). Os erros das abundâncias elementais foram estimados considerando as incertezas dos parâmetros estelares e o erro estatístico das várias linhas medidas para cada elemento.

As abundâncias dos elementos C e Eu foram medidas através de síntese espectral feita usando o código MOOG. A região de CH em torno de 4323 Å foi utilizada para a determinação das abundâncias de C, já as abundâncias de Eu foram determinadas pela síntese espectral da linha 4129.72 Å. As listas de linhas para o C e Eu foram construídas com o código *linemake*², e são mostradas nas Tabelas A.2 e A.4, respectivamente. Os dados mo-

² <https://github.com/vmplacco/linemake>. Curador: Vinicius Placco.

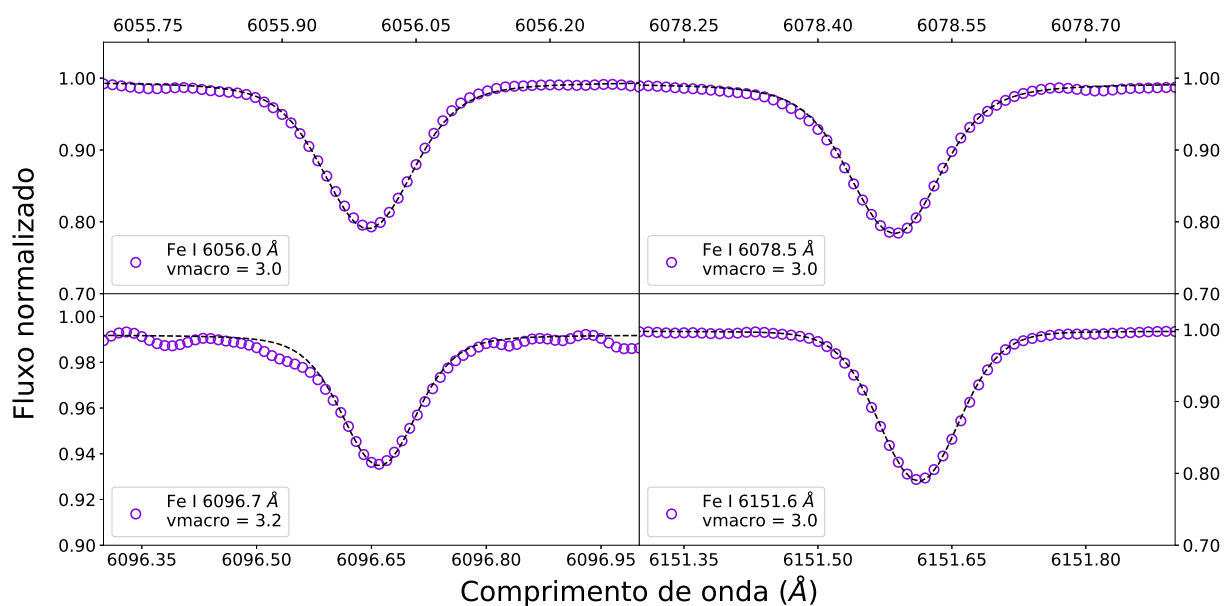


Figura 3.7: Espectro observado (círculos abertos roxos) da estrela G189-045 em comparação com as sínteses espectrais (linha azul tracejada) das linhas de Fe I 6056.0 Å, 6078.5 Å, 6096.7 Å e 6151.6 Å.

leculares para a região de CH são de [Masseron et al. \(2014\)](#), e os detalhes para a região do Eu são de [Lawler et al. \(2001\)](#). Os alargamentos devido à v_{macro} foram calculados através da análise do perfil das seguintes linhas de Fe I: 6056.0 Å, 6078.5 Å, 6096.7 Å e 6151.6 Å (Figura 3.7); adotou-se $v \sin i = 0 \text{ km.s}^{-1}$ para todas as estrelas da amostra, pois por serem muito velhas devem ter uma velocidade de rotação muito baixa. Os valores para v_{macro} estão na Tabela 3.1.

Os erros para as abundâncias de C foram estimados considerando o desvio padrão de três regiões diferentes da banda de CH (regiões em torno de 4296 Å, 4310 Å e 4323 Å). Devido à dificuldade em reproduzir o espectro na região da linha de Eu, as abundâncias de Eu são apenas estimativas e nenhum erro foi computado.

Também obtivemos abundâncias de Li para essa amostra; o procedimento foi o mesmo adotado para as gêmeas solares, detalhado no Capítulo 2. A Figura 3.8 mostra a síntese espectral em comparação com o espectro observado da estrela HD 103095 para os casos em que estimamos as abundâncias de C, Li e Eu.

Para as estrelas G078-026, G128-061, G185-030, G189-045, LHS 3780 e LHS 173, além das abundâncias elementais, também estimamos as razões isotópicas do Mg ([Carlos et al., 2018](#)). Como esse estudo de razões isotópicas é anterior ao trabalho de abundâncias ele-

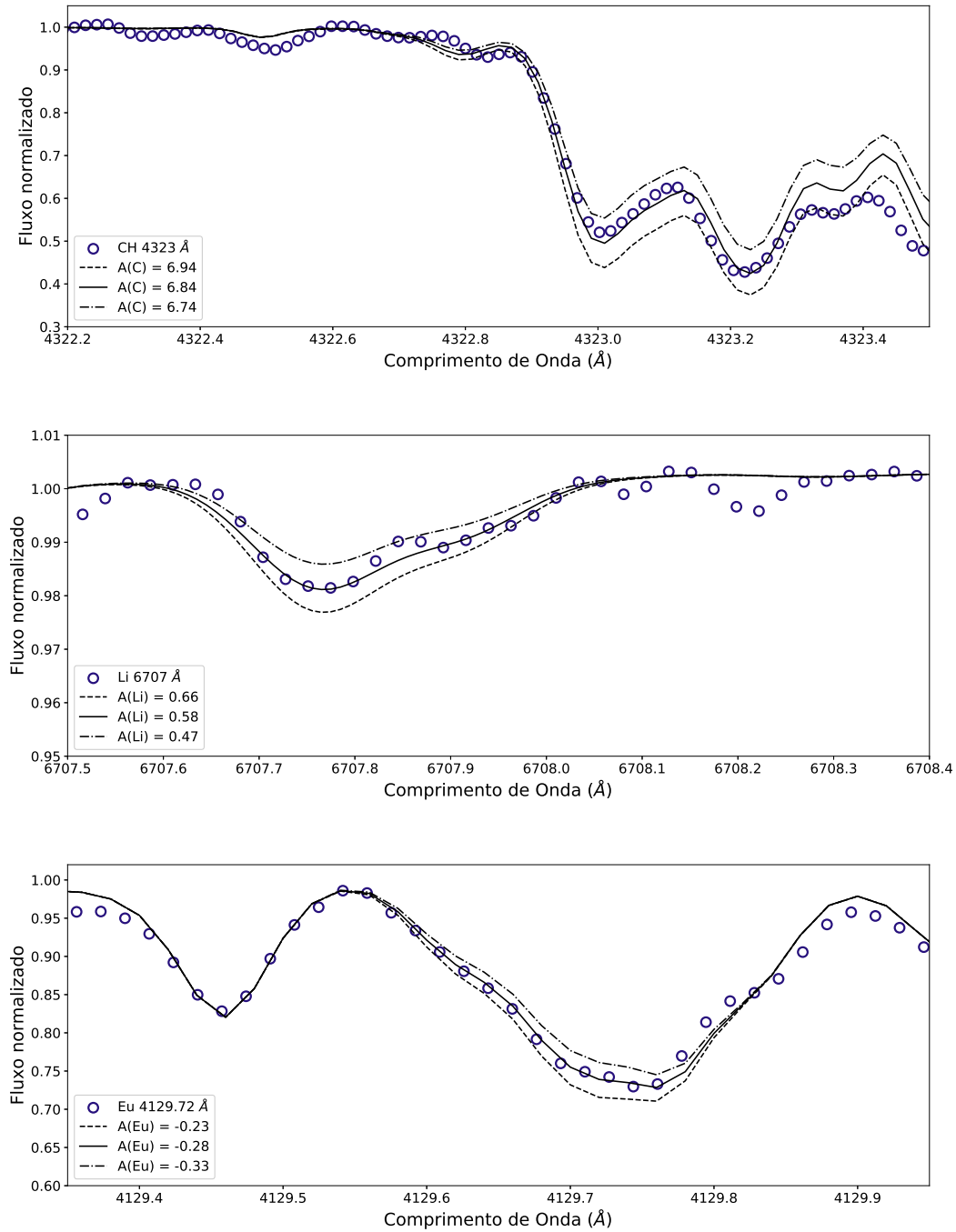


Figura 3.8: Exemplo de síntese espectral (linhas sólidas e tracejadas) em comparação com o espectro observado da estrela de referência HD 103095 (círculos abertos azuis) para a determinação das abundâncias de carbono (painel superior), lítio (painel intermediário) e európio (painel inferior).

Tabela 3.2 - Parâmetros estelares utilizados nas análises de razões isotópicas de Mg nas anãs K.

Estrela	[Fe/H]	T_{ef} (K)	log g	ξ_{turb} (km.s ⁻¹)
G078-026	-1.20±0.02	4288±47	4.7 ^(a)	0.24
G128-061	-0.94±0.02	4664±44	5.0 ^(b)	0.00
G185-030	-1.85±0.01	4524±29	4.5 ^(b)	0.00
G189-045	-1.33±0.01	4937±187	4.3 ^(b)	0.00
LHS 3780	-1.38±0.01	4880±42	4.5 ^(b)	0.00
LHS 173	-1.49±0.03	4102±46	4.8 ^(c)	0.77

Notas. Dados de ^(a)Ramírez e Meléndez (2005), ^(b)Yong e Lambert (2003) e ^(c)Soubiran et al. (2016).

mentais, os parâmetros estelares adotados são diferentes. Para todas as estrelas com análise isotópica o parâmetro estelar T_{ef} foi calculado através da calibração fotométrica de Casagrande et al. (2010) usando as magnitudes B , V , J , H , e Ks , compiladas de Soubiran et al. (2016); foram adotados dados da literatura para log g, enquanto [Fe/H] e ξ_{turb} foram determinados pela análise espectroscópica absoluta de linhas de Fe I e Fe II usando a lista de linhas de Chen e Zhao (2006). Os parâmetros estelares usados na análise de razões isotópicas de Mg estão na Tabela 3.2.

Como podemos notar na Figura 3.9, a presença dos isótopos ^{25,26}Mg causa uma assimetria na linha mais forte devido à presença da molécula de ²⁴MgH. Assim, a análise de razões isotópicas para o Mg é muito minuciosa e requer o uso de síntese espectral. Três regiões diferentes do espectro das anãs K foram analisadas para o estudo de isótopos do Mg, todas contendo a assinatura da molécula MgH. As regiões escolhidas, 5134.6 Å, 5138.7 Å e 5140.2 Å, já foram estudadas e amplamente discutidas na literatura pelos trabalhos de Barbuy (1985, 1987), McWilliam e Lambert (1988), Gay e Lambert (2000), Meléndez e Cohen (2007) e Meléndez e Cohen (2009). Para esse estudo utilizamos o código MOOG (rotina ‘*synth*’) e adotamos a grade Kurucz de modelos atmosféricos ATLAS9. A lista de linhas adotada para esse trabalho foi a mesma usada em Meléndez e Cohen (2007) (apresentada na Tabela A.3).

As abundâncias isotópicas de Mg foram determinadas através do estudo de mínimos quadrados (χ^2), onde $\chi^2 = \sum_i (O_i - S_i)/\sigma^2$, com O_i e S_i sendo os pontos dos espectros observado e sintético respectivamente e $\sigma = (S/N)^{-1}$. A Figura 3.10 exemplifica o método

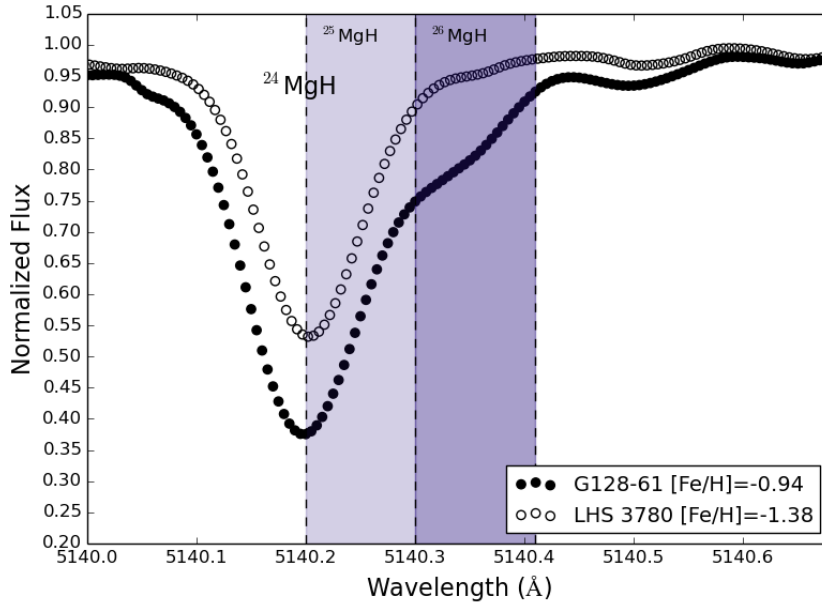


Figura 3.9: Figura original de [Carlos et al. \(2018\)](#). Comparação entre os espectros observados das estrelas G128-061 e LHS 3780 na região da molécula de MgH em 5140.2 Å. A região dos isótopos $^{25,26}\text{Mg}$ está marcada.

utilizado para a obtenção das razões isotópicas de Mg para toda a amostra.

Os erros estimados para as razões isotópicas de Mg foram determinados através do desvio padrão das abundâncias obtidas nas três diferentes regiões de MgH adotadas.

3.2 Resultados e Discussão

Os parâmetros estelares das anãs K G078-026, G128-061, G185-030, G189-045, LHS 3780 e LHS 173 foram medidos duas vezes de forma independente, como descrito na Seção 3.1. A Figura 3.11 mostra a comparação dos resultados obtidos de forma independente para os parâmetros T_{ef} e $[\text{Fe}/\text{H}]$.

Como podemos notar, as metalicidades obtidas tanto por espectroscopia absoluta quanto diferencial concordam razoavelmente (o desvio padrão da diferença entre $[\text{Fe}/\text{H}]$ de 2018 e 2020 é 0.05). Já as temperaturas efetivas obtidas por espectroscopia diferencial são maiores do que as obtidas pela calibração fotométrica de [Casagrande et al. \(2010\)](#) para as estrelas G078-026, G185-030 e G189-045 (para esse grupo de estrelas o desvio padrão da diferença entre T_{ef} de 2018 e 2020 é ≈ 75 K); para as anãs G128-061 e LHS 3780 o desvio padrão da

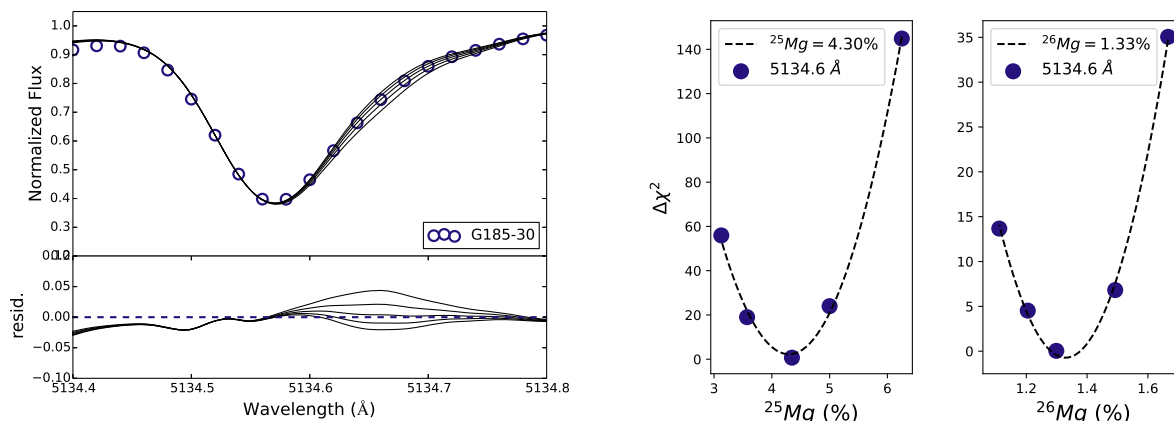


Figura 3.10: Figura original de [Carlos et al. \(2018\)](#). O painel esquerdo apresenta o espectro observado da estrela G185-030 em comparação com sínteses espectrais com valores diferentes de $^{25,26}\text{Mg}$ em relação a ^{24}Mg e os resíduos correspondentes. O painel direito mostra a análise de χ^2 para as sínteses espectrais correspondentes do painel esquerdo.

diferença entre T_{ef} de 2018 e 2020 é ≈ 10 K. Apesar de usarmos a grade Kurucz de modelos atmosféricos ATLAS9 na análise espectroscópica absoluta e os modelos atmosféricos de MARCS na análise espectroscópica diferencial, os resultados para $[\text{Fe}/\text{H}]$ não diferem muito entre si (seguindo razoavelmente a relação 1:1). Já os parâmetros ξ_{turb} (espectroscopia absoluta) e $\log g$ (dados da literatura) diferem consideravelmente dos resultados obtidos por espectroscopia diferencial; o desvio padrão da diferença entre as medidas de ξ_{turb} é ≈ 0.6 , enquanto o desvio padrão da diferença entre as medidas de $\log g$ é ≈ 0.3 .

3.2.1 Abundâncias elementais

As abundâncias elementais para a amostra discutida nesse capítulo estão presentes na Tabela 3.3. Essa análise detalhada foi feita para 25 elementos.

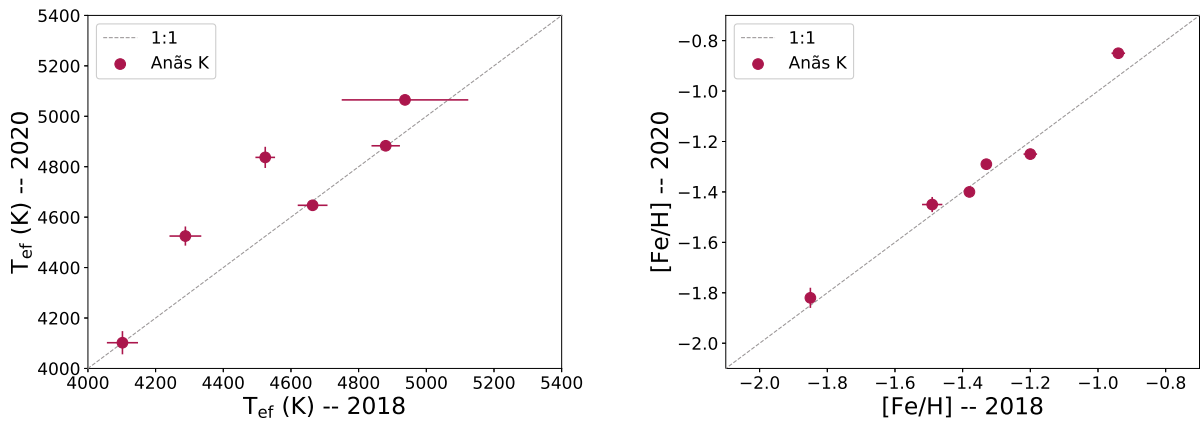


Figura 3.11: Comparação entre as medidas obtidas por métodos distintos de T_{eff} (painel esquerdo; comparando medidas por espectroscopia diferencial obtidas em 2020 e valores adquiridos por calibração fotométrica em 2018) e $[\text{Fe}/\text{H}]$ (painel direito; comparando resultados adquiridos por espectroscopia diferencial em 2020 e medidas obtidas por espectroscopia absoluta em 2018) para as anãs K G078-026, G128-061, G185-030, G189-045, LHS 3780 e LHS 173.

Tabela 3.3 - Abundâncias elementais para as estrelas do halo da Galáxia.

	HD 103095	HD 163810	G078-026	G128-061	G185-030	G189-045	LHS 3780	LHS 173
A(Li) _{LTE}	0.58 ^{0.08} _{0.11}	1.73 ^{0.02} _{0.04}	-0.05 ^{0.09} _{0.05}	≲0.06	≲0.13	0.43 ^{0.10} _{0.17}	≲-0.15	-0.54 ^{0.14} _{0.12}
[C/Fe]	0.80±0.08	0.79±0.08	0.19±0.04	0.67±0.04	0.61±0.12	0.81±0.07	0.71±0.10	0.66±0.04
[Na/Fe]	-0.43	-0.33±0.05	-0.06±0.05	-0.09±0.04	-0.40±0.05	-0.33±0.07	-0.22±0.05	-0.09±0.07
[Mg/Fe]	0.20	0.18±0.03	0.19±0.04	0.26±0.07	0.28±0.07	0.22±0.02	0.32±0.03	-0.13±0.04
[Al/Fe]	-0.02	-0.24±0.02	0.23±0.03	0.41±0.02	0.30±0.04	0.02±0.01	0.11±0.01	0.64±0.03
[Si/Fe]	0.23	0.20±0.02	-0.06±0.06	0.32±0.04	–	0.23±0.04	0.31±0.08	–
[K/Fe]	0.29	0.37±0.03	0.28±0.08	0.16±0.05	0.42±0.08	0.24±0.02	0.29±0.03	-0.12±0.07
[Ca/Fe]	0.27	0.26±0.02	0.41±0.06	0.25±0.04	0.46±0.06	0.28±0.02	0.38±0.03	0.12±0.06
[Sc/Fe]	0.17	0.10±0.03	0.13±0.05	0.26±0.03	0.03±0.07	0.14±0.02	0.21±0.04	0.37±0.04
[Ti/Fe]	0.36	0.31±0.03	0.48±0.06	0.47±0.04	0.53±0.07	0.37±0.02	0.49±0.03	0.31±0.06
[V/Fe]	0.11	0.09±0.05	0.57±0.09	0.49±0.08	0.43±0.07	0.12±0.02	0.28±0.03	0.16±0.11
[CrI/Fe]	0.11	0.01±0.06	0.33±0.08	0.16±0.07	0.32±0.07	0.09±0.03	0.19±0.04	0.21±0.04
[CrII/Fe]	-0.06	-0.02±0.01	-0.32±0.02	-0.10±0.01	-0.20±0.03	-0.07±0.01	-0.10±0.01	–
[Cr/Fe]	0.09	0.01±0.05	0.25±0.07	0.13±0.06	0.25±0.07	0.07±0.02	0.15±0.03	0.21±0.04
[Mn/Fe]	-0.41	-0.48±0.03	-0.28±0.05	-0.27±0.03	-0.33±0.05	-0.40±0.02	-0.43±0.02	-0.29±0.08
[Co/Fe]	0.21	0.15±0.02	0.45±0.10	0.36±0.04	0.40±0.09	0.23±0.02	0.31±0.02	0.67±0.05
[Ni/Fe]	-0.01	-0.05±0.02	0.02±0.04	0.12±0.02	-0.05±0.06	0.03±0.01	0.01±0.02	0.30±0.05

Continua na próxima página

Tabela 3.3 – continuação da página anterior

	HD 103095	HD 163810	G078-026	G128-061	G185-030	G189-045	LHS 3780	LHS 173
[Cu/Fe]	-0.48	-0.49±0.02	-0.29±0.04	0.19±0.09	-0.55±0.05	-0.49±0.02	-0.34±0.02	-0.12±0.03
[Zn/Fe]	0.01	-0.08±0.02	0.09±0.04	0.14±0.03	-0.14±0.06	0.02±0.01	0.06±0.02	0.62±0.05
[Y/Fe]	-0.22	-0.23±0.03	-0.04±0.08	-0.08±0.06	-0.28±0.07	-0.18±0.01	-0.01±0.03	0.32±0.07
[Ba/Fe]	-0.32	-0.23±0.03	-0.26±0.05	-0.31±0.03	-0.56±0.08	-0.30±0.03	-0.39±0.04	-0.08±0.09
[La/Fe]	0.44	–	0.31±0.05	0.08±0.03	0.44±0.07	0.27±0.01	–	0.56±0.03
[Ce/Fe]	0.29	0.43±0.18	0.05±0.05	0.02±0.10	0.28±0.07	0.20±0.07	0.25±0.02	0.14±0.05
[Nd/Fe]	0.32	0.35±0.02	0.24±0.05	0.15±0.03	0.29±0.07	0.38±0.01	0.23±0.02	0.36±0.03
[Sm/Fe]	1.48	1.44±0.02	1.38±0.05	1.22±0.03	1.12±0.07	1.39±0.01	1.42±0.02	1.38±0.03
[Eu/Fe]	0.63	0.46	0.55	0.53	0.60	0.46	0.80	0.40
[Dy/Fe]	0.75	0.82±0.02	0.70±0.05	0.41±0.03	0.77±0.07	0.62±0.01	0.73±0.02	0.50±0.03

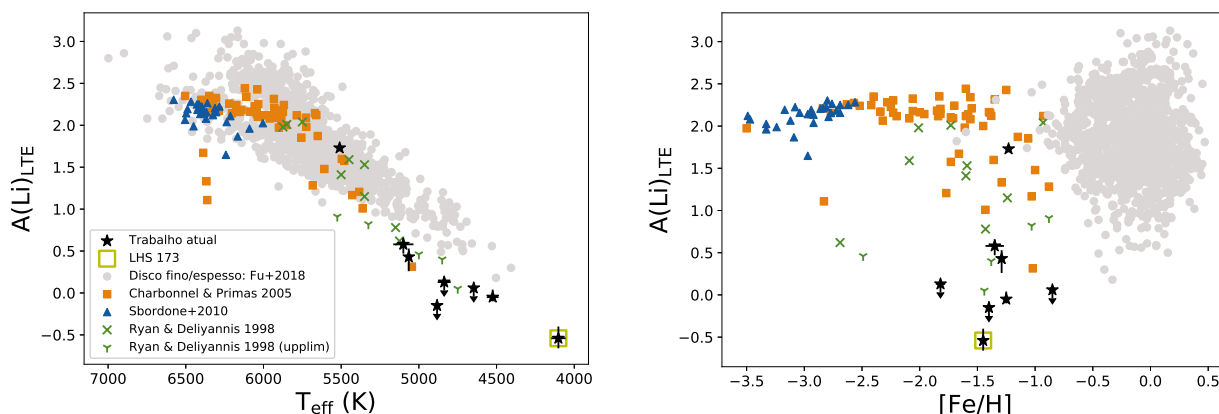


Figura 3.12: Abundâncias de Li em LTE versus T_{eff} (painel esquerdo) e $[\text{Fe}/\text{H}]$ (painel direito) para o trabalho atual (estrelas pretas) em comparação com estrelas anãs do halo Galáctico de Ryan e Deliyannis (1998) (símbolos x e y verdes), Charbonnel e Primas (2005) (quadrados laranjas), Sbordone et al. (2010) (triângulos azuis) e estrelas do disco fino e espesso de Fu et al. (2018) (círculos cinzas). A anã K LHS 173 está marcada por um quadrado amarelo.

A Figura 3.12 mostra $A(\text{Li})$ em LTE em função de T_{eff} (painel esquerdo) e $[\text{Fe}/\text{H}]$ (painel direito); nossa amostra é comparada com estrelas anãs do halo Galáctico de Ryan e Deliyannis (1998), Charbonnel e Primas (2005), Sbordone et al. (2010) e estrelas pertencentes ao disco espesso e fino do trabalho de Fu et al. (2018). Podemos notar que a amostra apresentada aqui é comparável com outras anãs do halo Galáctico de Ryan e Deliyannis (1998) pois estes apresentam T_{eff} similares entre si. Nossa amostra experimenta maior depleção de Li porque é composta por estrelas mais frias do que as presentes no chamado *Spite plateau* (Spite e Spite, 1982; Ryan et al., 1999; Asplund et al., 2006; Bonifacio et al., 2007; Matsuno et al., 2017), resultando em envelopes convectivos mais massivos em comparação aos de estrelas mais quentes.

Como trabalhamos com uma amostra de estrelas pobres em metais mais frias do que a estrela de referência, nos preocupamos com o conteúdo de C em cada anã, para verificar qualquer contaminação extrema devido a uma estrela enriquecida nesse elemento. Assim, determinamos as abundâncias de C para termos certeza de que todas as estrelas da amostra tenham quantidades comparáveis desse elemento para que a análise diferencial não fosse fortemente afetada por regiões contaminadas. A Figura 3.13 mostra $[\text{C}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para nossa amostra, onde podemos notar que a maioria das estrelas tem quantidades

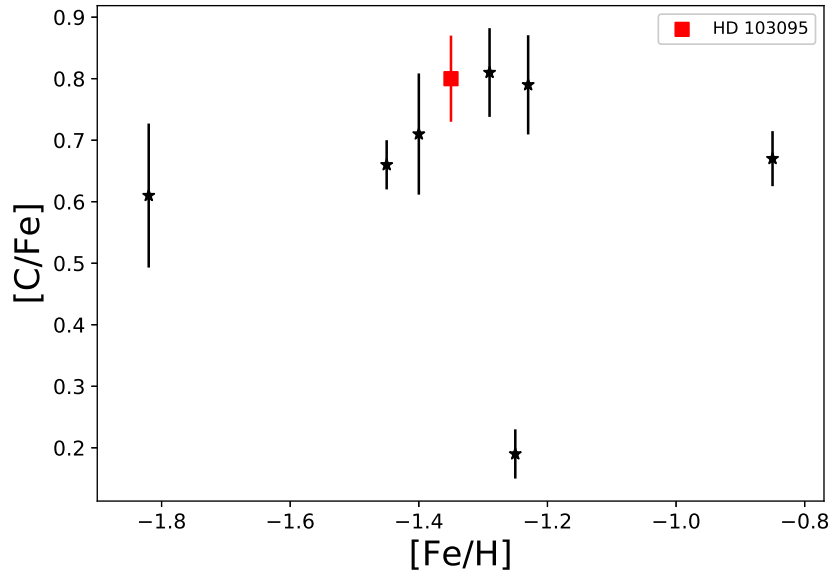


Figura 3.13: Abundâncias absolutas de $[C/Fe]$ em função de $[Fe/H]$; o quadrado vermelho representa a estrela de referência HD 103095.

similares de $[C/Fe]$ em comparação com a estrela de referência. Já a estrela G078-026 pode ser considerada pobre em C em comparação ao resto da amostra. Concluímos também que não há estrelas enriquecidas em C (CEMP da sigla em inglês) de acordo com a classificação mostrada em (Beers e Christlieb, 2005, $[C/Fe] > 1$). Dessa forma, não nos preocupamos com possíveis contaminações devido ao C nas linhas usadas na obtenção das abundâncias químicas.

Na Figura 3.14 comparamos $[\alpha/Fe]$ vs. $[Fe/H]$ da nossa amostra com respeito à amostra de Nissen e Schuster (2010), onde $[\alpha/Fe]$ é calculada pela média das seguintes abundâncias: $[Mg/Fe]$, $[Si/Fe]$, $[Ca/Fe]$, e $[Ti/Fe]$. Dados de algumas galáxias anãs esferoidais (dSphs; Carina de Shetrone et al. 2003, Sculptor de Geisler et al. 2005, Fornax de Monaco et al. 2005 e Sagittarius de Letarte et al. 2010) também estão plotados para comparação.

Nós analisamos a estrela HD 163810, presente na amostra de Nissen e Schuster (2010), para inferir se nossas estimativas de abundâncias se encontram no mesmo sistema. Como podemos ver da Figura 3.14, as medidas obtidas nesse trabalho estão razoavelmente de acordo com as obtidas por Nissen e Schuster (2010); uma diferença de ~ 0.03 dex foi encontrada entre as distintas medidas de $[\alpha/Fe]$ para a anã HD 163810. Além disso, nosso trabalho determinou $[Fe/H] = -1.23 \pm 0.02$ em acordo com o valor de Nissen e Schuster

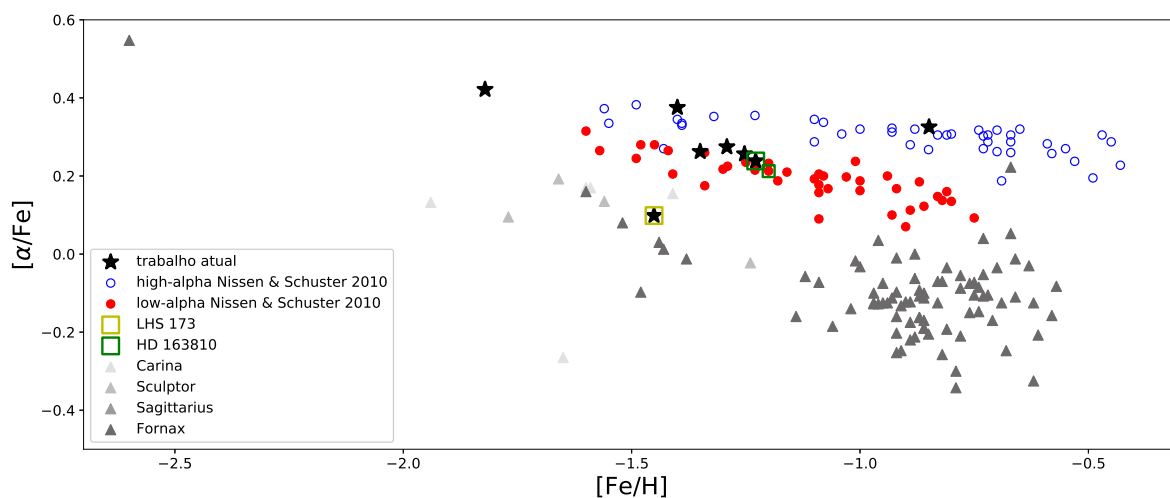


Figura 3.14: $[\alpha/\text{Fe}]$ vs. $[\text{Fe}/\text{H}]$ para nossa amostra em comparação com a amostra de Nissen e Schuster (2010) e estrelas de galáxias satélites. Nossa amostra é representada por estrelas pretas; círculos azuis abertos (*high-alpha*) e círculos vermelhos preenchidos (*low-alpha*) mostram estrelas do trabalho de Nissen e Schuster (2010). Os dados de galáxias anãs esferoidais (dSphs da sigla em inglês; Carina, Sculptor, Fornax, e Sagittarius) estão representados por triângulos cinzas (Shetrone et al., 2003; Geisler et al., 2005; Monaco et al., 2005; Letarte et al., 2010). A estrela HD 163810 está marcada com um quadrado verde nas duas amostras distintas. A estrela LHS 173 está em destaque com um quadrado amarelo.

(2010) ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.20 \pm 0.04$).

Também podemos notar na Figura 3.14 que a nossa amostra contém tanto estrelas que pertencem ao grupo *low-alpha* quanto ao *high-alpha* (definidos no estudo de Nissen e Schuster 2010). Outro resultado interessante é o baixo conteúdo de elementos alpha mostrado pela estrela LHS 173 em comparação com outras estrelas do halo da nossa galáxia; a medida de $[\alpha/\text{Fe}]$ para a anã LHS 173 sugere que essa estrela pode não ter sido formada na nossa galáxia.

A Figura 3.15 mostra $[\text{Mg}/\text{Fe}]$, $[\text{Si}/\text{Fe}]$, $[\text{Ca}/\text{Fe}]$ e $[\text{Ti}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$. Novamente, nossos dados estão razoavelmente de acordo com a amostra de Nissen e Schuster (2010), quando analisamos cada elemento considerado α separadamente. Infelizmente a estrela LHS 173 não apresenta abundância de Si para comparação, porque a única linha disponível 5517.54 \AA provavelmente está contaminada por outro elemento. De qualquer forma, a anã K LHS 173 apresenta baixo conteúdo de $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ e $[\text{Ca}/\text{Fe}]$ em comparação com o resto da nossa amostra e os dados de Nissen e Schuster (2010). A estrela G078-026 parece ser pobre em Si quando comparada com as outras estrelas do halo da Galáxia. Pode-

mos notar também que nossa amostra apresenta valores maiores de $[\text{Ti}/\text{Fe}]$ em comparação com as estrelas presentes no estudo de [Nissen e Schuster \(2010\)](#), sendo que as estrelas LHS 173 e HD 163810 apresentam os menores valores de $[\text{Ti}/\text{Fe}]$ dentro da amostra apresentada aqui.

O painel superior da Figura 3.16 apresenta $[\text{Na}/\text{Fe}]$ vs. $[\text{Fe}/\text{H}]$ em comparação com os dados de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) e galáxias anãs esferoidais mencionadas anteriormente. As abundâncias obtidas para o trabalho atual estão de acordo os valores de $[\text{Na}/\text{Fe}]$ encontradas no halo por [Nissen e Schuster \(2010\)](#); o valor de $[\text{Na}/\text{Fe}]$ deste trabalho para estrela HD 163810 difere pouco (0.1 dex) do obtido por [Nissen e Schuster \(2010\)](#).

Já o segundo painel da Figura 3.16 mostra $[\text{Al}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ em comparação com alguns dados das galáxias anãs esferoidais citadas acima; infelizmente não há dados de estrelas anãs da amostra de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) para comparação. Entretanto, é interessante notar que a estrela LHS 173 tem maior quantidade de $[\text{Al}/\text{Fe}]$ em comparação com as outras estrelas da amostra; esse resultado está em acordo com o baixo conteúdo de Mg encontrado nessa estrela em comparação com outras estrelas da amostra (a quantidade de Mg produzida por estrelas AGB é inversamente proporcional à de Al devido à cadeia de produção Mg–Al, como descrito em [Karakas e Lattanzio 2003](#)).

A razão $[\text{K}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ é apresentada no terceiro painel da Figura 3.16, onde podemos notar que a estrela LHS 173 é pobre em K comparada às outras estrelas da amostra.

O painel inferior da Figura 3.16 mostra $[\text{Sc}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ em comparação com os dados de [Fishlock et al. \(2017\)](#) (mesma amostra estudada por [Nissen e Schuster 2010](#)) e algumas galáxias anãs esferoidais. Os resultados apresentados aqui são ligeiramente maiores do que os encontrados por [Fishlock et al. \(2017\)](#), e em melhor acordo com as medidas de [Reggiani et al. \(2017\)](#). A anã K LHS 173 apresenta o maior valor de Sc para a amostra.

A Figura 3.17 apresenta os valores de $[\text{V}/\text{Fe}]$ (painel superior), $[\text{Mn}/\text{Fe}]$ (segundo painel), $[\text{Co}/\text{Fe}]$ (terceiro painel) e $[\text{Ni}/\text{Fe}]$ (painel inferior) em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$. Infelizmente, não há dados para comparação com nossas medidas de $[\text{V}/\text{Fe}]$; no entanto, podemos notar que a amostra parece dividida em duas populações distintas (baixo V, $[\text{V}/\text{Fe}] \sim 0.15$; e alto V, $[\text{V}/\text{Fe}] \sim 0.50$). Já os valores de $[\text{Mn}/\text{Fe}]$ para a nossa amostra são comparáveis com os valores de [Nissen e Schuster \(2011\)](#), apesar de haver uma diferença de 0.18 dex entre

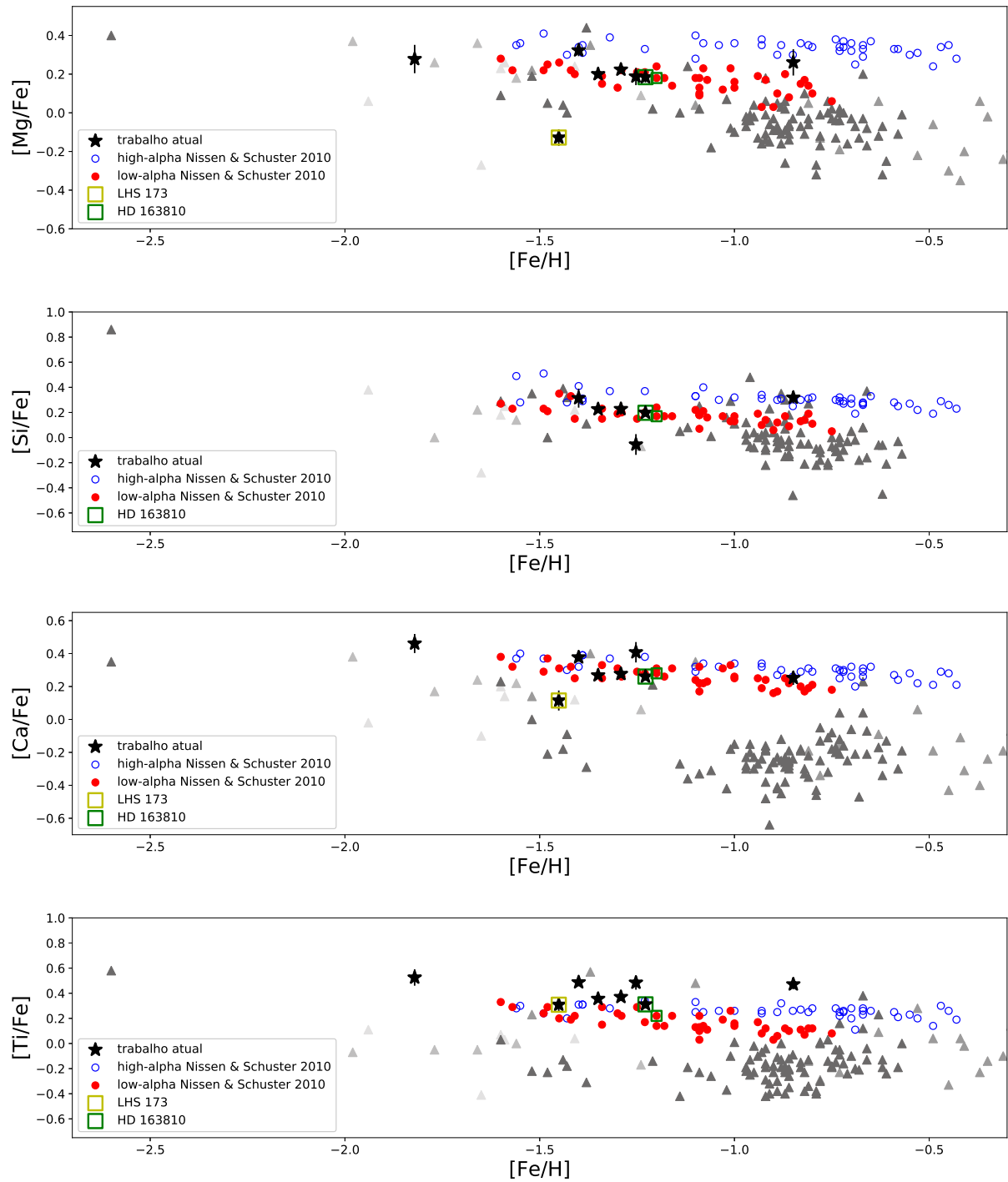


Figura 3.15: $[Mg/Fe]$ (painel superior), $[Si/Fe]$ (segundo painel), $[Ca/Fe]$ (terceiro painel) e $[Ti/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

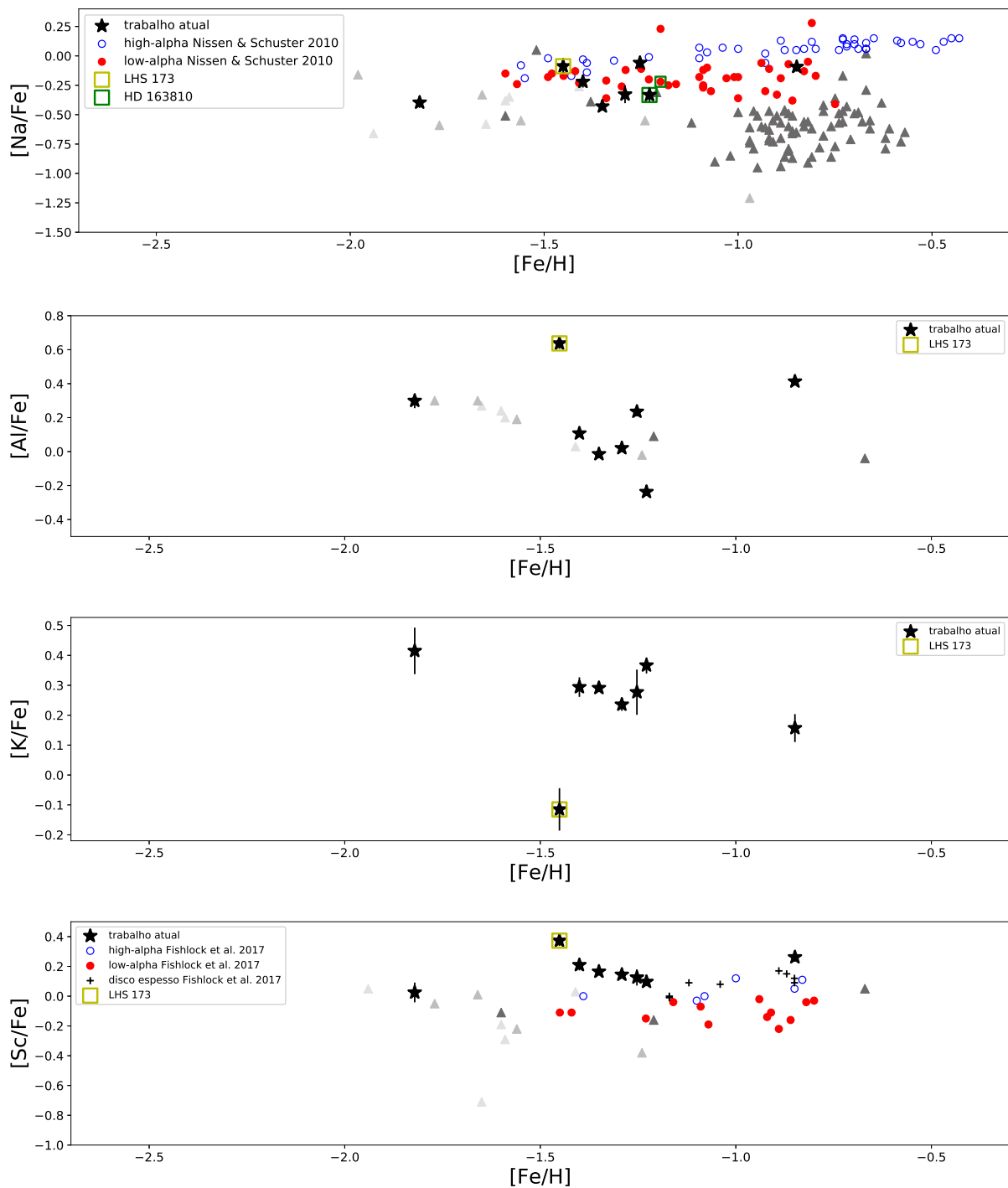


Figura 3.16: $[Na/Fe]$ (painel superior em comparação com os dados de Nissen e Schuster 2010), $[Al/Fe]$ (segundo painel), $[K/Fe]$ (terceiro painel) e $[Sc/Fe]$ (painel inferior em comparação com os dados de Fishlock et al. 2017) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

as distintas medidas de $[\text{Mn}/\text{Fe}]$ para a estrela HD 163810. Nossos resultados para o Co são comparados com resultados de estrelas de algumas galáxias anãs esferoidais; apesar do grande espalhamento entre os dados, a anã K LHS 173 apresenta o maior valor de $[\text{Co}/\text{Fe}]$. As nossas medidas de $[\text{Ni}/\text{Fe}]$ se assemelham às medidas de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) (0.05 dex de diferença para a estrela HD 163810), entretanto a estrela LHS 173 apresenta altas quantidades de Ni em comparação com o restante da amostra.

A Figura 3.18 traz os nossos resultados de $[\text{CrI}/\text{Fe}]$ (primeiro painel), $[\text{CrII}/\text{Fe}]$ (segundo painel) e $[\text{Cr}/\text{Fe}]$ (terceiro painel) versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ em comparação com a amostra de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) (obtidos somente pela análise de linhas de Cr I) e dados de galáxias anãs esferoidais. Nossas medidas de Cr I e Cr II diferem consideravelmente entre si talvez porque as diferenças entre uma análise LTE e NLTE sejam maiores para o Cr I, sendo as correções NLTE para o Cr II desprezíveis ([Bergemann e Cescutti, 2010](#)). Apesar da diferença de medidas entre nosso trabalho e o de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) para a estrela HD 163810 ser de apenas 0.01 dex, o restante da nossa amostra apresenta valores maiores de $[\text{CrI}/\text{Fe}]$ em comparação com os dados de [Nissen e Schuster \(2010\)](#). Já para a medida de $[\text{CrII}/\text{Fe}]$ a diferença encontrada entre os dois estudos para a estrela HD 163810 é de 0.03 dex e a maioria das estrelas da nossa amostra concordam melhor com os resultados de [Nissen e Schuster \(2010\)](#), no entanto devemos ter precaução ao interpretar os resultados de Cr II pois esses vêm da análise de uma única linha espectral.

O painel superior da Figura 3.19 mostra $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ em comparação com as observações de [Nissen e Schuster \(2011\)](#) e alguns dados de galáxias anãs esferoidais. A diferença entre as medidas do nosso trabalho e o de [Nissen e Schuster \(2011\)](#) para a estrela HD 163810 é de 0.06 dex; as abundâncias das outras estrelas de nossa amostra parecem seguir o crescimento de $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ com o aumento de $[\text{Fe}/\text{H}]$, como os objetos da amostra de [Nissen e Schuster \(2011\)](#).

O resultado de $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para a nossa amostra em comparação com os dados de [Nissen e Schuster \(2011\)](#) e de algumas galáxias anãs esferoidais é apresentado no painel inferior da Figura 3.19. A nossa medida de $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ para a estrela HD 163810 difere em 0.10 dex do resultado obtido por [Nissen e Schuster \(2011\)](#). A maior parte da nossa amostra concorda com os dados de [Nissen e Schuster \(2011\)](#); a exceção é a estrela LHS 173 que apresenta um valor de $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ 4 vezes maior (0.6 dex) que a média de $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ encontrada na nossa amostra.

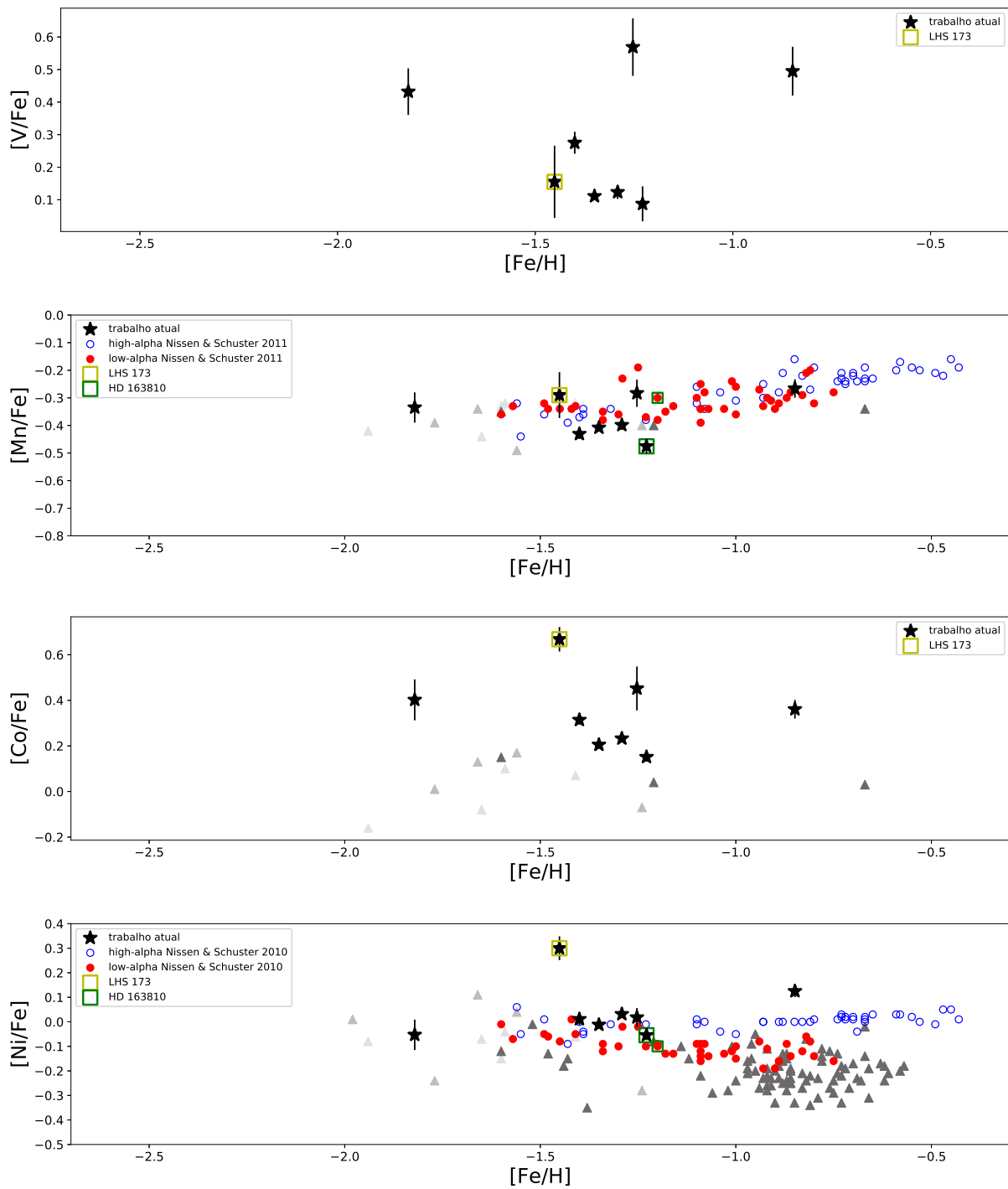


Figura 3.17: $[V/Fe]$ (painel superior), $[Mn/Fe]$ (segundo painel), $[Co/Fe]$ (terceiro painel) e $[Ni/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

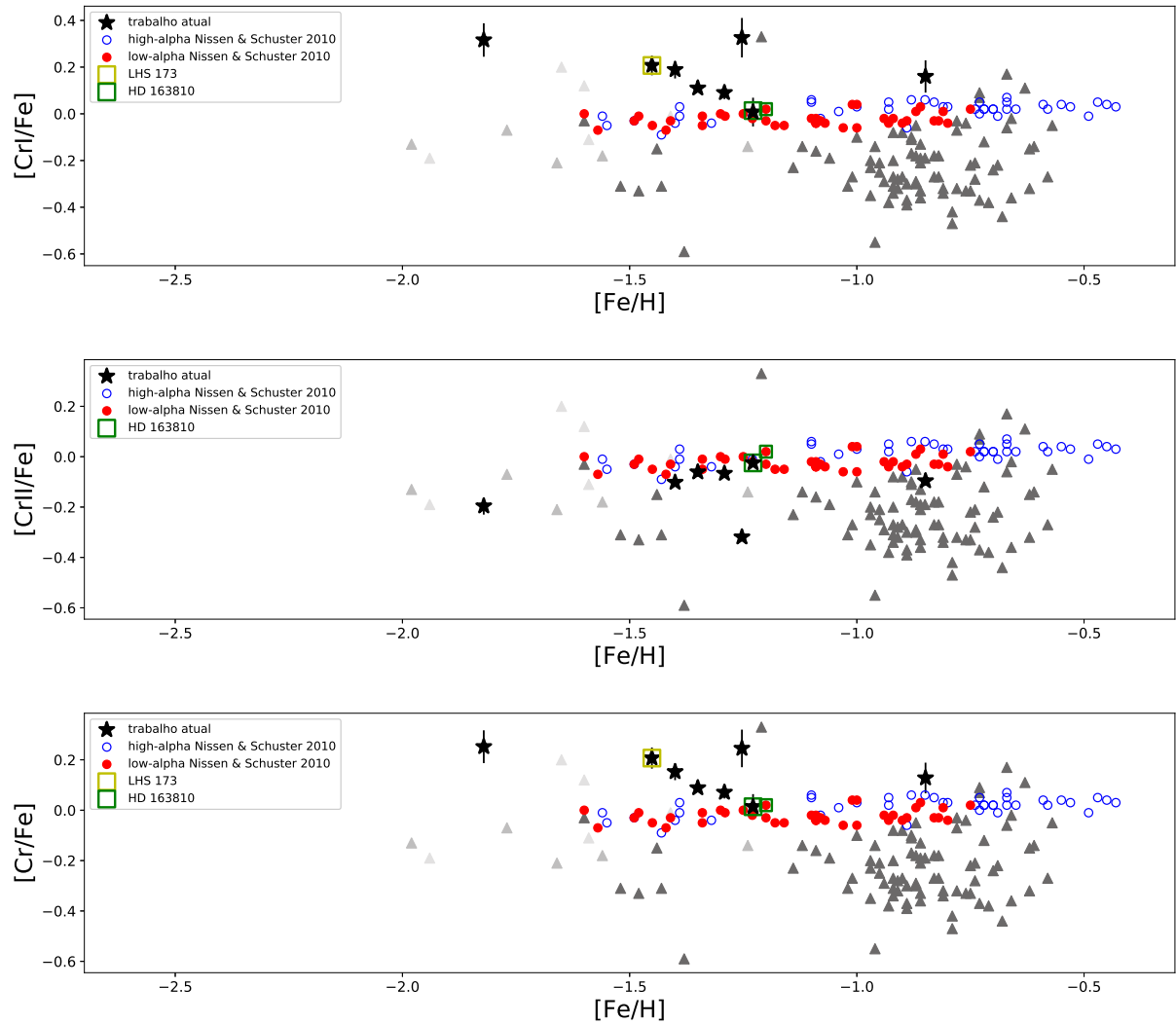


Figura 3.18: $[CrI/Fe]$ (painel superior), $[CrII/Fe]$ (segundo painel) e $[Cr/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

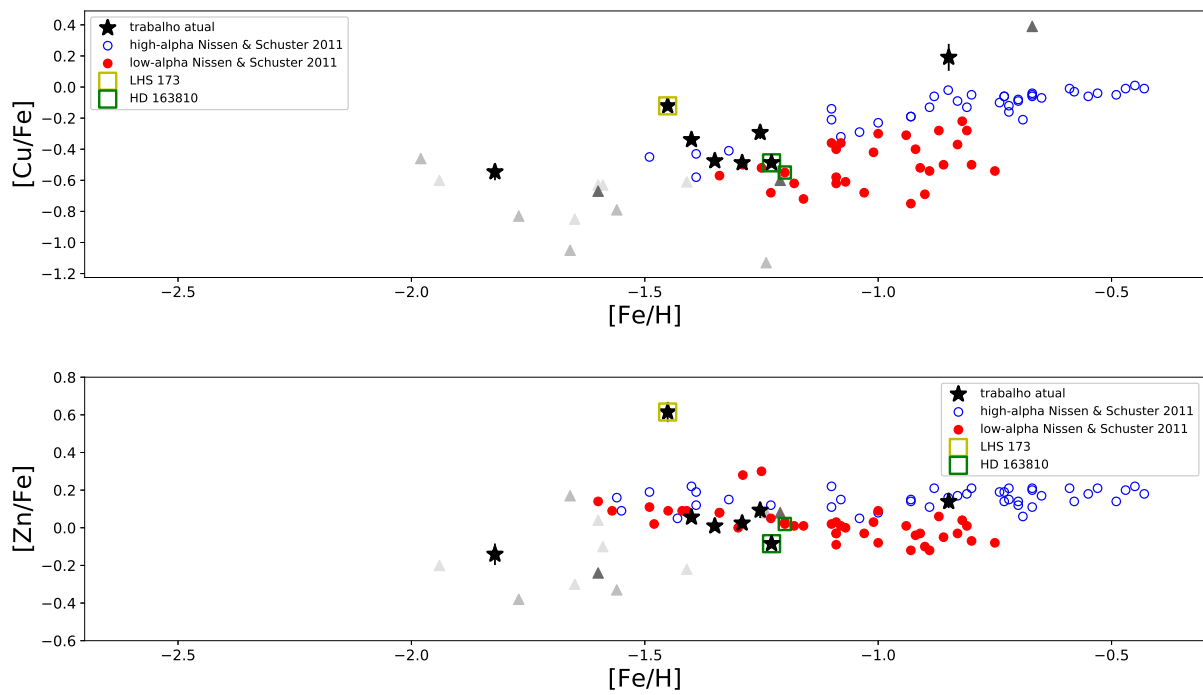


Figura 3.19: $[Cu/Fe]$ (painel superior) e $[Zn/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

A Figura 3.20 apresenta os resultados para alguns elementos criados por processos de captura de nêutrons; $[Y/Fe]$ (painel superior) e $[Ba/Fe]$ (segundo painel) em função de $[Fe/H]$ em comparação com os dados de Nissen e Schuster (2011), e $[La/Fe]$ (terceiro painel) e $[Ce/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$ em comparação com os dados de Fishlock et al. (2017). Os dados de galáxias anãs esferoidais também estão disponíveis para comparação.

A diferença nas medidas de $[Y/Fe]$ para a estrela HD 163810 obtida por esse trabalho e o de Nissen e Schuster (2011) é de 0.12 dex. O resultado obtido pela amostra apresentada aqui pode ser considerado compatível com o de Nissen e Schuster (2011); a estrela LHS 173 parece ser mais rica em $[Y/Fe]$ em comparação com o restante da nossa amostra, mas ainda assim tem valor de $[Y/Fe]$ menor do que algumas estrelas do grupo *high-alpha* de Nissen e Schuster (2011). Ademais, o Y sozinho não é um bom traçador de diferentes populações estelares visto que os dados de locais variados, com história de formação estelar distintas, se misturam no diagrama $[Y/Fe]$ vs. $[Fe/H]$.

Já o elemento Ba parece ser um bom indicador de diferentes populações visto que os dados da maioria das estrelas do halo da nossa Galáxia diferem bem dos dados de estrelas provenientes de galáxias anãs esferoidais. A nossa amostra de estrelas tem $[Ba/Fe]$ compatível com os valores encontrados para as estrelas de Nissen e Schuster (2011); nosso valor de $[Ba/Fe]$ para a estrela HD 163810 difere em 0.07 dex da medida obtida por Nissen e Schuster (2011). A anã K LHS 173 apresenta o maior valor de $[Ba/Fe]$ da nossa amostra, mas, ainda assim, é menor em comparação a algumas estrelas da amostra de Nissen e Schuster (2011).

Os nossos valores de $[La/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ são comparados aos resultados de Fishlock et al. (2017) e algumas galáxias anãs esferoidais, onde podemos notar que nossos resultados são maiores em média ~ 0.3 dex que os encontrados na amostra de comparação.

Encontramos, também, valores maiores de $[Ce/Fe]$ vs. $[Fe/H]$ para algumas estrelas de nossa amostra em comparação com os resultados de Fishlock et al. (2017), diferença que pode chegar à ~ 0.4 dex.

A Figura 3.21 apresenta outros elementos criados também por captura de nêutrons; dessa vez $[Nd/Fe]$ (painel superior), $[Eu/Fe]$ (segundo painel), $[Sm/Fe]$ (terceiro painel) e $[Dy/Fe]$ (painel inferior), versus $[Fe/H]$ em comparação, quando disponível, com os dados de Fishlock et al. (2017) e estrelas de galáxias anãs esferoidais.

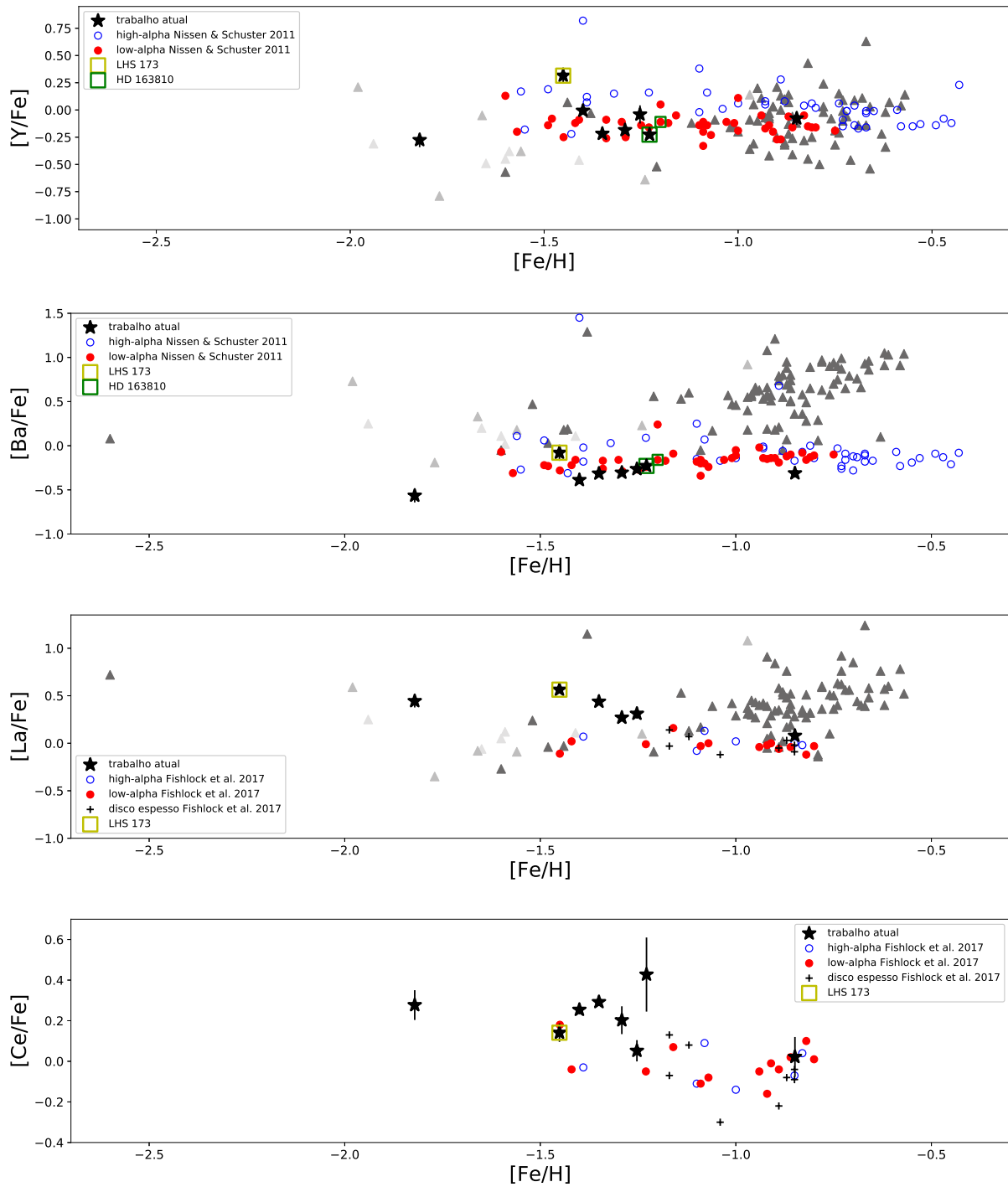


Figura 3.20: $[Y/Fe]$ (painel superior), $[Ba/Fe]$ (segundo painel), $[La/Fe]$ (terceiro painel) e $[Ce/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

Nossas medidas de $[\text{Nd}/\text{Fe}]$ estão de acordo com os resultados de [Fishlock et al. \(2017\)](#) e de galáxias anãs esferoidais. Podemos afirmar que a distribuição de $[\text{Nd}/\text{Fe}]$ com $[\text{Fe}/\text{H}]$ não é boa para determinar as populações estelares que se formam em ambientes diferentes, pois essa espécie parece ser insensível ao tempo. Esse comportamento é devido ao fato que o Nd deve ser formado em diferentes sítios, com diferentes escalas de tempo (ou seja, estrelas de diferentes massas). De acordo com [Simmerer et al. \(2004\)](#), o Nd apresenta fração de 0.58 criada pelo processo-s e fração de 0.42 pelo processo-r.

As abundâncias de Eu (elemento-r representativo, com fração de 0.97 pelo processo-r) obtidas aqui são relativamente maiores em comparação com os resultados de [Fishlock et al. \(2017\)](#). Mais uma vez, a estrela LHS 173 é a mais rica da amostra. Lembramos aqui, no entanto, que as abundâncias de Eu são apenas estimativas grosseiras pois a região utilizada na síntese espectral (única disponível para esse elemento) apresenta, para as estrelas aqui estudadas (anãs frias), contaminação por algumas espécies não identificadas.

Infelizmente, para os elementos Sm (fração 0.67 pelo processo-r) e Dy (fração 0.88 pelo processo-r) não há dados para comparação de análises derivadas do trabalho de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) ou para as galáxias anãs esferoidais apresentadas em outras figuras, provavelmente porque existem poucas, e também fracas, linhas para as medidas; na nossa lista temos 2 linhas de Sm II e 1 linha de Dy II.

Assim como no trabalho de [Nissen e Schuster \(2010\)](#), plotamos as estrelas da nossa amostra em um diagrama de *Toomre* em comparação com os dados do estudo mencionado. A Figura 3.22 mostra as componentes de velocidade $(U^2 + W^2)^{\frac{1}{2}}$ em função da componente de velocidade V , todas determinadas a partir do sistema local de repouso. Essas componentes de velocidade foram calculadas usando os valores de ascensão reta (α), declinação (δ), paralaxe, movimento próprio (μ_α e μ_δ) e velocidade radial para cada estrela ([Latham et al., 2002](#); [Gaia Collaboration et al., 2016, 2018](#); [Soubiran et al., 2018](#)). Podemos notar que toda a nossa amostra faz parte do halo da Galáxia, sendo três estrelas compatíveis com a maior parte das estrelas *high-alpha* de [Nissen e Schuster \(2010\)](#) com movimento prógrado, e o restante da amostra compatível com a maior parte das estrelas *low-alpha* e com movimento retrógrado (incluída nesse grupo a estrela LHS 173).

Resumindo, a estrela LHS 173 apresenta abundâncias anômalas para os elementos Mg, Ca, Al, K, Sc, Co, Ni e Zn, em comparação com a nossa amostra e dados da literatura para estrelas do halo da nossa galáxia, e cinemática compatível com a população do halo

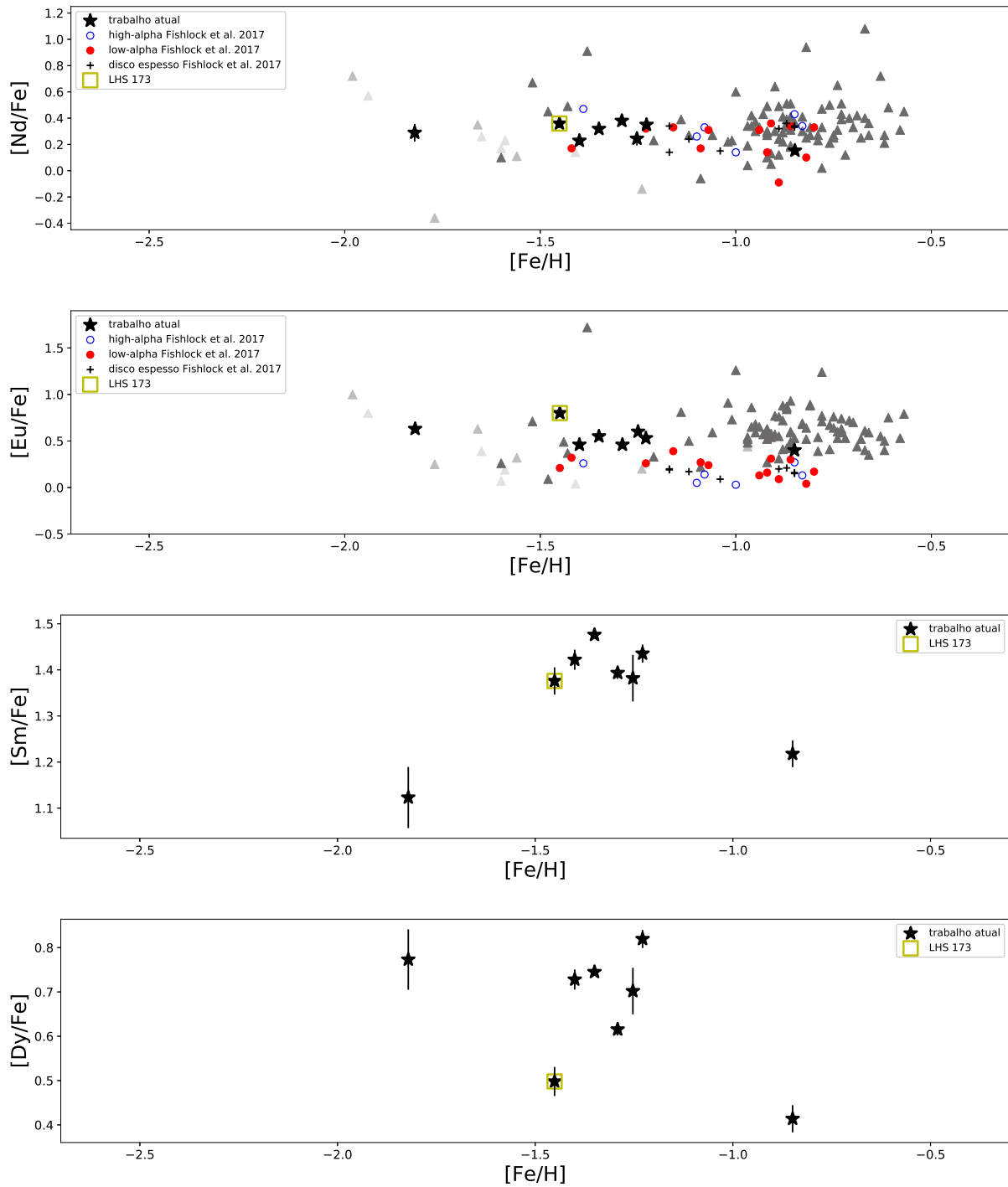


Figura 3.21: $[Nd/Fe]$ (painel superior), $[Eu/Fe]$ (segundo painel), $[Sm/Fe]$ (terceiro painel) e $[Dy/Fe]$ (painel inferior) em função de $[Fe/H]$. Os símbolos são os mesmos da Figura 3.14.

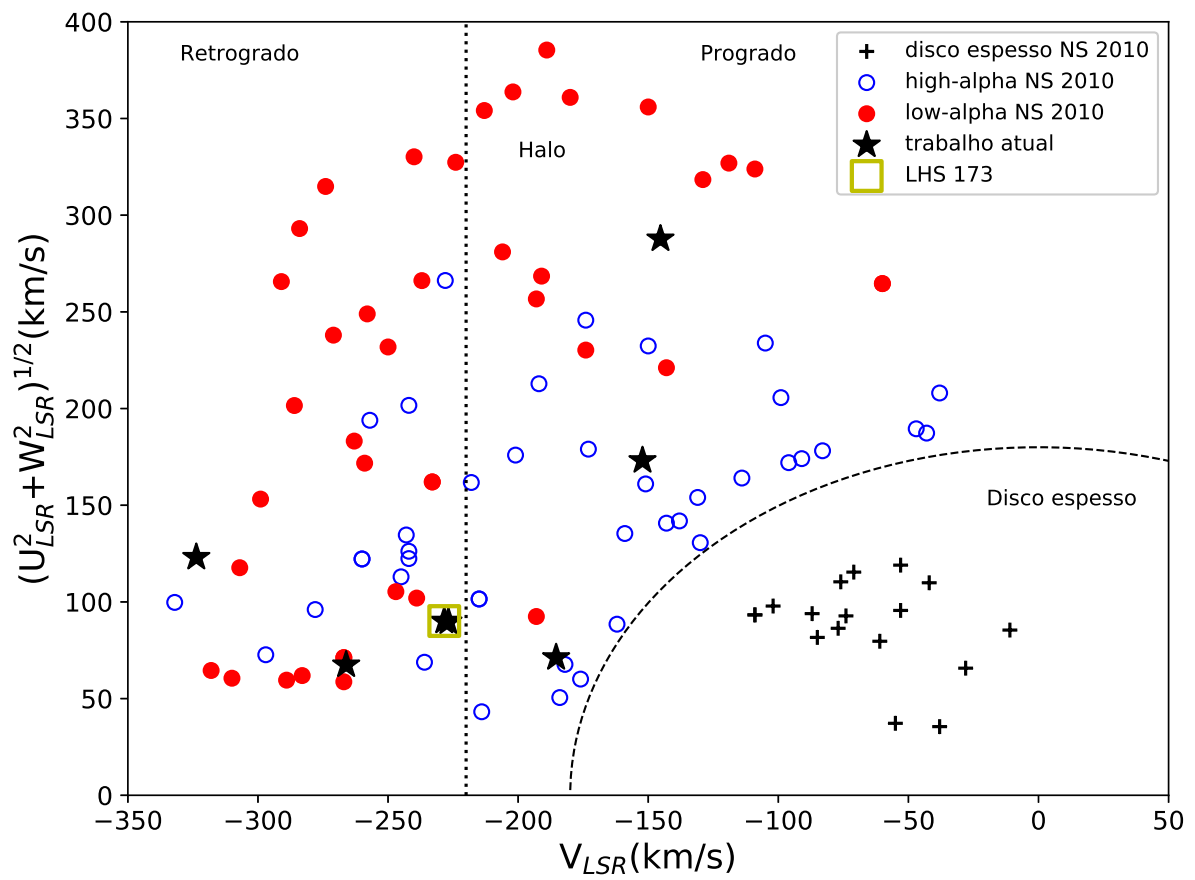


Figura 3.22: Diagrama de Toomre para a nossa amostra (estrelas pretas) em comparação com os resultados de Nissen e Schuster (2010).

externo; o que indica, provavelmente, que essa estrela não foi formada na Via Láctea mas sim agregada de alguma galáxia anã satélite.

3.2.2 Razões isotópicas do Magnésio

A Tabela 3.4 apresenta as razões isotópicas do Mg para as anãs K observadas pelo espectrógrafo HIRES; notar que as razões apresentadas nessa tabela são dadas em relação ao conteúdo total de Mg, como $^{24}\text{Mg} + ^{25}\text{Mg} + ^{26}\text{Mg}$. Daqui em diante a discussão sobre as razões isotópicas de Mg serão focadas na razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$. A razão $^{25}\text{Mg}/\text{Mg}$ não deve ser considerada quando comparamos os nossos resultados com modelos de evolução química da Galáxia, pois além de incertezas maiores na determinação da quantidade de ^{25}Mg em comparação à determinação de ^{26}Mg , devido a distância muito pequena entre os isótopos ^{25}Mg e ^{24}Mg (contribuição principal da linha), também existem incertezas provenientes da modelagem (de acordo com Thygesen et al. 2016, 2017 o ^{25}Mg é subestimado em até 5% quando são usados modelos de atmosferas 1D em comparação com modelos de atmosferas 3D hidrodinâmicos). Por outro lado, as medidas de ^{26}Mg são robustas, já que esse isótopo é quase imune aos efeitos dos modelos de atmosferas 3D hidrodinâmicos (Thygesen et al., 2016, 2017).

Tabela 3.4 - Razões isotópicas de Mg.

Estrela	^{25}Mg (%)	^{26}Mg (%)
G078-026	5.3 ± 0.2	3.4 ± 0.6
G128-061	8.0 ± 1.0	4.8 ± 1.6
G185-030	4.0 ± 0.3	1.6 ± 0.4
G189-045	4.6 ± 1.1	2.2 ± 0.9
LHS 3780	4.5 ± 0.1	0.0 ± 1.0
LHS 173	18.6 ± 0.7	13.1 ± 3.7
Sol	10.00^a	11.01^a

Notas. ^(a)Dados de Asplund et al. (2009).

A Figura 3.23 mostra as estrelas analisadas nesse trabalho e dados da literatura (Yong et al., 2003; Meléndez e Cohen, 2007), em comparação com modelos pré-existent de evolução química da Galáxia para a vizinhança solar (Fenner et al. 2003 com ou sem a contribuição de estrelas AGB, e Kobayashi et al. 2011, que inclui a contribuição de

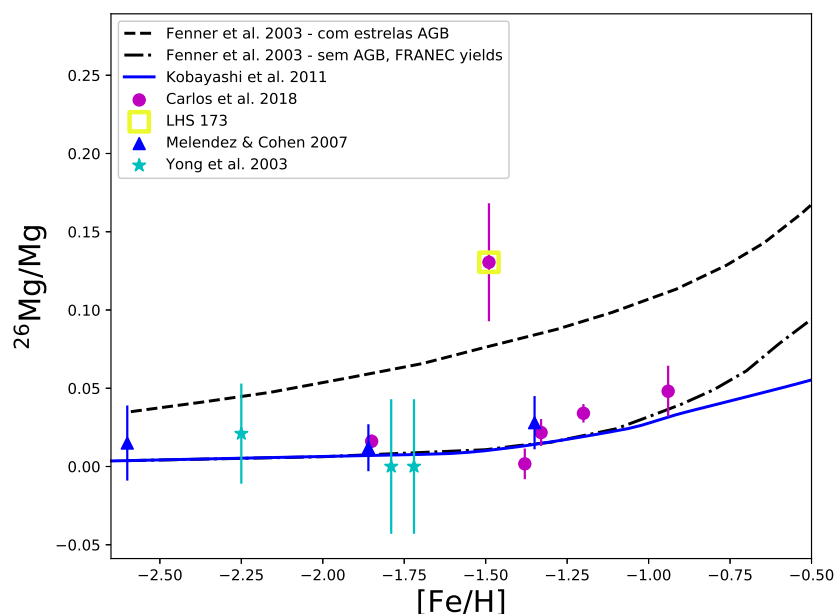


Figura 3.23: Razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ para as anãs K observadas com o espectrógrafo HIRES e estrelas do halo Galáctico encontradas na literatura, em comparação com alguns modelos de evolução química da Galáxia.

estrelas AGB). Como podemos notar, a estrela LHS 173 (marcada na Figura 3.23 como um quadrado amarelo) apresenta uma quantidade de $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ anômala para sua metalicidade em comparação com as outras estrelas da amostra.

Esse resultado, somado ao fato de que essa estrela apresenta algumas abundâncias elementais anômalas em comparação às outras estrelas da amostra (como discutido detalhadamente na Subseção 3.2.1), corrobora a hipótese de que a anã K LHS 173 não se originou na nossa galáxia mas, provavelmente, foi agregada de uma galáxia satélite. Por esse motivo a discussão presente daqui em diante desconsidera essa estrela.

A Figura 3.24 mostra novamente a razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ em comparação com modelos de evolução química da Galáxia, desta vez desconsiderando a estrela LHS 173 (painel esquerdo), e também com uma função de quebra que mostra em que ponto ($[\text{Fe}/\text{H}]$) temos o crescimento da razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ (painel direito). Nosso trabalho encontrou que para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.4 \pm 0.1$ as estrelas AGB de baixa metalicidade começam a contribuir para o enriquecimento de ^{26}Mg na Galáxia, valor ligeiramente maior do que o encontrado por Meléndez e Cohen (2007). Podemos notar, então, que há um acordo entre os modelos

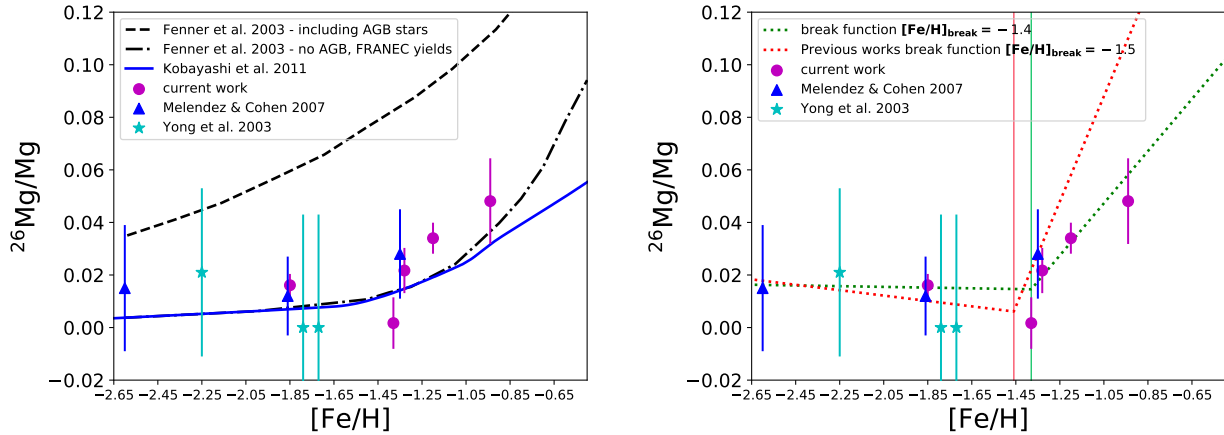


Figura 3.24: Figura original de Carlos et al. (2018). O painel esquerdo mostra os mesmos dados que na Figura 3.23 menos a estrela LHS 173. O painel direito mostra duas funções de quebra; em vermelho considerando somente os dados da literatura ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{break}} = -1.5$), e em verde considerando as estrelas da nossa amostra mais os dados da literatura ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{break}} = -1.4$).

de Fenner et al. (2003) (sem a inclusão de estrelas AGB) e Kobayashi et al. (2011) em comparação com as estrelas com $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -1.4$. Já para $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1.4$ os dados observados diferem dos modelos de evolução química da Galáxia, o que pode significar ou que os *yields* considerados nos cálculos desses modelos deveriam ser maiores para os isótopos com mais nêutrons ou que a escala de tempo de formação do halo da Galáxia deve ser diferente da considerada para esses cálculos. Devemos ressaltar aqui, também, que o modelo de Fenner et al. (2003), que inclui a contribuição de estrelas AGB, não está de acordo com nenhum dado observado do halo da Galáxia; isso se deve ao fato de que esse modelo foi construído empiricamente, e, infelizmente, a maior parte das estrelas que Fenner et al. (2003) considerou para a construção desse modelo é proveniente do disco espesso, e também é possível que existam alguns casos de estrelas em sistemas binários.

Para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.4 \pm 0.1$, se considerarmos somente a contribuição de estrelas AGB para o enriquecimento do halo da Galáxia, a maioria da contribuição de isótopos de ^{26}Mg viria de estrelas com massa $\gtrsim 4 \pm 1 M_{\odot}$ (Figura 3.25). Estrelas nesse intervalo de massa têm um tempo de vida aproximadamente entre 150 e 300 milhões de anos; assim, teríamos um limite superior para a formação do halo Galáctico de no máximo 300 milhões de anos.

No entanto, não podemos ignorar outras contribuições para o enriquecimento químico da Galáxia. Com um tempo de formação do halo curto como esse não conseguimos repro-

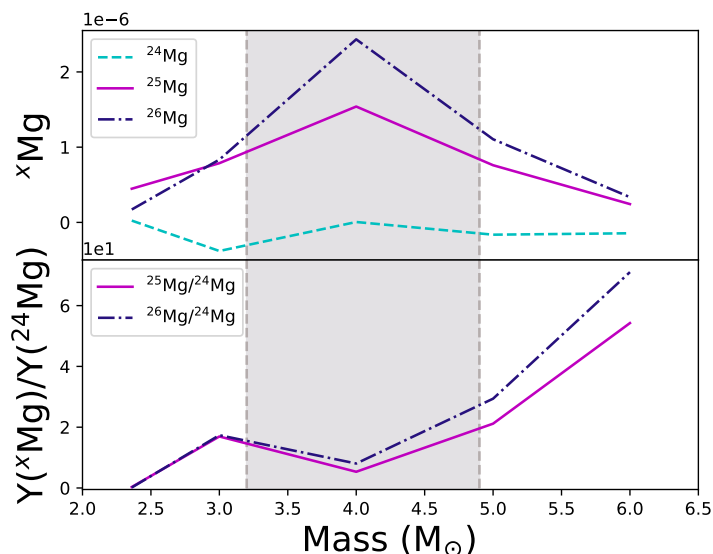


Figura 3.25: Figura original de Carlos et al. (2018). Painel superior apresenta *yields* de estrelas AGB de Shingles et al. (2015) normalizados pela função de massa inicial de Kroupa et al. (1993). O painel inferior mostra razões isotópicas de massa para os mesmos dados. A área cinza indica a região onde encontramos as maiores contribuições de $^{25,26}\text{Mg}$, quando pesadas pela IMF.

duzir a razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ para $[\text{Fe}/\text{H}] > -1.4$, pois estaríamos ignorando a contribuição de ^{24}Mg proveniente de supernovas do tipo II ao mesmo tempo em que estrelas AGB contribuem com ^{26}Mg . Para reproduzirmos os dados observados, temos que construir um modelo de evolução química da Galáxia que suprima a contribuição de supernovas do tipo II ao mesmo tempo em que torna dominante a contribuição proveniente de estrelas AGB; para conseguirmos esse resultado construímos um modelo com forte *outflow* (definido como o fluxo de gás que sai do sistema, nesse caso o halo da Galáxia).

A Figura 3.26 mostra o novo modelo de evolução química para o halo da Galáxia baseado no trabalho de Kobayashi et al. (2011), mas considerando um forte *outflow* comparado com os dados observacionais de anãs K do halo da Galáxia. Esse novo modelo de evolução química do halo da Galáxia, gerado pela Prof^a. Chiaki Kobayashi da Universidade de Hertfordshire no Reino Unido, foi numericamente construído à partir das Equações 5 e 6 e o termo de *outflow* de Kobayashi et al. (2000). A taxa de formação estelar (ϕ) é proporcional à fração de gás:

$$\phi = (1/\tau_s)f_g, \quad (3.1)$$

onde τ_s é a escala de tempo da formação estelar e f_g é a fração de gás.

A fonte do *outflow* (R_{out}) vem da contribuição de supernovas e por isso também é proporcional à fração de gás:

$$R_{\text{out}} = (1/\tau_o)f_g, \quad (3.2)$$

onde, novamente, f_g é a fração de gás e τ_o é a escala de tempo do *outflow*.

A fração de gás inicial é $f_g(0) = 1$ e sem metais ($Z(0) = 0$); novas estrelas são formadas da mistura do gás primordial mais qualquer ejeção de material de estrelas de gerações anteriores (por exemplo, por perda de massa ou supernovas). O *outflow* remove metais com composição de metalicidade média do sistema no tempo t , $R_{\text{out}}Z(t)$. Há a possibilidade do gás do *outflow* “cair” no disco da Galáxia, mas esse processo não foi incluído nesse modelo. Também é possível considerar *inflow* (definido como o gás acrescido ao sistema) mas a escala de tempo deve ser curta para podermos reproduzir a baixa metalicidade das estrelas do halo galáctico. Como esse modelo não é dinâmico, as escalas de tempo são determinadas para reproduzir as observações, ou seja, a função de distribuição de metalicidade observada (Chiba e Yoshii, 1998).

A função de massa inicial de Kroupa foi adotada (Kroupa et al., 1993). *Yields* de estrelas super-AGB também foram considerados apesar dessa contribuição ser desprezível. No modelo com melhor ajuste sem *inflow*, a escala de tempo de formação estelar e do *outflow* são respectivamente $\tau_s = 5$ e $\tau_o = 0.2$ Gano. Outros parâmetros são possíveis, como por exemplo, $\tau_s = 10$ e $\tau_o = 0.4$ Gano, mas a escala de tempo do *outflow* não deve ser maior que $\tau_o = 0.4$ Gano para explicar os nossos dados em $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.94$. Metade das estrelas do halo possivelmente são formadas em 0.7 Gano para $\tau_o = 0.2$ Gano ou em 1.5 Gano para $\tau_o = 0.4$ Gano. Com essa escala de tempo curta para o *outflow*, o gás proveniente do *outflow* contém os metais produzidos principalmente por supernovas, enquanto as estrelas mais novas contém a maioria dos metais produzidos em estrelas AGB. No modelo do halo original de Kobayashi et al. (2011) com $\tau_s = 15$ e $\tau_o = 1$ Gano, somente 15% das estrelas do halo são formadas em 1.5 Gano, e não mostra o rápido crescimento da razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ (similar ao modelo da vizinhança solar mostrado na Figura 3.23). Assim, a partir desse breve estudo, sugerimos que a escala de tempo para formação do halo da Galáxia não pode ser maior que 1.5 Gano.

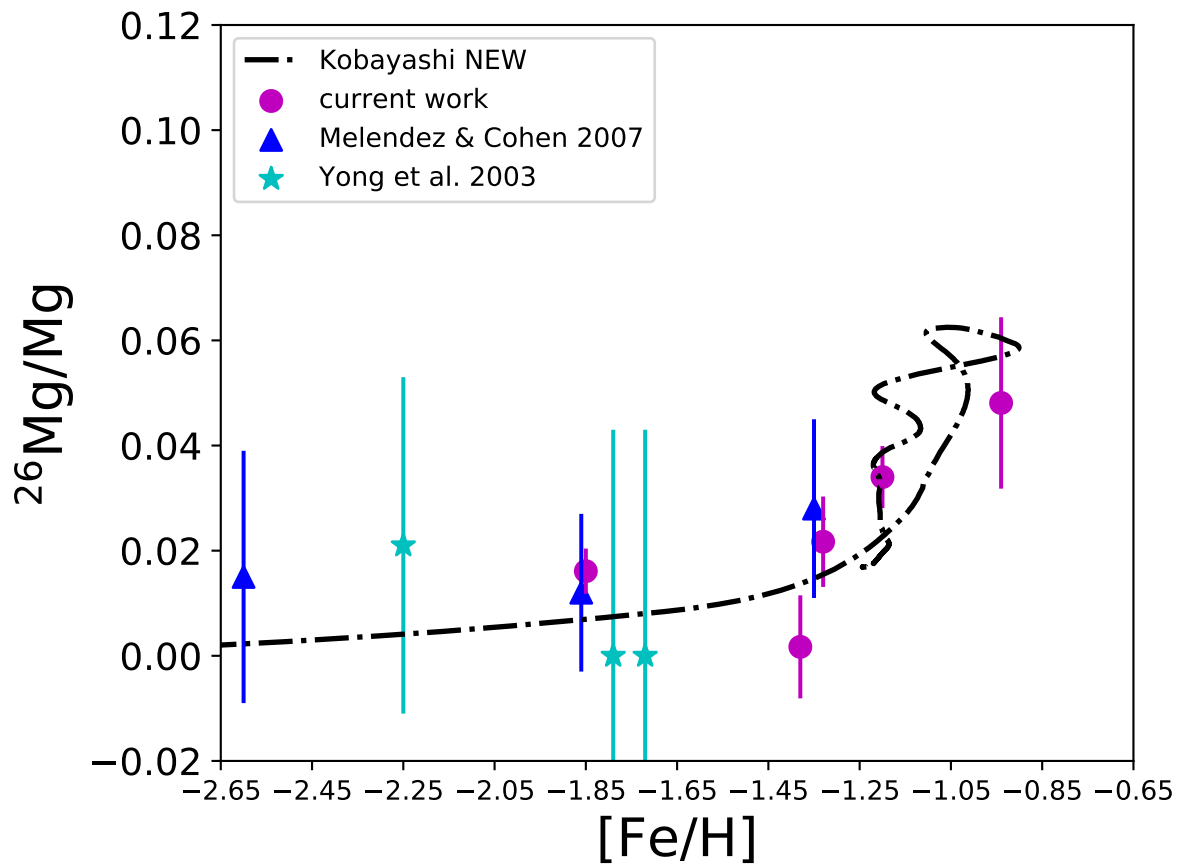


Figura 3.26: Figura original de Carlos et al. (2018). Novo modelo baseado em Kobayashi et al. (2011) considerando um forte *outflow* representado pela linha pontilhada e tracejada preta, em comparação com os dados observados.

Modelos de evolução estelar e *yields* de estrelas de massas baixa e intermediária

Como mencionado anteriormente, estrelas que se encontram na fase AGB são as principais responsáveis pela produção de elementos produzidos através do processo-s na Galáxia (Karakas e Lattanzio, 2014). Estrelas nessa fase da evolução estelar também produzem outros elementos que incluem C, N e F (Jorissen et al., 1992; Timmes et al., 1995; Dray et al., 2003; Henry et al., 2000). Assim, estudar esses objetos e entender como eles evoluem e poluem o espaço que habitam é crucial para compreendermos melhor a evolução química da Galáxia.

A seguir discutimos a evolução de estrelas de baixa massa e massa intermediária ($\sim 0.8 - 8.0 M_{\odot}$). Esses objetos passam a maior parte da vida na sequência principal produzindo energia em seus núcleos através da queima de H em He (mediante a cadeia próton-próton em estrelas de massa $\lesssim 1.2 M_{\odot}$, ou pelo ciclo CNO em estrelas de massa $\gtrsim 1.2 M_{\odot}$). Quando o H é depletado no núcleo estelar, este continua queimando em uma camada em torno de um núcleo predominantemente composto por He. As “cinzas” do H queimado nessa camada aumentam o núcleo de He até este atingir o limite de Schönberg–Chandrasekhar; o núcleo torna-se isotérmico. Ao atingir esse limite, o núcleo colapsa em uma escala de tempo de Kelvin–Helmholtz (a estrela está agora na fase de subgigante, SGB da sigla em inglês). Depois, passando pelo ramo das gigantes vermelhas (RGB), com a contração do núcleo há uma expansão do envelope estelar ocasionando a diminuição da temperatura e um aumento na opacidade devido à presença de íons H^{-} ; isso causa a expansão de uma região convectiva aproximadamente até a superfície da estrela, ao mesmo tempo em que a base do envelope convectivo se aprofunda no interior estelar, o que

causa o transporte de espécies produzidas no interior até a superfície estelar e também o transporte de espécies da superfície para o interior estelar; esse fenômeno é chamado de primeira dragagem e sua consequência é a observação da diminuição de Li, aumento de ${}^4\text{He}$ e a diminuição da razão ${}^{12}\text{C}/{}^{14}\text{N}$ na superfície estelar (Iben, 1967; Sweigart et al., 1989; Charbonnel, 1994).

Para estrelas com massa $\lesssim 2 M_{\odot}$ (esse valor depende da metalicidade estelar), o núcleo de He continua a colapsar até o fim da fase RGB e é composto agora por um gás de elétrons degenerados, onde a pressão se torna independente da temperatura. Há perdas de energia por neutrinos, o que causa um gradiente negativo de temperatura no centro da estrela. Quando a temperatura e densidade se tornam altas o suficiente para iniciar a queima de He pelo processo triplo- α ($T \sim 10^8$ K e $\rho \sim 10^7$ kg.m $^{-3}$), a energia liberada pela queima é quase explosiva ($L \sim 10^{11} L_{\odot}$ em apenas alguns segundos). A queima de He acontece primeiro em uma camada em torno do núcleo, mas este começa a queimar He rapidamente. O gradiente negativo de temperatura deixa de existir, a degenerescência do gás é quebrada, o núcleo se expande e a temperatura e a densidade decrescem diminuindo a taxa de reação de queima de He. Esse processo é conhecido como “flash” do He no núcleo estelar. Simulações de como esse evento pode afetar a estrutura interna de estrelas são encontradas em Mocák et al. (2008, 2009).

Já estrelas com massa $\gtrsim 2 M_{\odot}$ (novamente, esse valor depende da metalicidade estelar) têm contração do núcleo até atingir temperatura e densidade suficientes para a queima de He pelo processo triplo- α ; isso ocorre de forma mais suave e sem que o núcleo fique degenerado.

Durante a fase no ramo horizontal (HB da sigla em inglês), a estrela queima o He em C no seu núcleo e, podendo produzir também, O. Quando o He em C no seu núcleo é exaurido, este contrai causando um aumento na temperatura e criando uma camada de queima de He em volta do núcleo de C e O. Conforme o núcleo estelar continua a contrair, a camada de queima de He expande e esfria, desativando a camada de queima de H.

Assim que a estrela evolui para a fase inicial no ramo assintótico das gigantes (e-AGB, da sigla em inglês), a fonte mais importante de energia é a camada de queima de He, com a camada de queima de H quase inativa a esse ponto. Nessa fase, o envelope estelar expande devido à absorção de boa parte da energia criada na camada de queima de He; a temperatura diminui e o envelope convectivo se aprofunda novamente até a

descontinuidade química entre a camada externa rica em H e a região rica em He acima da camada de queima de He. Durante esse momento, para estrelas mais massivas ($M \gtrsim 4 M_{\odot}$, dependendo da metalicidade), o envelope convectivo é profundo de tal forma que podemos observar um aumento na quantidade de ${}^4\text{He}$ e ${}^{14}\text{N}$ na superfície estelar; esse processo é conhecido como segunda dragagem (Karakas e Lattanzio, 2014).

Conforme a estrela evolui no ramo assintótico das gigantes, a camada de He fica mais fina e se torna termicamente instável pela primeira vez (episódio conhecido como “flash” do He em camadas ou pulso térmico), a estrela está agora na fase de AGB com pulsos térmicos (tp-AGB, da sigla em inglês). A camada de He “liga” e “desliga” a queima de He quase periodicamente devido ao depósito das cinzas de He (produzidas na camada de queima de H). Com o aumento da camada de He, esta se torna degenerada. Quando a temperatura na base dessa camada se torna alta o suficiente um “flash” do He ocorre, nesse momento a queima de He nessa camada acontece de forma bem intensa (com luminosidade produzida chegando a $\sim 10^8 L_{\odot}$ durante algumas centenas de anos). A energia produzida expande as camadas mais externas da estrela extinguindo momentaneamente a camada de queima de H. Quando a queima de He diminui, a estrela contrai e a camada de queima de H é recuperada novamente seguida de um período relativamente longo de queima de H (conhecido como fase de interpulso, com escala de tempo de $\sim 10^4$ anos), depositando novamente as cinzas dessa queima na camada de He e o processo todo se repete. A Figura 4.1 apresenta esquematicamente o interior estelar na fase tp-AGB.

Durante o pulso térmico, a energia produzida pelo “flash” impulsiona uma região convectiva depois da camada de He. Após a expansão ocorrida depois do pulso térmico, o envelope convectivo externo se move para as regiões mais internas da estrela, até a região misturada pela convecção ocorrida entre as camadas de queima de H e He; esse processo é conhecido como terceira dragagem e pode ocorrer depois de cada pulso térmico. A terceira dragagem é responsável por trazer à superfície das estrelas espécies produzidas pela queima parcial de He (principalmente ${}^4\text{He}$ e ${}^{12}\text{C}$). O ciclo interpulso–pulso térmico–terceira dragagem se repetirá várias vezes durante a fase tp-AGB da estrela (Karakas e Lattanzio, 2014).

Para as estrelas AGB mais massivas, modelos indicam que o envelope convectivo pode chegar à região da camada de H, podendo causar queima nuclear na base desse envelope. Esse fenômeno é conhecido como *hot bottom burning* (HBB) e pode mudar dramaticamente

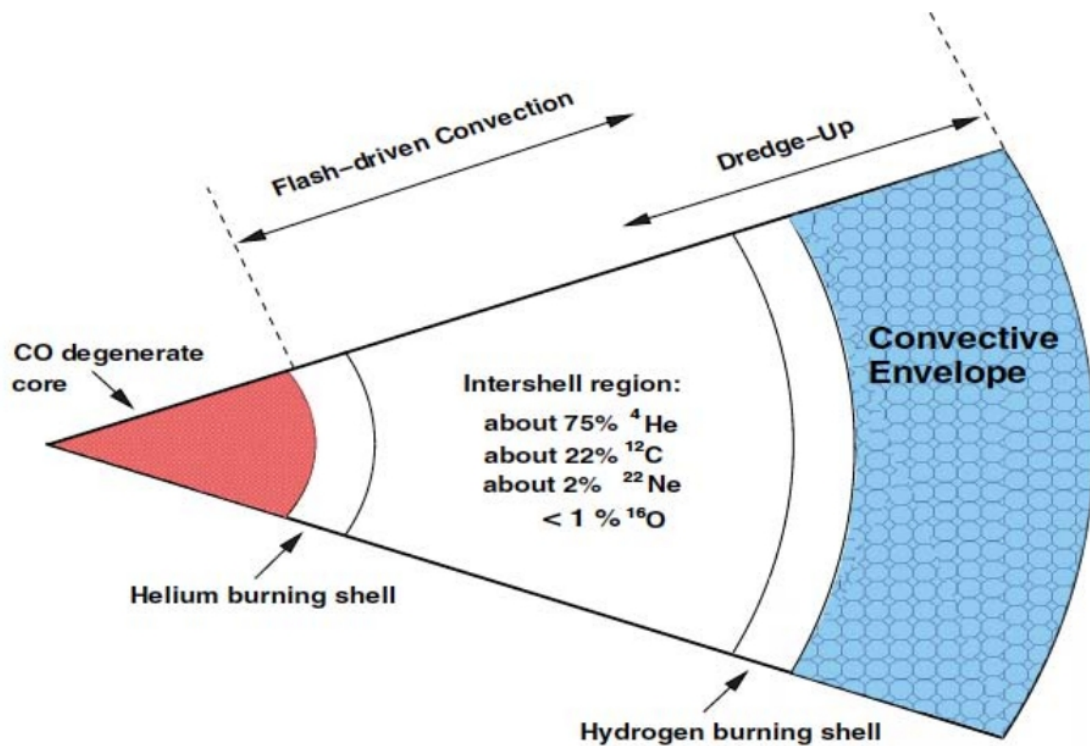


Figura 4.1: Figura original de [Karakas et al. \(2002\)](#), mostrando a estrutura de uma estrela durante a fase AGB (fora de escala).

a abundância superficial da estrela devido a temperaturas mais altas que ativam o ciclo CNO de queima nuclear, seguido da possível ativação das cadeias Ne–Na e Mg–Al na região ([Scalo et al., 1975](#); [Lattanzio, 1992](#); [Karakas e Lattanzio, 2014](#)).

Apesar do curto período de tempo que a estrela passa na fase tp–AGB em comparação a outras fases da evolução estelar, é durante o tp–AGB que ocorre a mais intensa nucleossíntese para estrelas de baixa massa e massa intermediária. Isso se deve principalmente a instabilidades térmicas e aos muitos eventos de terceira dragagens. Para estrelas de baixa massa, a cada terceira dragagem há a mistura de ^{12}C , situado entre as camadas de queima de He e H, para o envelope; esse processo aumenta lentamente a razão C/O na superfície estelar (painel esquerdo da Figura 4.2). Já para estrelas AGB de massa intermediária, devido a altas temperaturas suficientes para a ocorrência do HBB, há a produção de ^{14}N às custas de ^{12}C e por isso a razão C/O dificilmente chega a 1 na superfície estelar (painel direito da Figura 4.2). Além de C e elementos do processo-s produzidos durante a nucleossíntese na queima da camada de He e durante a terceira dragagem, F, Na, ^{22}Ne e os

isótopos mais pesados do Mg também são produzidos durante os pulsos térmicos (Karakas e Lattanzio, 2014).

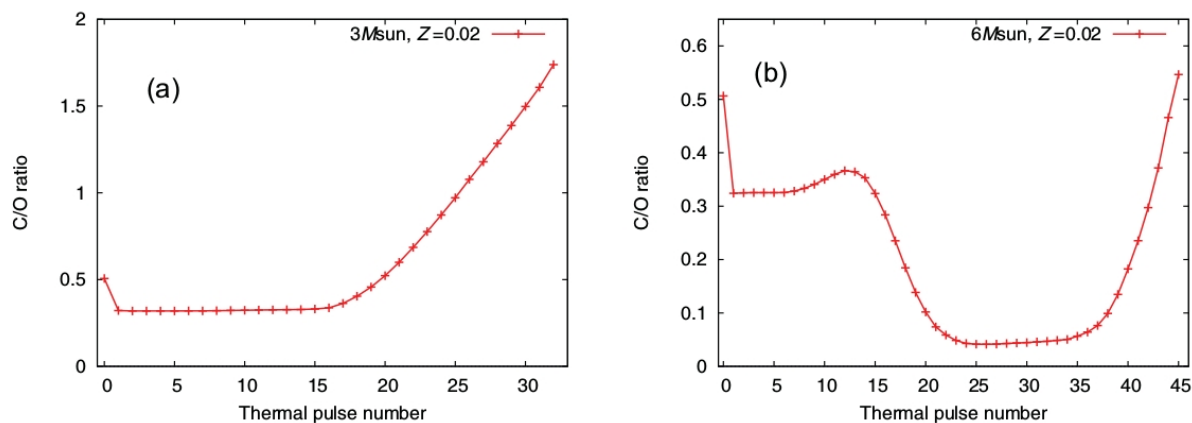


Figura 4.2: Figura original de Karakas e Lattanzio (2014). Razão C/O em função do número de pulsos térmicos para modelos de evolução estelar com $Z = 0.02$ e $M = 3 M_{\odot}$ (painel esquerdo) e $M = 6 M_{\odot}$ (painel direito). Não há HBB para o modelo com $M = 3 M_{\odot}$ e por isso a estrela se torna rica em C, já para $M = 6 M_{\odot}$, onde há HBB, a razão C/O não chega a 1.

À medida que a estrela AGB evolui, há um aumento considerável de perda de massa até que um super vento é desenvolvido, com essa taxa podendo chegar a $\dot{M} \sim 10^{-4} M_{\odot} \text{ano}^{-1}$ (Justtanont et al., 2013). Durante a fase pós-AGB, a estrela está na fase final de perda de massa e o envelope restante da estrela é expelido. Os ventos estelares poluem o meio com o material produzido durante toda a vida dessas estrelas. As camadas de queima de H e He são extinguidas e a luminosidade estelar despenca rapidamente. Finalmente, o objeto central remanescente resfriará até se tornar uma anã branca composta principalmente por um núcleo degenerado de C-O (Althaus et al., 2010).

A Figura 4.3 mostra dois diagramas Hertzsprung–Russell para $M = 1 M_{\odot}$ e $M = 5 M_{\odot}$, apontando cada fase da evolução estelar. Mais informações e referências sobre evolução estelar podem ser encontradas em Carroll e Ostlie (2007) e Kippenhahn et al. (2012).

Já que estrelas na fase AGB são responsáveis por parte importante do enriquecimento químico da Galáxia, muitos estudos teóricos e modelos computacionais resultantes são feitos para melhor entendermos essa contribuição. Renzini e Voli (1981) foram os primeiros a computar yields provenientes de estrelas AGB, salientando a evolução das abundâncias superficiais de ^4He , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}N e ^{16}O . A partir de então, muitos outros estudos com

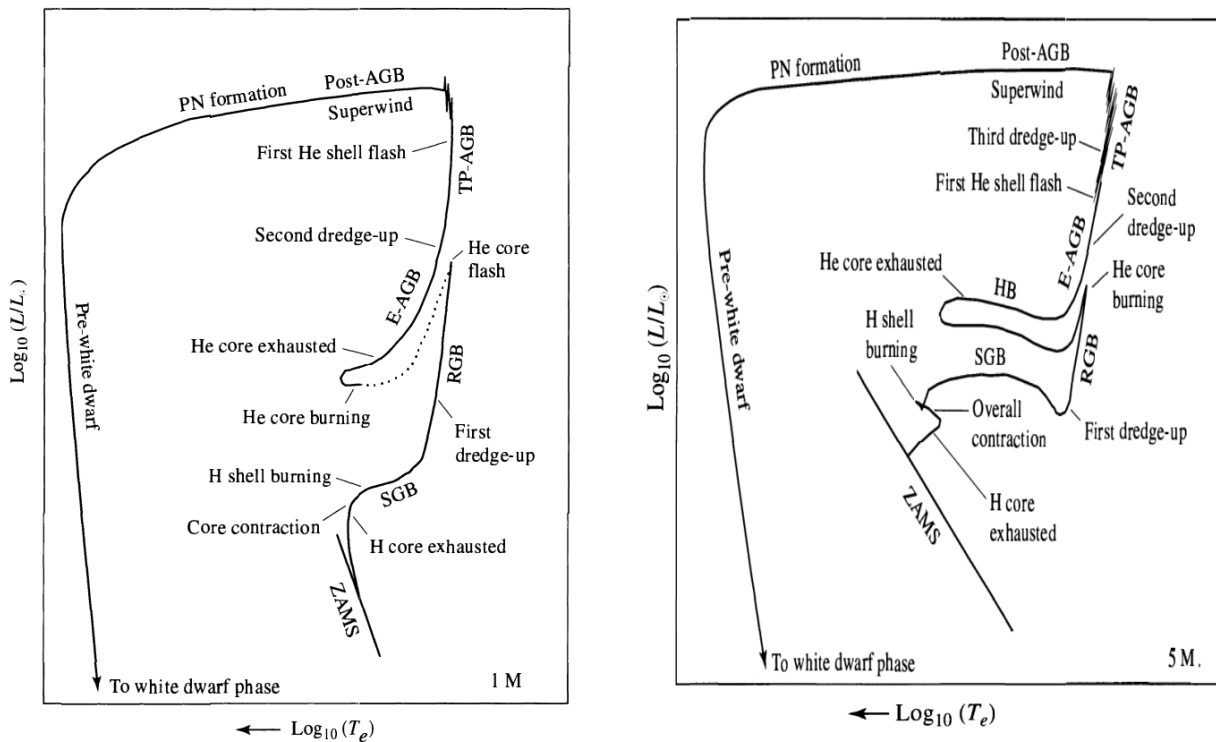


Figura 4.3: Diagramas HR de [Carroll e Ostlie \(2007\)](#) para $Z = 0.02$ com $M = 1 M_{\odot}$ (painel esquerdo) e $M = 5 M_{\odot}$ (painel direito).

yields de estrelas AGB foram completados; a Tabela 2 da revisão de [Karakas e Lattanzio \(2014\)](#), sobre nucleossíntese e *yields* de estrelas de baixa massa e massa intermediária, lista os trabalhos presentes na literatura que publicaram *yields* para variadas metalicidades e intervalos de massa até aquele momento, com destaque para [Cristallo et al. \(2011\)](#) ($10^{-4} < Z < 0.02$, $1.3\text{--}3.0 M_{\odot}$), [Karakas et al. \(2014\)](#) ($Z = 3 \times 10^{-4}$, $Z = 6 \times 10^{-4}$ e, $1.7 M_{\odot}$ e $2.36 M_{\odot}$) e [Straniero et al. \(2014\)](#) ($Z = 3 \times 10^{-4}$ e $[\alpha/\text{Fe}] = 0.5$, $4\text{--}6 M_{\odot}$), que calcularam *yields* que incluem elementos do processo-s.

Desde então, trabalhos mais recentes acrescentaram novos conjuntos de *yields* para discussão, que incluem: [Fishlock et al. \(2014\)](#) ($Z = 0.001$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$), [Cristallo et al. \(2015\)](#) ($2.4 \times 10^{-4} < Z < 0.02$, $4.0\text{--}6.0 M_{\odot}$), [Shingles et al. \(2015\)](#) ($Z = 0.0006$ e $M = 3, 4, 5$ e $6 M_{\odot}$), [Ritter et al. \(2018\)](#) ($10^{-4} < Z < 0.02$, $1.0\text{--}25.0 M_{\odot}$; com enriquecimento- α para $Z < 0.01$), [Karakas et al. \(2018\)](#) ($Z = 0.0028$, $1.0\text{--}7.0 M_{\odot}$) e [Battino et al. \(2019\)](#) ($Z = 0.01$, $Z = 0.02$, $Z = 0.03$ e, $2.0 M_{\odot}$ e $3.0 M_{\odot}$).

De todos os estudos mencionados anteriormente, a maioria mostra resultados calcula-

dos usando metalicidades escalonadas para o padrão solar. Somente o grupo responsável pela base de dados FRUITY¹ (p. ex., [Cristallo et al., 2011](#); [Straniero et al., 2014](#)) e o trabalho de [Ritter et al. \(2018\)](#) apresentam modelos de evolução estelar e *yields* que levam em consideração o enriquecimento- α para modelos com $Z \leq 0.0001$. Dessa forma, novos estudos de modelos de evolução estelar e nucleossíntese que considerem o enriquecimento- α são importantes para melhorarmos nossa compreensão sobre o assunto. Para isso, resolvemos estudar novos modelos de evolução estelar e nucleossíntese com escalonamento para o padrão solar como também com enriquecimento- α , comparando os resultados entre si.

Nesse capítulo, apresentamos os resultados coletados a partir do estudo da evolução de estrelas de baixa massa e massa intermediária desde a pré-sequência principal até os estágios finais da fase AGB e a contribuição para o enriquecimento químico da Galáxia. Os resultados foram obtidos através de modelos de evolução estelar e um código de pós-processamento para a nucleossíntese calculados para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, escalonado pelo padrão solar ou com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.3$, e também para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.3$.

Os resultados apresentados daqui em diante foram obtidos durante estágio de doutorado sanduíche na Monash University, sob a supervisão da Professora Amanda Karakas, e fazem parte de um novo artigo ([Carlos et al. 2020](#), em preparação).

4.1 Modelos de evolução estelar

Nessa seção, mostraremos os resultados obtidos através de modelos de evolução estelar extraídos da versão da Monash do código de estrutura estelar do Mount Stromlo ([Karakas e Lattanzio, 2007](#); [Karakas, 2014](#); [Karakas e Lugaro, 2016](#)).

O código de evolução estelar é baseado no método de matrizes de Henyey (detalhes podem ser encontrados em [Kippenhahn et al., 2012](#)), que resolve as equações de estrutura estelar por camadas de massa. A convecção é calculada a partir da teoria de comprimento de mistura com parâmetro $\alpha = 1.86$, considerando mistura instantânea ([Karakas, 2014](#)). As abundâncias de H, ^3He , ^4He , ^{12}C , ^{14}N e ^{16}O são incluídas no código, pois as reações nucleares que as envolvem são as mais energéticas e têm maior impacto na estrutura dos modelos estelares. A abundância inicial de ^3He é zero.

Escolhemos produzir modelos de evolução estelar para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonados para

¹ <http://fruity.oa-abruzzo.inaf.it/>.

o padrão solar ($Z = 0.00022$) e também com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.3$ ($Z = 0.00066$), e para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.3$ ($Z = 0.0034$). Essa escolha de metalicidades e enriquecimento- α é baseada em abundâncias típicas de estrelas do halo galáctico classificadas como “*low-alpha*” e “*high-alpha*” (p.e., [Nissen e Schuster, 2010](#); [Hayes et al., 2018](#)). A relação entre $[\text{Fe}/\text{H}]$ e Z é dada pela Equação 4.1.

$$Z = \begin{cases} Z_{\odot} 10^{[\text{Fe}/\text{H}]} & \text{se escalonado para o padrão solar} \\ Z_{\odot} 10^{[\text{Fe}/\text{H}]} + \sum_i Z_i & \text{se com enriquecimento-}\alpha, \end{cases} \quad (4.1)$$

onde $Z_{\odot} = 0.0134$ ([Asplund et al., 2009](#)) e Z_i é a fração de massa referente às abundâncias $[\text{X}/\text{H}]$ dos elementos citados na Tabela 4.1.

Para todos os casos adotamos $Y = 0.25$ pois a abundância inicial de He, aqui referida como Y , pode ser considerada uma função da abundância de He primordial (Y_P) e a taxa de produção de He ($\Delta Y/\Delta Z$) relativa à metalicidade Z , como mostrado na Equação 4.2:

$$Y = \frac{\Delta Y}{\Delta Z} Z + Y_P. \quad (4.2)$$

Se adotarmos $Y_P = 0.2485 \pm 0.0002$ de [Aver et al. \(2013\)](#) e $\Delta Y/\Delta Z = 1.41 \pm 0.62$ de [Balsler \(2006\)](#), estimado para a nossa Galáxia, teremos $Y = 0.2488$ para $Z = 0.00022$, $Y = 0.2494$ para $Z = 0.00066$ e $Y = 0.2533$ para $Z = 0.0034$, justificando a escolha de $Y = 0.25$ para os modelos de evolução estelar desse trabalho. Com os valores de Z e Y determinados para cada caso, adotamos, por definição, $X = 1 - Y - Z$.

As tabelas de opacidade para baixas temperaturas ($T \lesssim 10^4$ K) foram obtidas de [Marigo e Aringer \(2009\)](#), já as tabelas de opacidade OPAL ($5000 \leq T(\text{K}) \leq 500 \times 10^6$) são de [Iglesias e Rogers \(1996\)](#). Para o caso de metalicidade escalonada para o padrão solar, as tabelas foram obtidas baseadas na composição solar de [Lodders \(2003\)](#), e para os casos de $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ adotamos as abundâncias presentes na Tabela 4.1.

4.1.1 Taxa de perda de massa

A taxa de perda de massa (\dot{M}) é parte importante da evolução de estrelas nos seus estágios finais, no entanto, é uma das fontes de maiores incertezas nos modelos de evolução estelar ([Ventura et al., 2013](#)).

No presente estudo adotamos $\dot{M} = 0$ durante a fase RGB, da mesma forma que os

Tabela 4.1 - Abundâncias médias $[X/Fe]$ adotadas para estrelas do halo com $[\alpha/Fe] \approx 0.30$.

	$\langle [X/Fe] \rangle$	Referência
[C/Fe]	0.20	Hayes et al. (2018)
[N/Fe]	0.60	Hayes et al. (2018)
[O/Fe]	0.40	Hayes et al. (2018)
[Ne/Fe]	0.30	mesmo valor de [Mg/Fe]
[Na/Fe]	-0.25	Reggiani et al. (2017)
[Mg/Fe]	0.30	Reggiani et al. (2017)
[Al/Fe]	-0.13	Reggiani et al. (2017)
[Si/Fe]	0.15	Reggiani et al. (2017)
[S/Fe]	0.30	Reggiani et al. (2017)
[Ar/Fe]	0.35	mesmo valor de [Ca/Fe]
[K/Fe]	0.17	Hayes et al. (2018)
[Ca/Fe]	0.35	Reggiani et al. (2017)
[Sc/Fe]	0.25	Reggiani et al. (2017)
[Ti/Fe]	0.40	Reggiani et al. (2017)
[V/Fe]	0.25	Reggiani et al. (2017)
[Cr/Fe]	0.12	Reggiani et al. (2017)
[Mn/Fe]	-0.50	Reggiani et al. (2017)
[Ni/Fe]	0.00	Reggiani et al. (2017)
[Cu/Fe]	-0.50	Suda et al. (2011)
[Zn/Fe]	0.25	Reggiani et al. (2017)

trabalhos de Karakas (2014) e Karakas e Lugaro (2016). O trabalho de Miglio et al. (2012) com estrelas gigantes observadas pelo telescópio espacial KEPLER indica que a massa total perdida durante a fase RGB pode ser considerada baixa ($\Delta M = 0.09 \pm 0.03 \pm 0.04 M_{\odot}$). Para a fase AGB, adotamos as taxas de perda de massa de \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) e Bloeker (1995), com alguma sobreposição em diferentes intervalos de massa.

A taxa de perda de massa de Vassiliadis e Wood (1993), adotada aqui para estrelas com massa $M \leq 3.0 M_{\odot}$ para $[Fe/H] = -1.8$, e $M \leq 3.5 M_{\odot}$ para $[Fe/H] = -1.0$, é dada por:

$$\dot{M} = \begin{cases} \min\left[\frac{L}{L_{\text{cvexp}}}, 10^{-11.4+0.0125P}\right] & \text{se } M \leq 2.5M_{\odot} \\ \min\left[\frac{L}{L_{\text{cvexp}}}, 10^{-11.4+0.0125(P-100(M-2.5))}\right] & \text{se } M > 2.5M_{\odot}, \end{cases} \quad (4.3)$$

onde $\frac{L}{c v_{\text{exp}}}$ é o vento impulsionado pela pressão de radiação, L é a luminosidade da estrela, c é a velocidade da luz e $v_{\text{exp}} = 13.5 + 0.056P$ é a velocidade de expansão do vento estelar. O período de pulsação da estrela na fase AGB (P , em dias) é dado pela Equação 4.4:

$$\log P = -2.07 + 1.94 \frac{R}{R_{\odot}} - 0.9 \frac{M}{M_{\odot}}, \quad (4.4)$$

onde M representa a massa e R o raio da estrela em unidades solares. Já para as estrelas com massa $M \geq 2.75 M_{\odot}$ utilizamos a prescrição de [Bloeker \(1995\)](#), dada por:

$$\dot{M} = \begin{cases} 4 \times 10^{-3} \eta_R \frac{LR}{M} & \text{se } P < 100 \text{ dias} \\ 1.93 \times 10^{-11} M^{-2.1} L^{2.7} \eta_R \frac{LM}{R} & \text{se } P \geq 100 \text{ dias,} \end{cases} \quad (4.5)$$

onde L é a luminosidade, R é o raio e M é a massa (em unidades solares); adotamos a eficiência de perda de massa $\eta_R = 0.02$ (a mesma usada nos trabalhos de [Ventura et al., 2013](#); [Karakas et al., 2018](#)). Vale notar que a primeira parte da Equação 4.5 foi construída empiricamente por [Reimers \(1975\)](#) para estrelas na fase RGB. No caso da taxa de perda de massa dada por [Bloeker \(1995\)](#), o período de pulsação da estrela é dado pela Equação 4.6, extraída de [Ostlie e Cox \(1986\)](#).

$$\log P = -1.92 - 0.73 \log M + 1.86 \log R, \quad (4.6)$$

onde, novamente, R e M são o raio e massa estelares respectivamente, e estão em unidades solares; o período P é dado em dias.

Como explicado em [Karakas et al. \(2018\)](#), a razão pela qual utilizamos diferentes prescrições para \dot{M} dependendo da massa do modelo estelar é devida a observações publicadas em [Groenewegen et al. \(2009\)](#), que sugerem que a prescrição de [Vassiliadis e Wood \(1993\)](#) é uma boa aproximação para estrelas AGB ricas em C (menos massivas), mas não para estrelas que experienciam HBB (mais massivas). Assim, resolvemos aplicar aqui, também, a prescrição de \dot{M} de [Bloeker \(1995\)](#) para estrelas mais massivas que experienciam HBB.

Como mencionado, há um intervalo proposital de massas em que aplicamos ambas as prescrições para taxa de perda de massa; a comparação dos resultados será feita na seção seguinte.

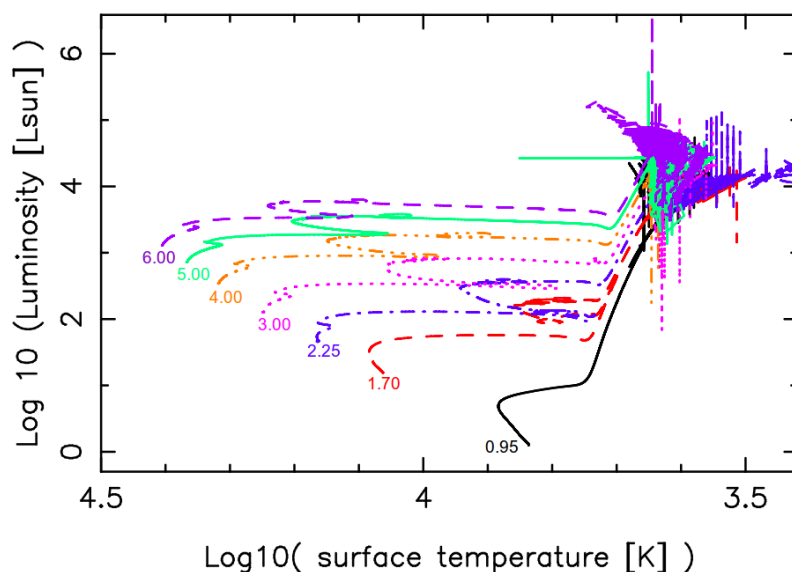


Figura 4.4: Trajetórias evolutivas para estrelas de $M = 0.95, 1.70, 2.25, 3.00, 4.00, 5.00$ e $6.00 M_{\odot}$, calculadas a partir do código de evolução estelar para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar.

4.1.2 Resultados

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam as trajetórias evolutivas para algumas massas representativas de modelos que vão desde a sequência principal até a fase tp-AGB para as três configurações de metalicidades escolhidas nesse estudo ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$). As massas máximas em que detectamos o “flash” do He no núcleo estelar (durante a fase RGB) são as seguintes: $M = 1.20 M_{\odot}$ para modelos de evolução com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $M = 1.30 M_{\odot}$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, e $M = 1.90 M_{\odot}$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$. Somente foi possível computar essa fase da evolução estelar relaxando as condições de convecção (há mistura somente depois que um modelo converge); também, o passo temporal é diminuído e fica da ordem de 10^{-4} anos durante esse processo (Karakas, 2003).

Como estamos interessados principalmente na nucleossíntese produzida por estrelas de baixa massa e massa intermediária durante a fase AGB, discutimos nessa seção alguns detalhes específicos da evolução da estrela durante a fase tp-AGB, calculados através do código de evolução estelar usado nesse estudo.

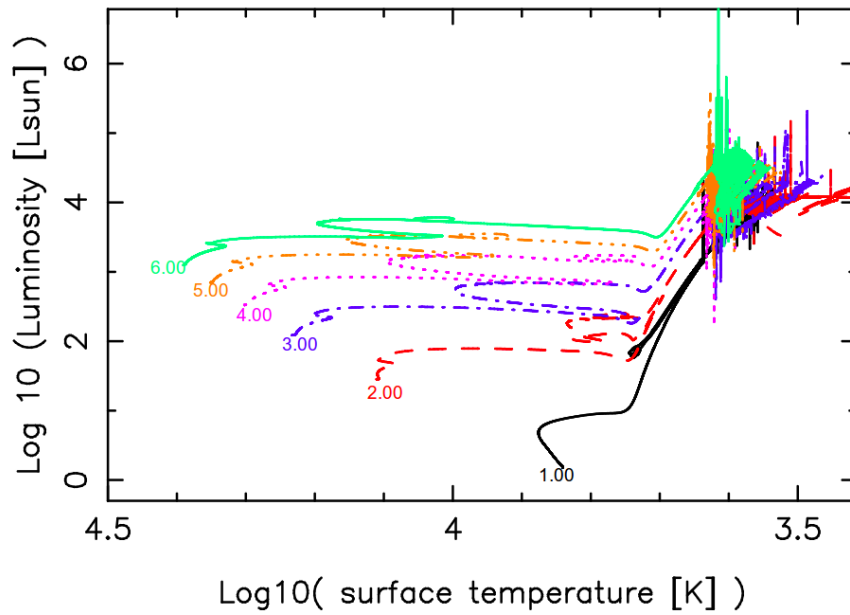


Figura 4.5: Trajetórias evolutivas para estrelas de $M = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0$ e $6.0 M_{\odot}$, calculadas a partir do código de evolução estelar para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$.

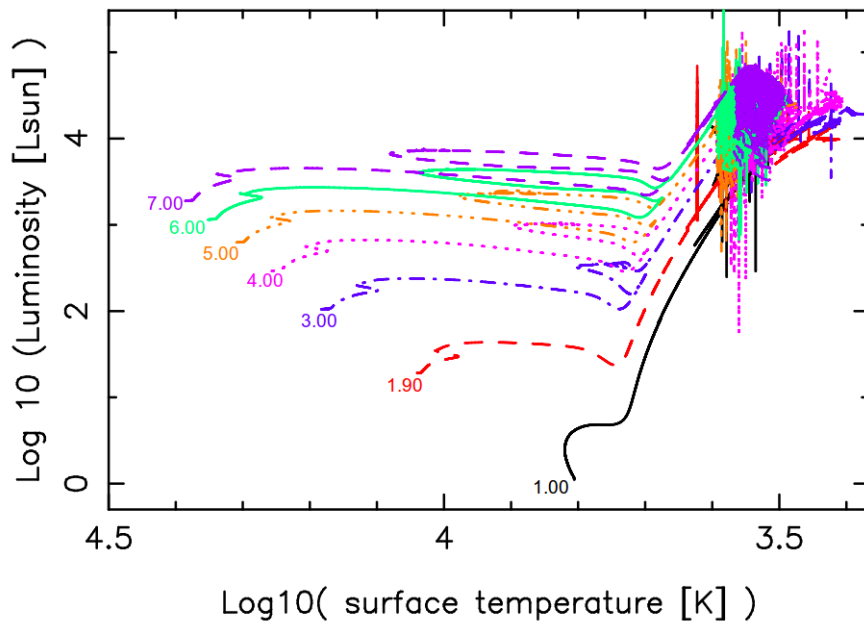


Figura 4.6: Trajetórias evolutivas para estrelas de $M = 1.0, 1.9, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0$ e $7.0 M_{\odot}$, calculadas a partir do código de evolução estelar para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$.

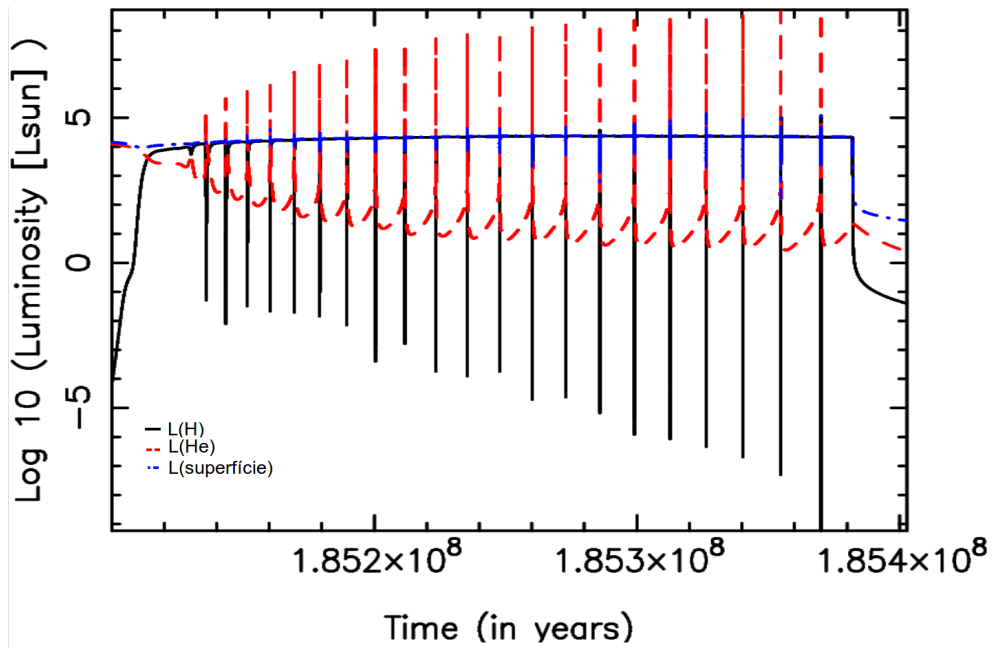


Figura 4.7: Luminosidade devido às queimas de H (linha sólida preta), He (linha tracejada vermelha) e luminosidade superficial (ponto e linha azuis) para uma estrela de $[Fe/H] = -1.8$, escalonado para o padrão solar, e $M = 3.5 M_{\odot}$ durante a fase tp-AGB.

A Figura 4.7 apresenta de forma demonstrativa como a luminosidade da estrela varia durante a fase tp-AGB, e que a maior parte do tempo a principal fonte de energia vem da queima da camada de H. Os picos de luminosidade devido à queima de He ocorrem durante os “*flashes*” de He e mostram os pulsos térmicos dessa estrela.

Discutimos a seguir a relação entre o período de interpulso (τ_{ip}) e a massa do núcleo estelar exaurido em H (daqui em diante referido como o núcleo estelar), mostrados nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10. Podemos notar que o período de interpulso diminui conforme a massa do núcleo aumenta.

A linha sólida presente nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 representa a relação entre período de interpulso (τ_{ip}) e massa do núcleo (M_c) encontrada pelo trabalho pioneiro de Paczynski (1975):

$$\log \tau_{ip} = 3.05 - 4.5(M_c - 1). \quad (4.7)$$

A relação entre período de interpulso e massa nuclear dada por Paczynski (1975) pode ser considerada como um limite inferior para os nossos resultados. Apesar de ambos

estudos apresentarem inclinações similares para essa relação, a diferença esperada entre esses resultados se dá pois consideramos Z distintos em relação ao trabalho de Paczynski (1975).

Já a expressão analítica de Wagenhuber e Groenewegen (1998) para a relação interpulso e massa nuclear é representada por linhas pontilhadas em preto nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 e é dada por:

$$\log \tau_{ip} = (-3.628 + 0.1337Z_i)(M_c - 1.9454) - \quad (4.8a)$$

$$10^{-2.080 - 0.353Z_i + 0.200(M_{\text{env}} + \alpha - 1.5)} - \quad (4.8b)$$

$$10^{-0.626 - 70.30(M_{c,0} - Z_i)\Delta M_c}, \quad (4.8c)$$

onde a metalicidade $Z_i = Z/0.02$, M_c é a massa do núcleo, M_{env} é a massa do envelope estelar, α é o parâmetro convectivo da teoria do comprimento de mistura, $M_{c,0}$ é a massa do núcleo no primeiro pulso térmico e $\Delta M_c = M_c - M_{c,0}$. A parte 4.8b da Equação 4.8 é uma correção para incluir HBB e a parte 4.8c refere-se a uma correção devido a fase de pulsos térmicos.

A comparação entre os resultados apresentados aqui com os cálculos de Wagenhuber e Groenewegen (1998) é mais detalhada e feita para cada modelo estelar (com massas iniciais específicas). Para os casos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ (Figuras 4.8 e 4.9), nossos dados comparam-se qualitativamente bem aos de Wagenhuber e Groenewegen (1998), com uma diferença maior entre os primeiros pulsos térmicos para os casos com massas iniciais menores. Já para o caso com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ (Figura 4.10), a diferença entre nossos dados e os de Wagenhuber e Groenewegen (1998) é maior para $M \lesssim 4.0M_\odot$.

Já na Figura 4.11 podemos observar a relação entre a massa do núcleo estelar e a massa inicial da estrela para toda a grade de modelos construída durante esse estudo. O ponto de inflexão em $M = 3.0M_\odot$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ (tanto escalonado pelo padrão solar quanto considerando enriquecimento- α), e em $M = 3.75M_\odot$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$, indica a fronteira entre estrelas que tenham massa o suficiente para o HBB e estrelas de baixa massa que não experienciam o HBB.

Outro resultado geral que podemos observar encontra-se na Figura 4.12; podemos notar que estrelas com massas em torno de $\sim 2M_\odot$ apresentam maior quantidade de massa dragada à superfície devido a terceira dragagem em comparação a estrelas mais massivas

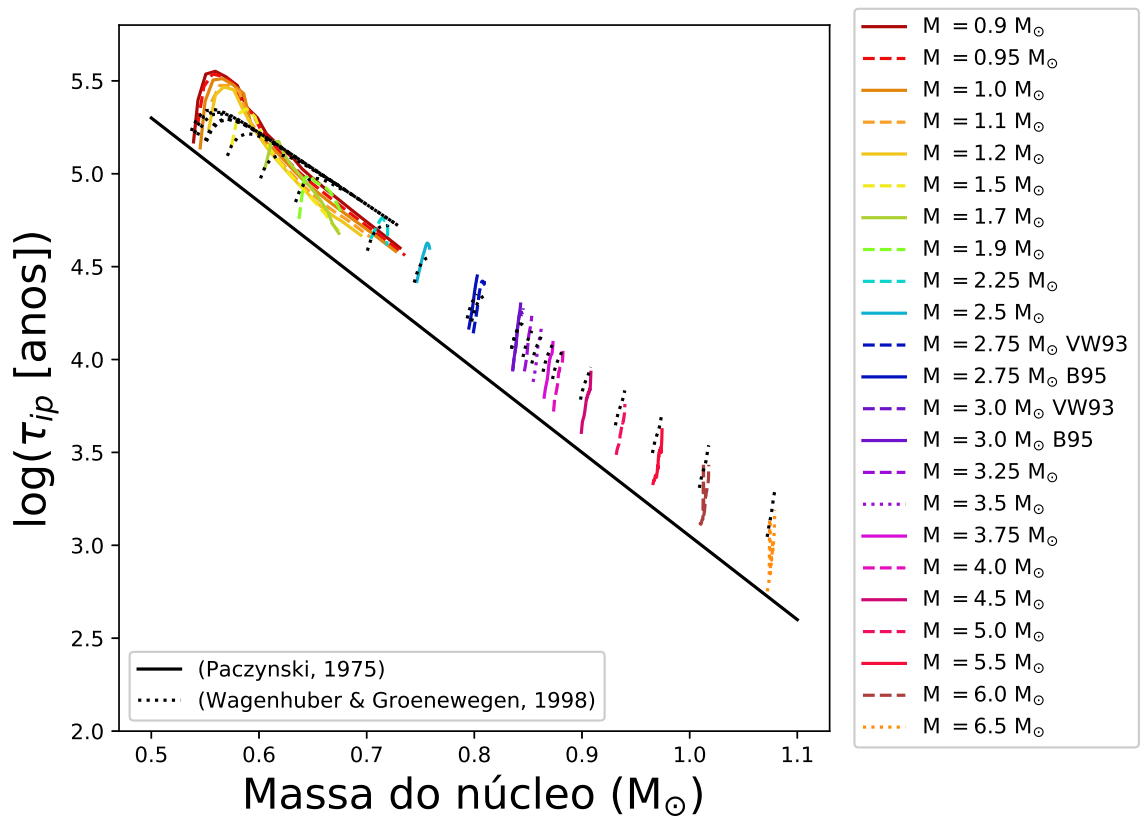


Figura 4.8: Período de interpulso em função da massa do núcleo para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$. As funções mostradas pelas linhas sólidas e pontilhadas pretas se encontram no corpo do texto.

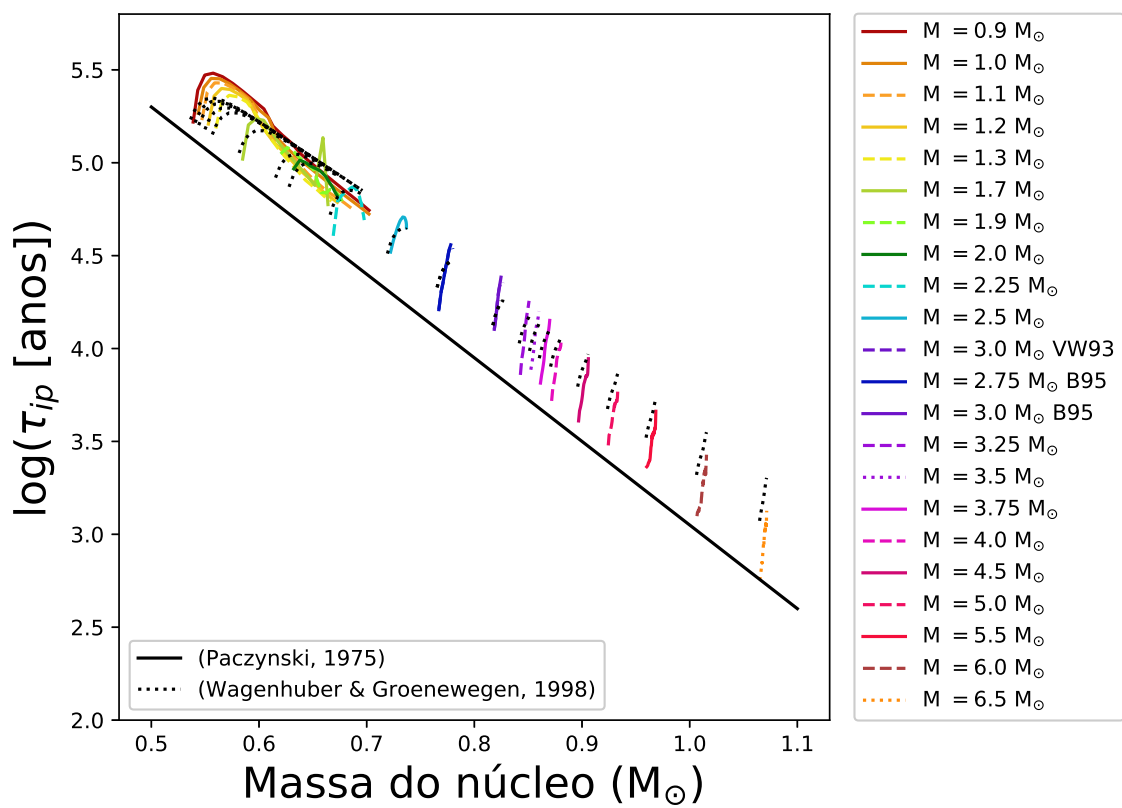


Figura 4.9: Período de interpulso em função da massa do núcleo para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$. As funções mostradas pelas linhas sólidas e pontilhadas pretas se encontram no corpo do texto.

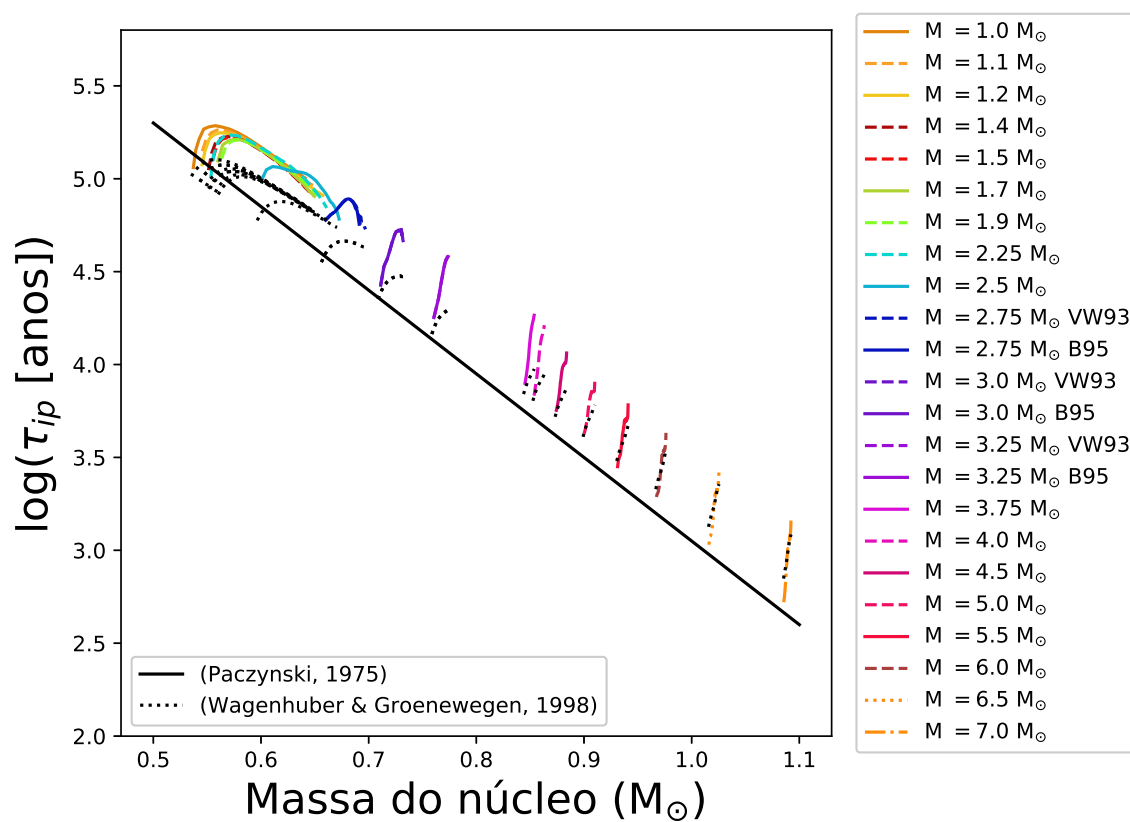


Figura 4.10: Período de interpulso em função da massa do núcleo para $[Fe/H] = -1.0$ com $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$. As funções mostradas pelas linhas sólidas e pontilhadas pretas se encontram no corpo do texto.

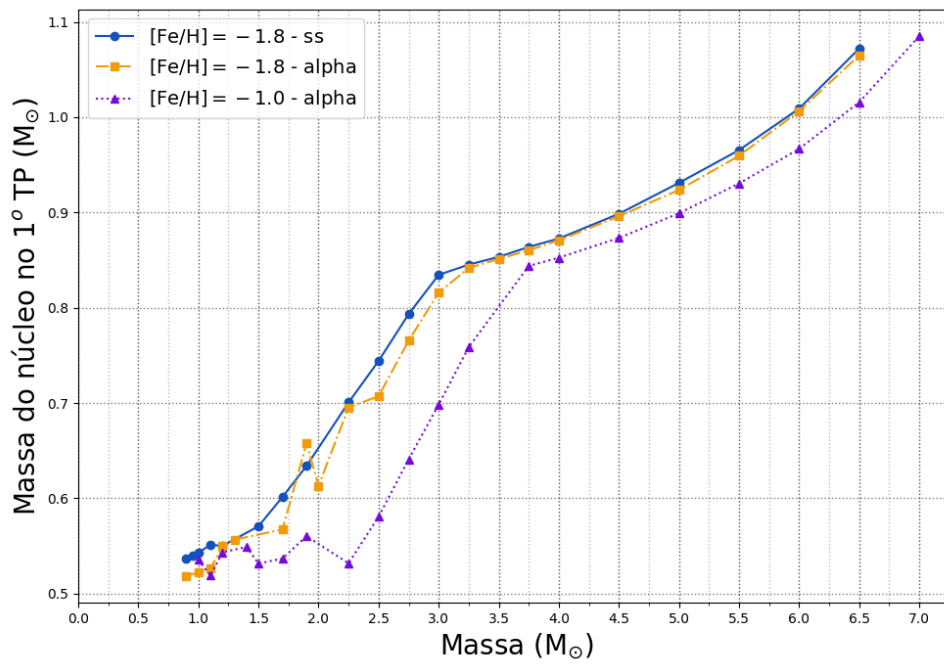


Figura 4.11: Massa do núcleo estelar depois do primeiro pulso térmico em função da massa inicial para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (ss), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (alpha) e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (alpha).

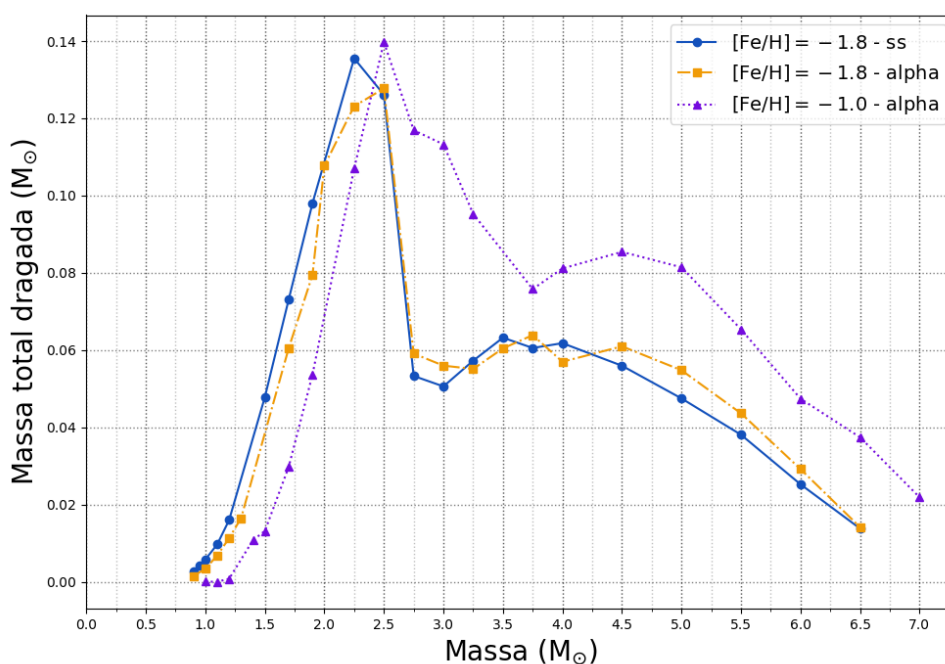


Figura 4.12: Massa total dragada na terceira dragagem em função da massa inicial para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$.

(que têm regiões entre as camadas de H e He mais finas comparadas à estrelas menos massivas). Notamos também que os modelos com $M \geq 2.5 M_{\odot}$ e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ têm melhor eficiência para transportar massa até a superfície do que os modelos de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, o que influenciará nas abundâncias superficiais e *yields* produzidos por essas estrelas. Para os modelos apresentados aqui podemos afirmar que a terceira dragagem ocorre para estrelas em todo intervalo de massa calculado para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, já para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ a terceira dragagem ocorre para estrelas com $M \gtrsim 1.2 M_{\odot}$.

A Figura 4.13 mostra o número de pulsos térmicos atingidos para uma dada massa e metalicidade; a adoção da taxa de perda de massa de Vassiliadis e Wood (1993) resulta em mais pulsos térmicos em comparação à escolha de Bloeker (1995) para uma determinada massa. Já a Figura 4.14 apresenta a comparação entre as diferentes prescrições de \dot{M} para modelos de mesma massa ($M = 3.0 M_{\odot}$) em todas as metalicidades estudadas. O painel esquerdo da Figura 4.14 mostra a evolução da massa do núcleo estelar em função do número de pulsos térmicos; quando usamos \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) a massa final do núcleo estelar é ligeiramente maior do que no caso em que usamos \dot{M} de Bloeker (1995); também

podemos notar que a massa nuclear final é dependente da metalicidade inicial da estrela. O painel direito da Figura 4.14 apresenta a eficiência da terceira dragagem (λ , Equação 4.9) em função do número de pulsos térmicos para as duas taxas de perda de massa adotadas, onde podemos notar que a adoção de diferentes prescrições para \dot{M} não parece afetar a eficiência da terceira dragagem. Se considerarmos que a eficiência da terceira dragagem é a mesma independentemente da taxa de perda de massa adotada, modelos com \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) terão mais massa dragada para a superfície em comparação à modelos com \dot{M} de Bloeker (1995), pois esse último apresenta menos pulsos térmicos que o primeiro caso, influenciando, assim, a abundância superficial final da estrela. A eficiência da terceira dragagem (λ) é dada por:

$$\lambda = \frac{\Delta M_{dredge}}{\Delta M_H}, \quad (4.9)$$

onde ΔM_H é massa do núcleo estelar (exaurido em H) e ΔM_{dredge} é a massa dragada para a superfície.

As Figuras 4.15, 4.16 e 4.17 apresentam a evolução da temperatura na base do envelope convectivo (T_{bce}) em função do pulso térmico para todos os modelos evolutivos calculados no presente trabalho; percebemos que a T_{bce} aumenta a cada pulso térmico até começar a baixar de forma acentuada com a diminuição do envelope convectivo devido à ventos estelares. A linha horizontal pontilhada nas Figuras 4.15, 4.16 e 4.17 indica a marca de $T_{bce} = 50 \times 10^6$ K, temperatura aproximada para a ativação do HBB e, portanto, a ativação do ciclo CNO na base do envelope convectivo (responsável pelo aumento de ^{14}N às custas de ^{12}C , por exemplo). Para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, podemos considerar que há temperatura suficiente para o HBB em estrelas de massa $M \gtrsim 3.0 M_\odot$ (\dot{M} de Vassiliadis e Wood, 1993) ou $M \gtrsim 3.25 M_\odot$ (com \dot{M} de Bloeker, 1995), já para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, há HBB para $M \gtrsim 3.5 M_\odot$. O resultado é esperado se considerarmos que a metalicidade global Z é maior para o caso em que consideramos enriquecimento- α . No caso de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, estimamos que há HBB para modelos com $M \gtrsim 4.0 M_\odot$. Os resultados acima são compatíveis com a discussão apresentada na Figura 4.11. Ademais, modelos com \dot{M} de Bloeker (1995) perdem massa do envelope mais rápido do que modelos que empregam \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993), e por isso apresentam T_{bce} menores quando comparamos modelos com massas iniciais iguais e diferentes taxas de perda de massa (Karakas et al., 2018).

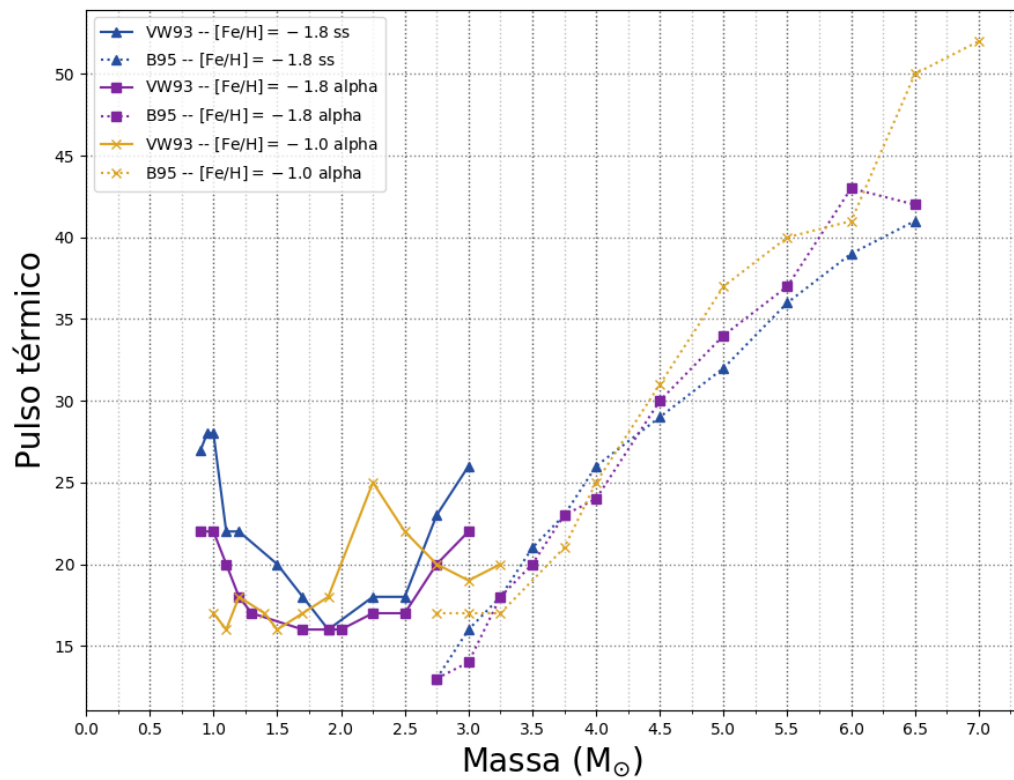


Figura 4.13: Número máximo de pulsos térmicos em função da massa inicial para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (triângulos azuis), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (quadrados roxos) e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (símbolos x em laranja). As linhas sólidas mostram modelos com \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) (VW93) e linhas pontilhadas apresentam modelos com \dot{M} de Bloeker (1995) (B95).

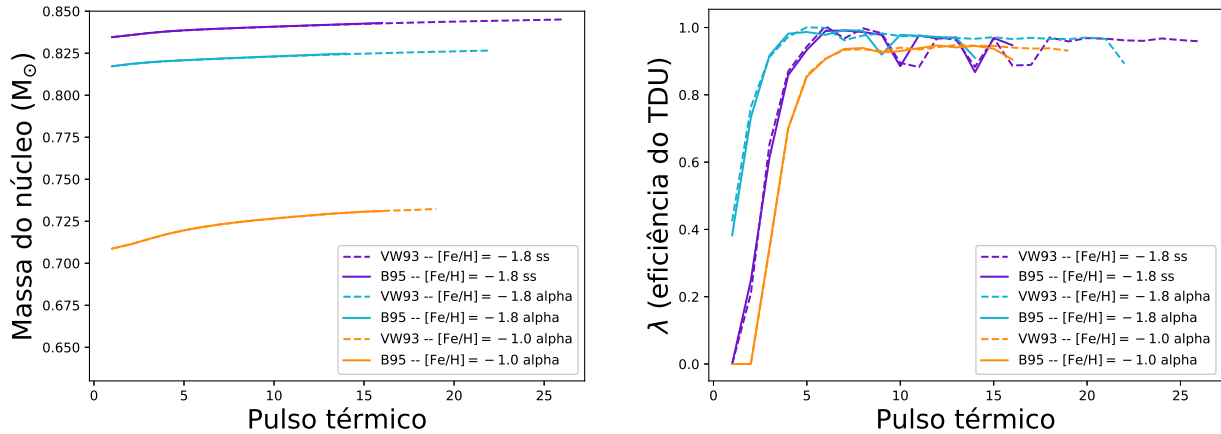


Figura 4.14: Massa do núcleo em função do pulso térmico (painel esquerdo) e da eficiência da terceira dragagem (painel direito) para $M = 3.0 M_{\odot}$ e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (linhas roxas), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (linhas azuis) e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (linhas laranjas). As linhas tracejadas mostram modelos com \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) e linhas sólidas apresentam modelos com \dot{M} de Bloeker (1995).

As Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 exibem a temperatura na camada de He (T_{He}) em função do pulso térmico. A linha horizontal pontilhada em $T_{\text{He}} = 300 \times 10^6$ K indica quais modelos atingem temperatura suficiente para a ignição da reação $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$, indicando a possibilidade de qual regime de produção de nêutrons ocorrerá. Para o caso de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, estrelas com $M \leq 1.9 M_{\odot}$ não atingem temperatura o suficiente para a reação $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$, então a única fonte de nêutrons para o processo-s vêm da reação $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$; já para $M > 1.9 M_{\odot}$, pelo menos depois de alguns pulsos térmicos iniciais, a T_{He} é alta o suficiente para que uma das fontes de nêutrons seja $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$. No caso de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, a partir de $M > 2.0 M_{\odot}$ poderá ocorrer a reação $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$; enquanto no caso de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, essa reação só acontece em $M > 2.5 M_{\odot}$. A mudança entre esses dois regimes tem consequências nas abundâncias finais e yields produzidos por nossos modelos (mais detalhes são discutidos na Seção 4.2).

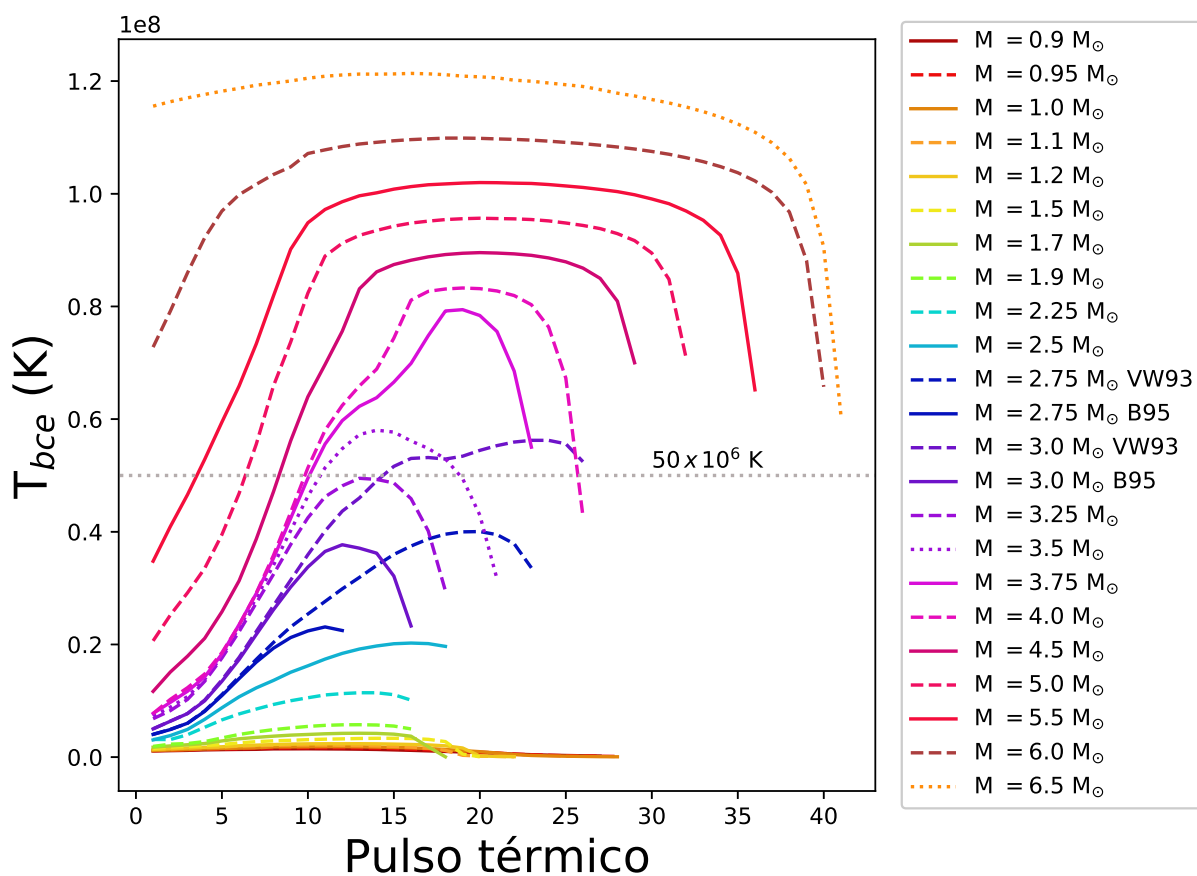


Figura 4.15: Temperatura na base do envelope convectivo em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$. A linha pontilhada horizontal indica $T = 50 \times 10^6$ K.

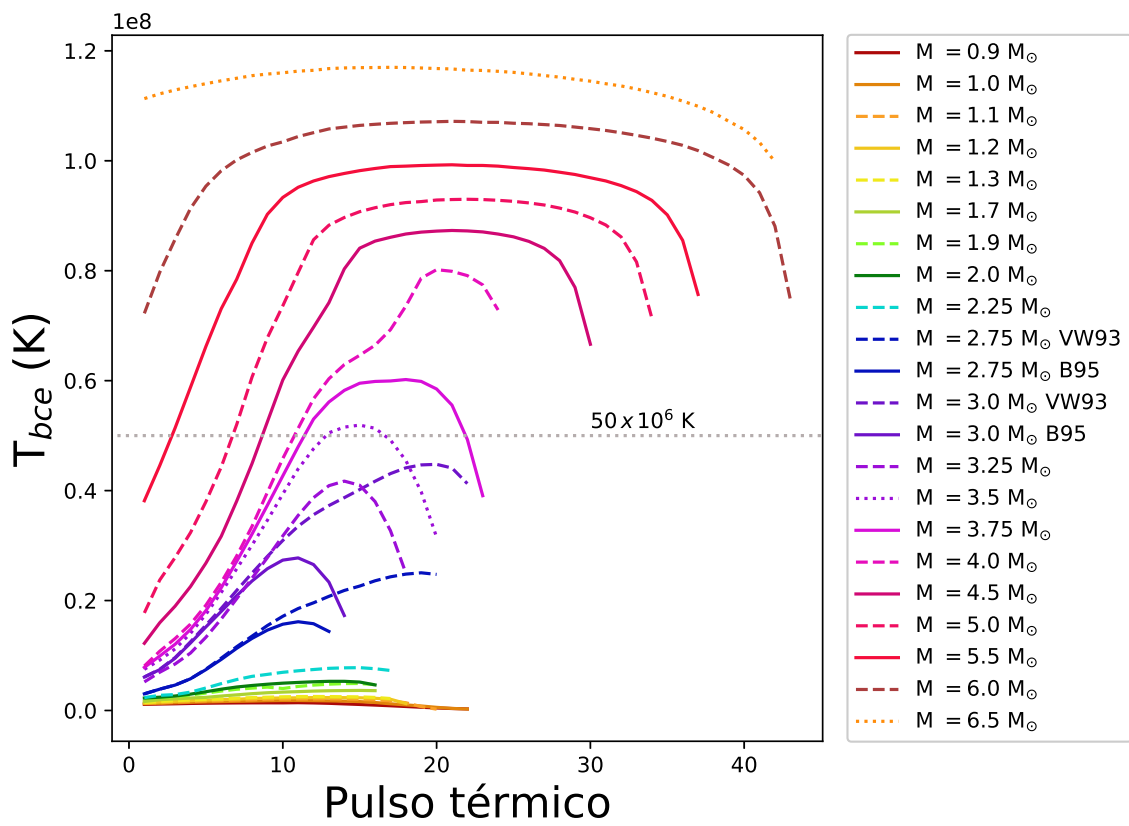


Figura 4.16: Temperatura na base do envelope convectivo em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$. A linha pontilhada horizontal indica $T = 50 \times 10^6$ K.

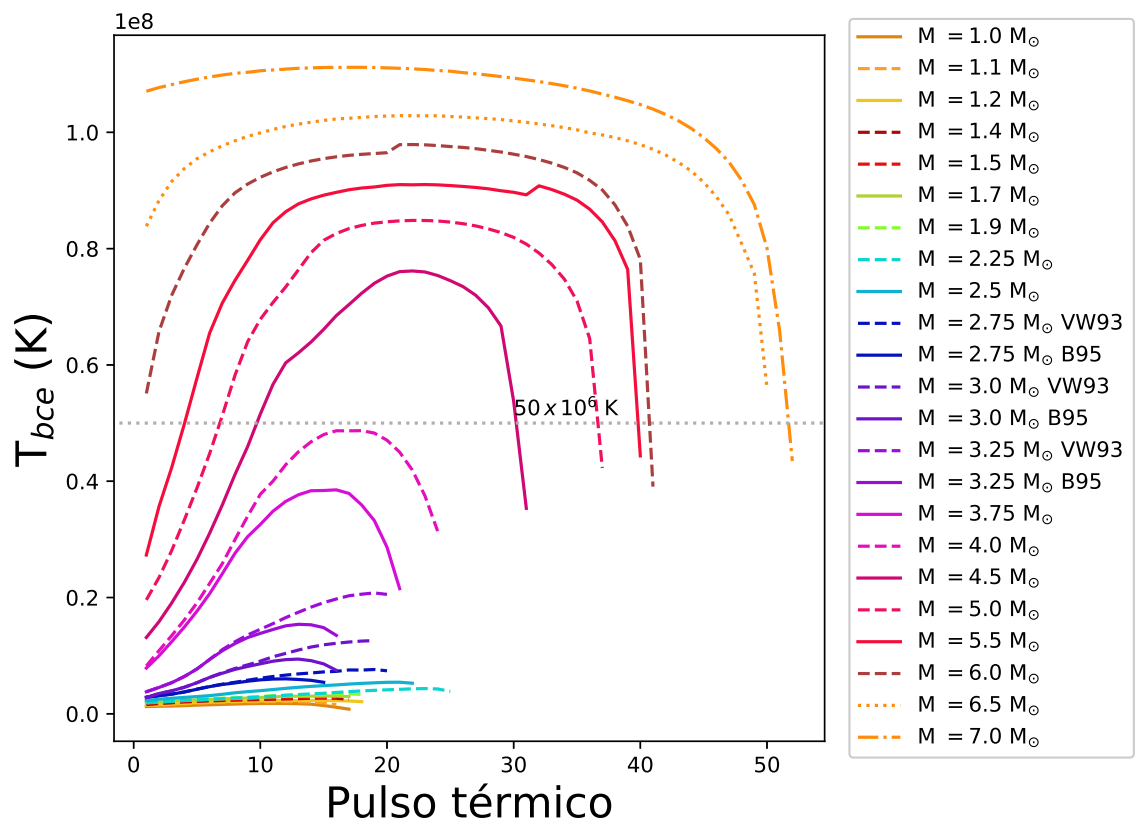


Figura 4.17: Temperatura na base do envelope convectivo em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$. A linha pontilhada horizontal indica $T = 50 \times 10^6$ K.

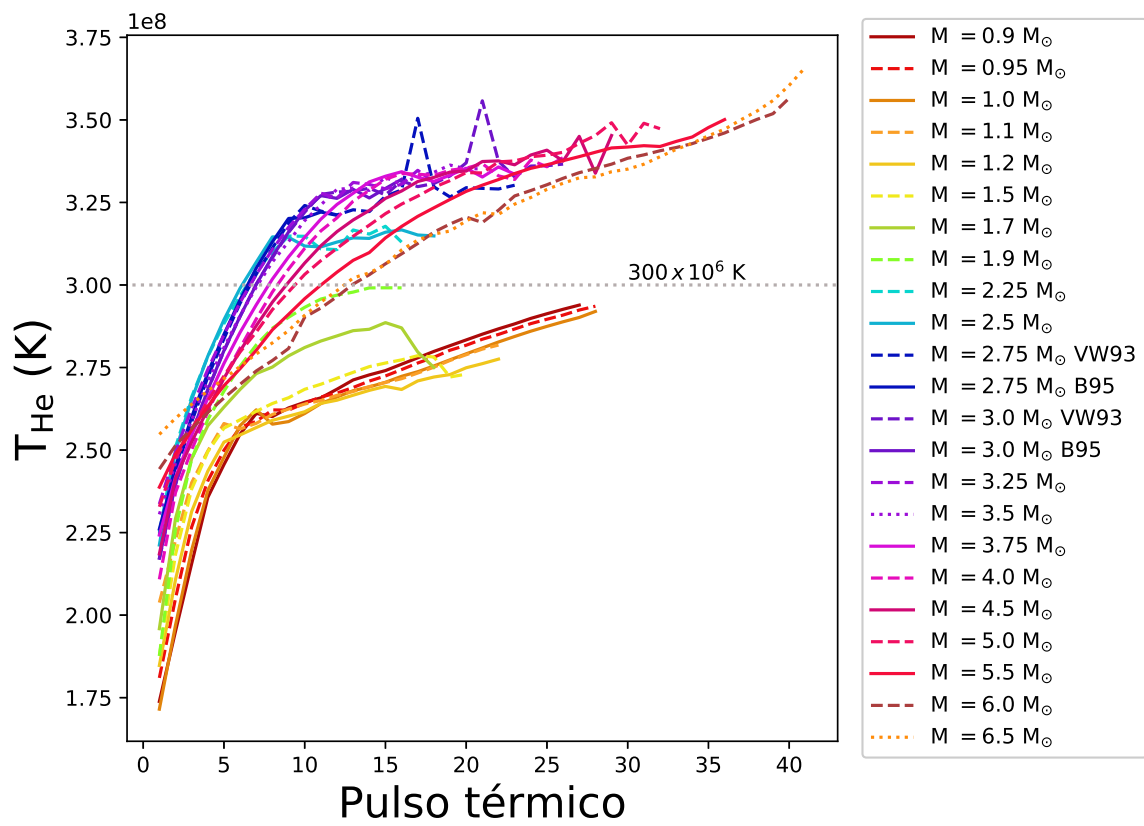


Figura 4.18: Temperatura na camada de He em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$. A linha pontilhada horizontal indica $T = 300 \times 10^6$ K.

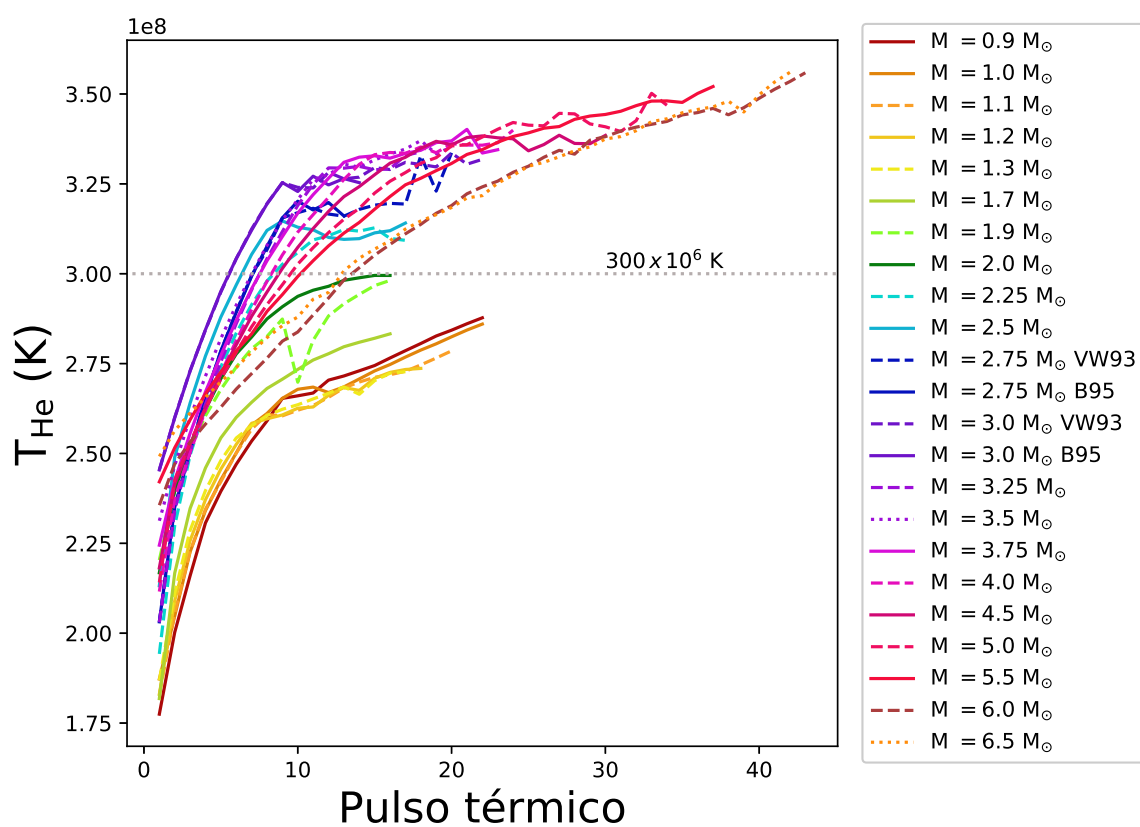


Figura 4.19: Temperatura na camada de He em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$. A linha pontilhada horizontal indica $T = 300 \times 10^6$ K.

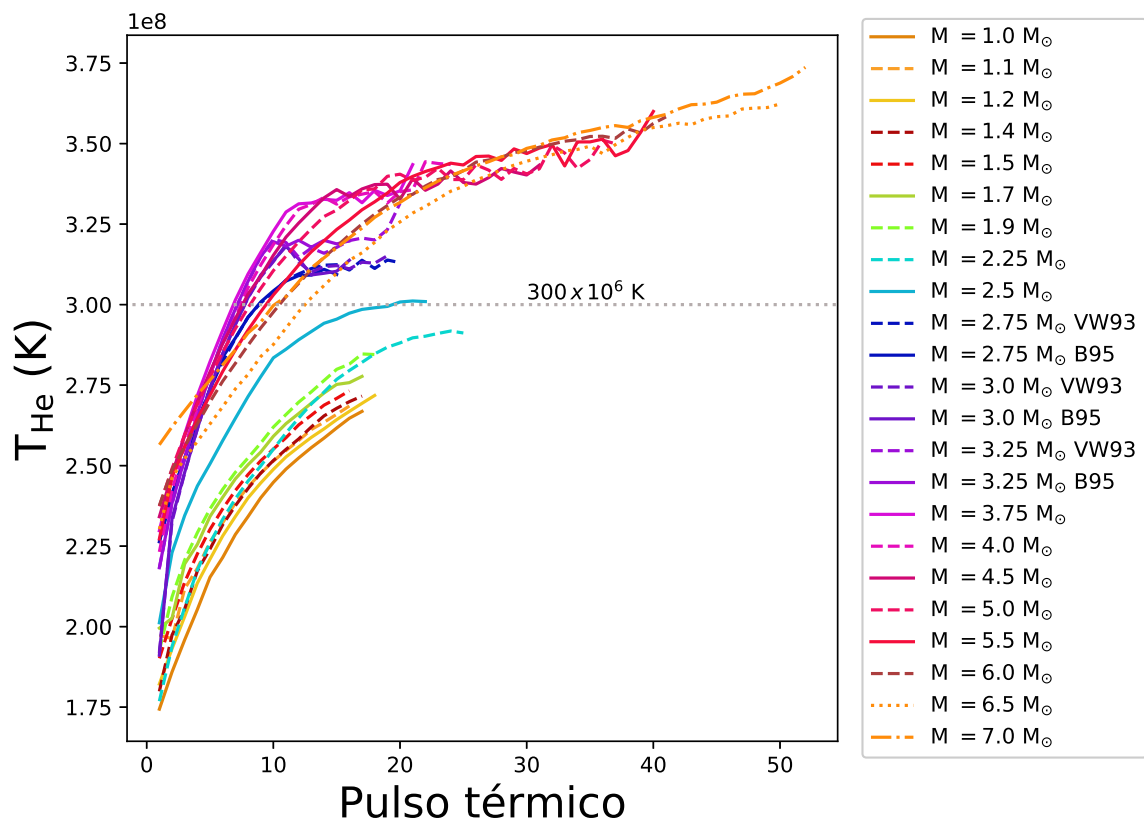


Figura 4.20: Temperatura na camada de He em função do pulso térmico para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$. A linha pontilhada horizontal indica $T = 300 \times 10^6$ K.

4.2 Nucleossíntese

Nessa seção, discutimos os resultados obtidos para nucleossíntese estelar calculados a partir de um código de pós processamento que utiliza os dados de saída do código de evolução estelar discutido na Seção 4.1. O código de pós processamento usado aqui é baseado no trabalho de Cannon (1993), com mudanças feitas para adaptar o cálculo de nucleossíntese usado nos trabalhos de Lugaro et al. (2004), Karakas e Lattanzio (2007), Lugaro et al. (2012), Karakas e Lugaro (2016), entre outros.

Informações sobre temperatura, densidade, extensão das zonas de convecção (assim como velocidade de mistura) para cada camada de massa são levadas em consideração no cálculo da rede nuclear que vai do H ao Bi, incluindo 328 espécies e 2351 reações. Usamos a mesma configuração descrita em Karakas e Lugaro (2016), com taxas de reações nucleares da base de dados do JINA reaclib² de maio de 2012, exceto para a seção de choque do Zr, que vem do estudo de Lugaro et al. (2014). Para o caso de metalicidade escalonada para o padrão solar, usamos como referência as abundâncias solares de Asplund et al. (2009); já para os cenários com enriquecimento- α utilizamos como abundâncias iniciais os valores apresentados na Tabela 4.1, onde os demais elementos não citados na Tabela 4.1 foram escalonados para o padrão solar.

Um dos principais produtos da evolução de estrelas durante a fase AGB é a produção de elementos do processo-s. No entanto, a fonte de nêutrons dentro dessas estrelas ainda é uma das principais incertezas em modelos de nucleossíntese do processo-s (Lugaro et al., 2012). Na casca entre as camadas de queima de H e de He é onde o processo-s ocorrerá, pois a grande quantidade de He facilita que as reações do tipo (α, n) ocorram; as principais fontes de nêutrons vêm das reações $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ (ativada a $T \sim 90 \times 10^6$ K) e $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ (ativada a $T \sim 300 \times 10^6$ K).

O isótopo ^{22}Ne é produzido durante um pulso térmico a partir da captura de partículas α pelo isótopo ^{14}N , produzido durante um interpulso ($^{14}\text{N}(\alpha, \gamma)^{18}\text{F}(\beta^+\nu)^{18}\text{O}(\alpha, \gamma)^{22}\text{Ne}$), onde o fluxo de nêutrons resultante apresenta densidades que podem chegar a $\sim 10^{12}$ n.cm⁻³ com escala de tempo de poucos anos (Gallino et al., 1998).

Já o isótopo ^{13}C , responsável pelo processo-s a baixas temperaturas e, portanto, a principal fonte de nêutrons para estrelas de baixa massa, não é produzido em quantidade

² <https://reaclib.jinaweb.org/>

suficiente pela camada de queima de H. Como observações mostram a existência de estrelas AGB de baixa massa enriquecidas em elementos do processo-s, é preciso incluir a fonte de nêutrons por ^{13}C artificialmente (Lugaro et al., 2012, e referências citadas nesse trabalho). Se introduzirmos a ocorrência de mistura extra de prótons depois da terceira dragagem, entre o envelope convectivo e a casca de He localizada entre as camadas de queima de H e de He, estes serão capturados por ^{12}C , produzindo uma camada rica em ^{13}C e ^{14}N . Essa camada rica em ^{13}C será referida aqui como pacote de ^{13}C (Hollowell e Iben, 1988). O ^{13}C é queimado durante o interpulso através da reação $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$, produzindo um fluxo de nêutrons com densidades que podem chegar a $\sim 10^7 \text{ n.cm}^{-3}$ durante aproximadamente dezenas de milhares de anos (Gallino et al., 1998).

A formação do pacote de ^{13}C é inibida por captura de prótons presentes na base do envelope convectivo durante a terceira dragagem para estrelas AGB com HBB, onde há produção de ^{14}N ao invés de ^{13}C (Goriely e Siess, 2004); o excesso de ^{14}N causa a reação $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$, que consome os nêutrons que seriam utilizados no processo-s. Por esse motivo, podemos afirmar que há dois regimes diferentes para a produção de elementos do processo-s, o primeiro dominado pela fonte $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ que ocorrerá em estrelas AGB de baixa massa, e o segundo dominado pela fonte $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ que ocorrerá em estrelas AGB de massa intermediária que experienciem o HBB. Usamos o critério discutido em Goriely e Siess (2004) para a definição do valor de massa a partir do qual consideramos que a estrela apresenta HBB e, portanto, não possui pacote de ^{13}C .

Assim, para as estrelas que não apresentaram HBB em nossos modelos, acrescentamos artificialmente pacotes de ^{13}C , forçando o código de pós processamento a misturar uma quantidade pequena de prótons do envelope estelar à casca de He entre as camadas de queima de H e de He, na parte mais profunda de cada terceira dragagem (Lugaro et al., 2004, 2012). Essa zona de mistura parcial artificial inserida no código de pós processamento (M_{mix}) tem valor aproximadamente entre 1/10 e 1/20 do tamanho da casca rica em He entre as camadas de queima de H e de He (Lugaro et al., 2012). Os tamanhos adotados para M_{mix} estão presentes nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4.

Vale notar, da Tabela 4.4, que para os modelos de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ com $M = 1.0 M_{\odot}$ e $M = 1.1 M_{\odot}$ adotamos $M_{\text{mix}} = 0$, pois não houve nenhum episódio de terceira dragagem.

Tabela 4.2 - Valor adotado de M_{mix} para os modelos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar.

Massa (M_{\odot})	M_{mix}/M_{\odot}	Taxa de perda de massa
0.90	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
0.95	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.00	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.10	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.20	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.50	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.70	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.90	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.25	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.50	$(1 \times 10^{-3})^*$, 2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.75	$(1 \times 10^{-3})^*$, 5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.75	1×10^{-3}	Bloecker (1995)
3.00	5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
3.00	$(5 \times 10^{-4})^*$, 1×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.25	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.50	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.75	$(0)^*$, 1×10^{-4}	Bloecker (1995)
4.00	0	Bloecker (1995)
4.50	0	Bloecker (1995)
5.00	0	Bloecker (1995)
5.50	0	Bloecker (1995)
6.00	0	Bloecker (1995)
6.50	0	Bloecker (1995)

Notas. *Valor padrão adotado para M_{mix} .

Tabela 4.3 - Valor adotado de M_{mix} para os modelos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$.

Massa (M_{\odot})	M_{mix}/M_{\odot}	Taxa de perda de massa
0.90	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.00	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.10	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.20	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.30	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.70	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.90	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.00	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.25	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.50	$(1 \times 10^{-3})^*$, 2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.75	$(1 \times 10^{-3})^*$, 5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.75	1×10^{-3}	Bloecker (1995)
3.00	5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
3.00	$(5 \times 10^{-4})^*$, 1×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.25	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.50	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.75	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
4.00	$(0)^*$, 1×10^{-4}	Bloecker (1995)
4.50	0	Bloecker (1995)
5.00	0	Bloecker (1995)
5.50	0	Bloecker (1995)
6.00	0	Bloecker (1995)
6.50	0	Bloecker (1995)

Notas. *Valor padrão adotado para M_{mix} .

Tabela 4.4 - Valor adotado de M_{mix} para os modelos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$.

Massa (M_{\odot})	M_{mix}/M_{\odot}	Taxa de perda de massa
1.00	0	Vassiliadis e Wood (1993)
1.10	0	Vassiliadis e Wood (1993)
1.20	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.40	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.50	2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.70	$(1 \times 10^{-3})^*$, 2×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
1.90	1×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.25	1×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.50	1×10^{-3}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.75	5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
2.75	$(5 \times 10^{-4})^*$, 1×10^{-3}	Bloecker (1995)
3.00	5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
3.00	5×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.25	5×10^{-4}	Vassiliadis e Wood (1993)
3.25	5×10^{-4}	Bloecker (1995)
3.75	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
4.00	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
4.50	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
5.00	1×10^{-4}	Bloecker (1995)
5.50	$(0)^*$, 1×10^{-4}	Bloecker (1995)
6.00	0	Bloecker (1995)
6.50	0	Bloecker (1995)
7.00	0	Bloecker (1995)

Notas. *Valor padrão adotado para M_{mix} .

4.2.1 Abundâncias superficiais

A Figura 4.21 apresenta a razão C/O em função de cada pulso térmico para algumas massas estelares iniciais selecionadas nos cenários de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$. Para modelos de estrelas de baixa massa onde há terceira dragagem (a terceira dragagem não ocorre para estrelas com $M < 1.2 M_{\odot}$ nos modelos de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$), a razão C/O excede a unidade depois de alguns pulsos térmicos, como esperado. Já para estrelas de massa intermediária que experienciam o HBB, a razão C/O fica abaixo da unidade durante quase toda a fase tp-AGB (devido à produção de N às custas de C a altas temperaturas); somente durante os pulsos térmicos finais onde a perda de massa é considerável, diminuindo a temperatura na base do envelope convectivo e acabando com o HBB, é que a razão C/O aumenta.

A Figura 4.22 mostra a evolução da abundância superficial de uma estrela de $M = 3.0 M_{\odot}$ com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, desde o C ao Bi. A cada pulso térmico a composição química da superfície estelar é incrementada devido aos vários episódios de terceira dragagem, que levam os produtos da nucleossíntese ocorrida no interior estelar. O comportamento da evolução de $[\text{X}/\text{Fe}]$ a cada pulso térmico mostrado na Figura 4.22 é similar para todas as metalicidades analisadas aqui; pequenas diferenças no padrão de abundâncias superficiais finais surgirão para modelos de massas distintas, no entanto, todos apresentam esse crescimento contínuo para $[\text{X}/\text{Fe}]$ a cada pulso térmico.

Nas Figuras 4.23 e 4.24 apresentamos a comparação de abundâncias superficiais finais para modelos de evolução estelar com $M = 3.00 M_{\odot}$, considerando as duas diferentes prescrições para a taxa de perda de massa adotadas aqui. A Figura 4.23 mostra o comportamento para os elementos mais leves, onde podemos observar que a maior diferença entre $[\text{X}/\text{Fe}]$ devido às diferentes taxas de perda de massa adotadas se dá para os casos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, tanto para o escalonado para o padrão solar quanto o com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, enquanto a razão $[\text{X}/\text{Fe}]$ alcançada usando \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) é similar ao valor obtido quando usamos \dot{M} de Bloeker (1995), para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$. Uma possível explicação para isso vem do fato que os modelos de $M = 3.0 M_{\odot}$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ com \dot{M} de Vassiliadis e Wood (1993) atingem temperaturas na base do envelope convectivo suficientes para a ativação do HBB de forma moderada, enquanto

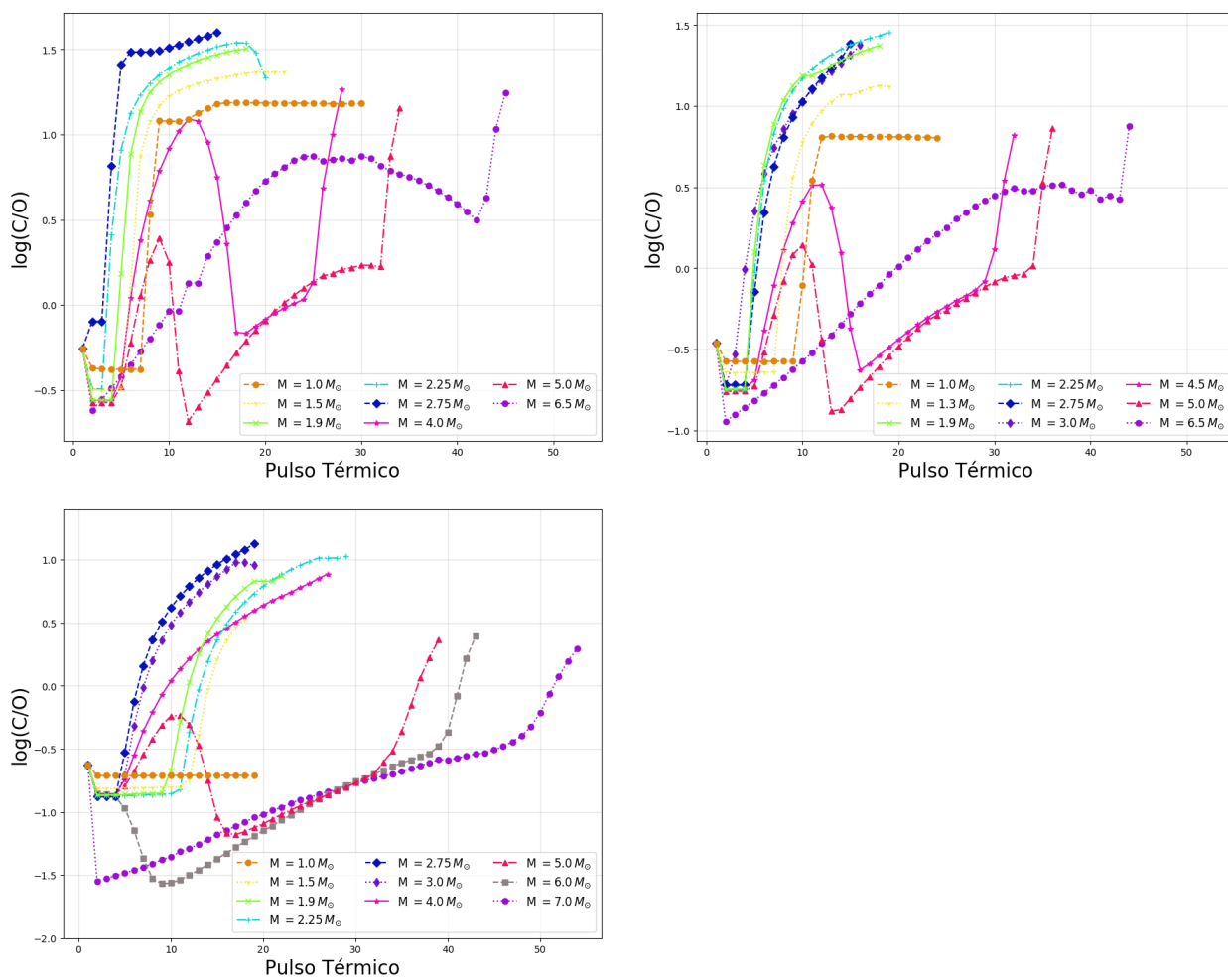


Figura 4.21: Razão C/O em função do pulso térmico para modelos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (painel superior esquerdo), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (painel superior direito), e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (painel inferior esquerdo).

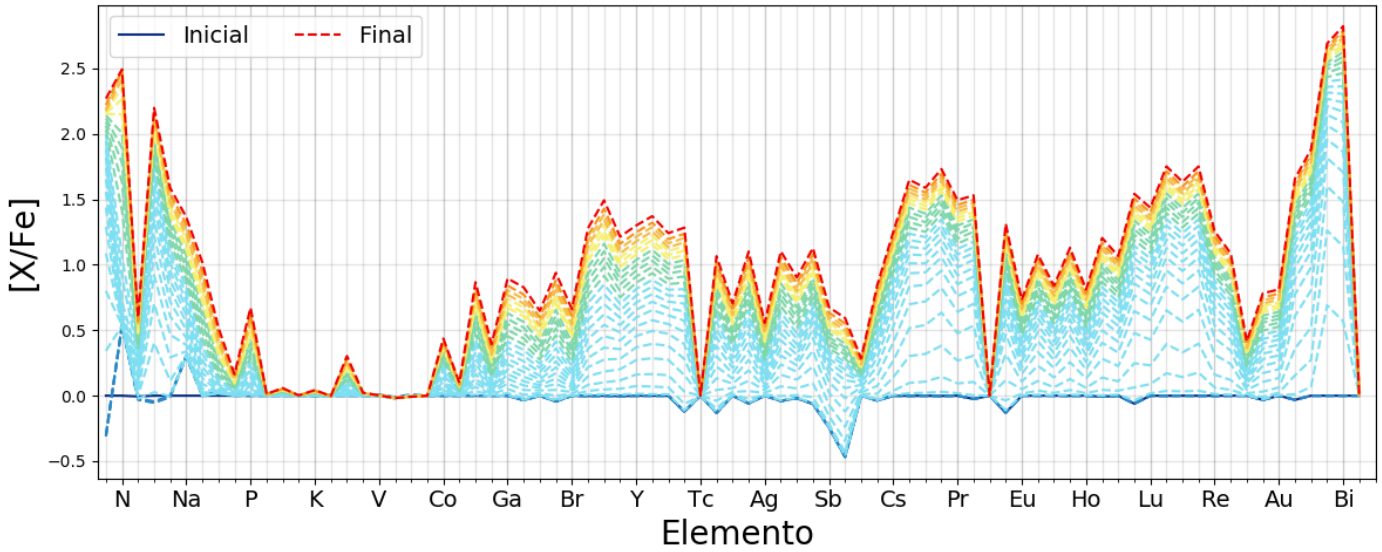


Figura 4.22: Abundâncias superficiais para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar a cada pulso térmico para um modelo de $M = 3.0 M_{\odot}$.

modelos de mesma massa mas com \dot{M} de [Bloeker \(1995\)](#) não atingem tais temperaturas; conseqüentemente, a diferença de $[\text{X}/\text{Fe}]$ para os casos com taxas de perda de massa distintas vem da produção de elementos leves ocorrida durante esse HBB moderado para o caso com \dot{M} de [Vassiliadis e Wood \(1993\)](#). Já a Figura 4.24 exhibe a comparação de $[\text{X}/\text{Fe}]$ para as \dot{M} distintas adotadas para os elementos mais pesados, do Ni ao Bi, onde podemos notar que as abundâncias superficiais finais obtidas são maiores para \dot{M} de [Vassiliadis e Wood \(1993\)](#); isso acontece pois quando usamos \dot{M} de [Vassiliadis e Wood \(1993\)](#) observamos mais pulsos térmicos em comparação com resultados usando \dot{M} de [Bloeker \(1995\)](#) para uma dada massa. A variação de $[\text{X}/\text{Fe}]$ é maior para os casos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, pois estes apresentam maior diferença no número de pulsos térmicos entre os cenários de distintos \dot{M} do que os modelos de maior metalicidade ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$).

A Figura 4.25 ilustra a diferença de abundâncias superficiais finais entre os casos com pacote de ^{13}C e sem pacote de ^{13}C . Como o modelo de $M = 3.75 M_{\odot}$ ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar) está na fronteira entre estrelas onde não há HBB e estrelas onde ocorrem HBB, de acordo com o critério de [Goriely e Siess \(2004\)](#), resolvemos testar a nucleossíntese com $M_{\text{mix}} = 1 \times 10^{-4}$ e $M_{\text{mix}} = 0$. Não há diferença de $[\text{X}/\text{Fe}]$ para os elementos leves, no entanto, para os elementos produzidos pelo processo-s, a distinção de

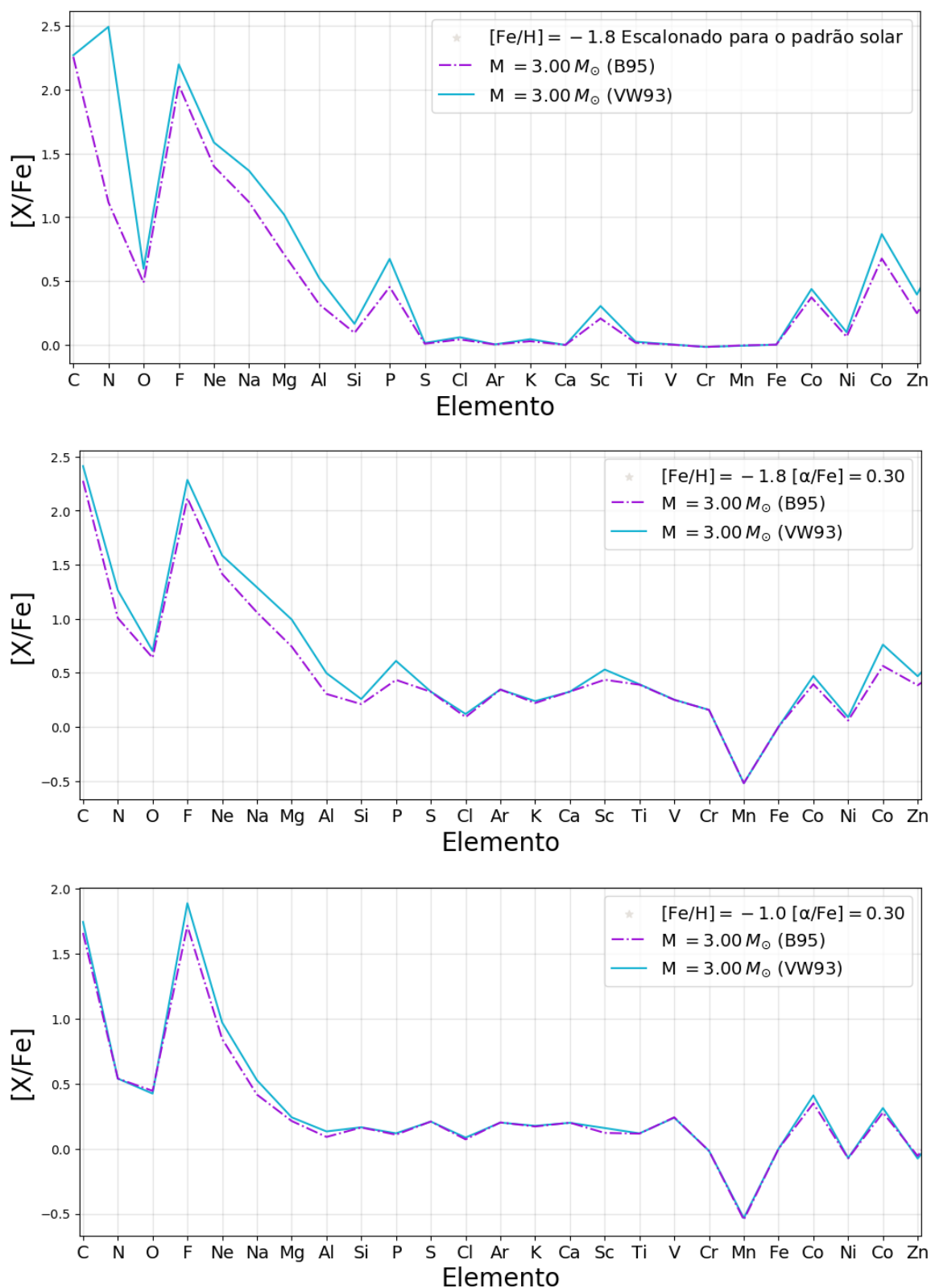


Figura 4.23: Abundâncias superficiais finais, do C ao Zn, para modelos de evolução estelar de $M = 3.00 M_{\odot}$ para os casos de $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (painel superior), $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ (segundo painel) e $[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ (painel inferior) mostrando as diferenças em $[X/Fe]$ devido às diferentes \dot{M} (Vassiliadis e Wood (1993) representado pela linha sólida azul, e Bloeker (1995) mostrado pelo ponto e linha roxos).

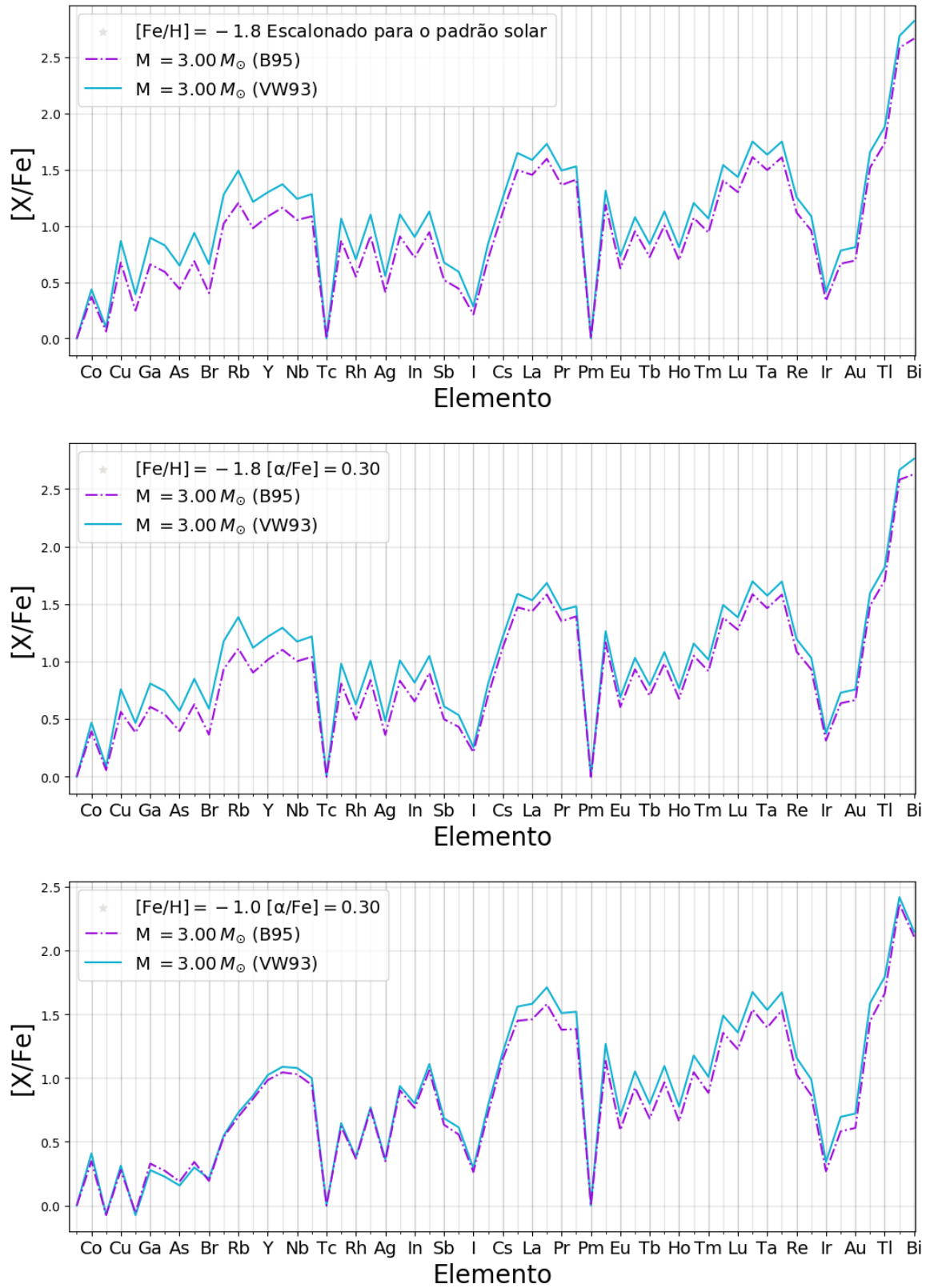


Figura 4.24: Abundâncias superficiais finais, do Ni ao Bi, para modelos de evolução estelar de $M = 3.00 M_{\odot}$ para os casos de $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (painel superior), $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ (segundo painel) e $[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ (painel inferior) mostrando as diferenças em $[X/Fe]$ devido às diferentes \dot{M} (Vassiliadis e Wood (1993) representado pela linha sólida azul, e Bloeker (1995) mostrado pelo ponto e linha roxos).

$[X/Fe]$ com e sem M_{mix} é grande a partir do elemento Mo, isso porque o fluxo de nêutrons produzidos pela reação $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ favorece a produção de elementos em torno do Pb.

A comparação entre abundâncias superficiais finais de modelos de mesma massa (em duas situações: $M = 1.9 M_{\odot}$ e $M = 6.0 M_{\odot}$) e $[Fe/H] = -1.8$ entre o cenário escalonado pelo padrão solar e o com $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ é apresentada na Figura 4.26 (painel superior do C ao Zn, e painel inferior do Ni ao Bi). A diferença entre os dois casos para os elementos mais pesados (Ga ao Bi) é mínima; já para os elementos mais leves podemos observar que a abundância superficial final é geralmente maior para os modelos com enriquecimento- α (à exceção do Mn, que apresenta $[X/Fe]$ menor) para aqueles elementos que tiveram suas abundâncias iniciais modificadas para contemplar o enriquecimento- α , cujos valores adotados encontram-se na Tabela 4.1. Vale notar que o modelo de $M = 6.0 M_{\odot}$ com enriquecimento- α apresenta valores mais altos de O, Ne, Na, Mg e Al, o que não ocorre para $M = 1.9 M_{\odot}$. A diferença média no caso de $M = 1.9 M_{\odot}$ para os elementos do S ao Cr é de ~ 0.24 dex, enquanto que para o modelo de $M = 6.0 M_{\odot}$ é de ~ 0.25 dex. Já a diferença média de $[X/Fe]$ para os elementos O, Ne, Na, Mg e Al com o modelo de $M = 6.0 M_{\odot}$ é de ~ 0.22 dex, enquanto para o modelo de $M = 1.9 M_{\odot}$ está em torno de somente ~ -0.08 dex.

Finalmente, da Figura 4.27 à Figura 4.32 apresentamos os resultados finais para $[X/Fe]$ na superfície de estrelas para todas as massas e metalicidades estudadas aqui.

Nas Figuras 4.27 ($[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar), 4.29 ($[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$) e 4.31 ($[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$) vemos as abundâncias superficiais finais do C ao Zn para modelos com pacotes de ^{13}C no painel superior (modelos de baixa massa) e sem pacotes de ^{13}C no painel inferior (modelos de massa intermediária com HBB). Nos referimos aqui como modelos de baixa massa àqueles com $0.9 \leq M/M_{\odot} \leq 3.5$ para $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $0.9 \leq M/M_{\odot} \leq 3.75$ para $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$, e $1.0 \leq M/M_{\odot} \leq 5.0$ para $[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$; já os modelos de massa intermediária são aqueles com $3.75 \leq M/M_{\odot} \leq 6.5$ para $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $4.0 \leq M/M_{\odot} \leq 6.5$ para $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$, e $5.5 \leq M/M_{\odot} \leq 7.0$ para $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$. Podemos notar que, independentemente da metalicidade adotada, os modelos de baixa massa apresentam abundância maior dos elementos C e O em comparação a modelos de massa intermediária, isso porque esses elementos têm suas abundâncias diminuídas durante o ciclo CNO no HBB para estrelas

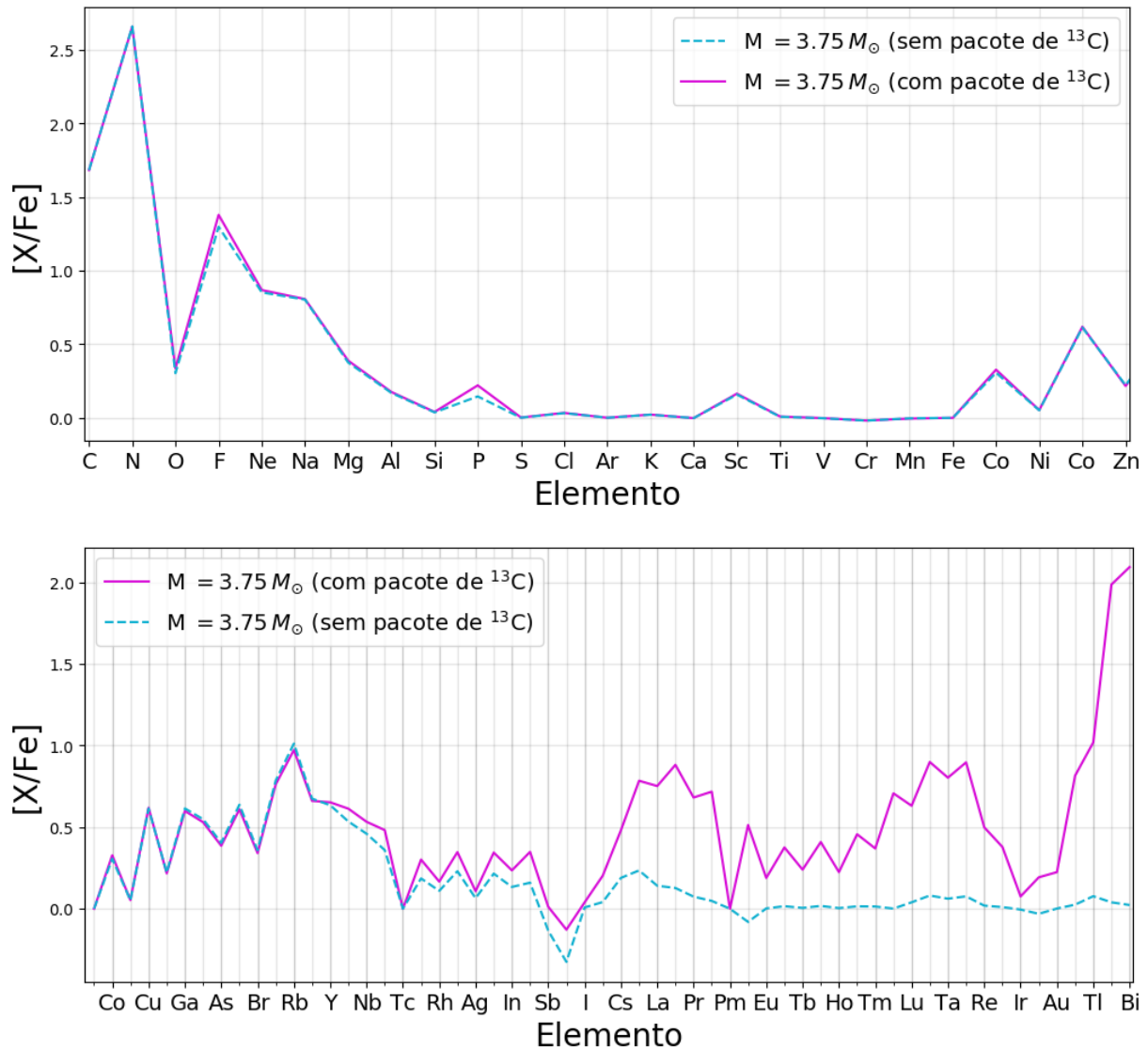


Figura 4.25: Abundâncias superficiais finais para o modelo de $M = 3.75 M_{\odot}$ com pacote de ^{13}C ($M_{\text{mix}} = 1 \times 10^{-4}$, linha sólida lilás) em comparação com o modelo de mesma massa mas sem pacote de ^{13}C ($M_{\text{mix}} = 0$, linha tracejada azul). O painel superior apresenta essa comparação para os elementos do C ao Zn e o painel inferior para elementos do Ni ao Bi.

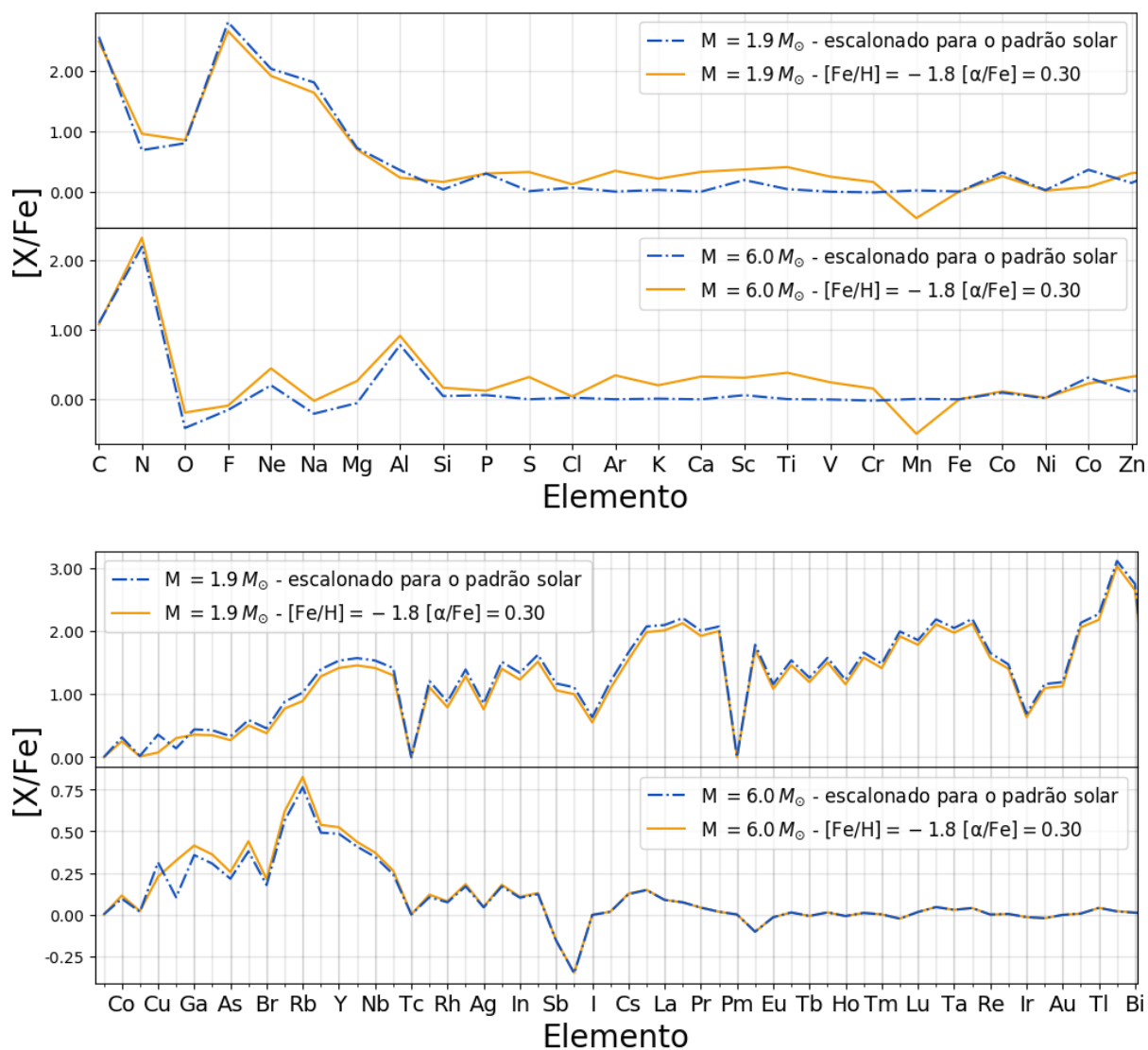


Figura 4.26: Comparação entre abundâncias superficiais finais para $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (ponto e linha azul) e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$ (linha sólida laranja) para duas massas distintas ($M = 1.9 M_{\odot}$ e $M = 6.0 M_{\odot}$). O painel superior mostra os resultados do C ao Zn, enquanto o painel inferior apresenta resultados do Ni ao Bi.

mais massivas, e justamente por causa do ciclo CNO durante o HBB é que há grande produção de N em estrelas de massa intermediária. Já o F é produzido na casca rica em He entre as camadas de queima de H e de He, através da reação $^{15}\text{N}(\alpha, \gamma)^{19}\text{F}$, e por isso vemos um aumento sucessivo na razão $[\text{F}/\text{Fe}]$ até uma massa limite (que depende da metalicidade; $M = 2.25 M_{\odot}$ para os dois casos de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, e $M = 2.5 M_{\odot}$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$); para massas maiores pode ocorrer a destruição de F através da reação $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne}$ na casca rica em He e também por $^{19}\text{F}(p, \alpha)^{16}\text{O}$ durante o HBB para estrelas de massa intermediária. A criação e destruição do Mg em estrelas na fase AGB já foi discutida em detalhes no Capítulo 3.

As Figuras 4.28 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar), 4.30 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$) e 4.32 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$) apresentam as abundâncias superficiais finais para os elementos do Ni ao Bi (painéis superiores mostram estrelas de baixa massa, e painéis inferiores exibem $[\text{X}/\text{Fe}]$ para estrelas de massa intermediária). A distribuição elemental de $[\text{X}/\text{Fe}]$ é bem diferente nos dois casos: para baixas massas a produção de fluxo de nêutrons é dominada pela reação $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ que privilegia a produção de elementos do processo-s mais pesados produzindo um pico em torno do Pb; já para estrelas de massa intermediária a reação $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ produz o fluxo de nêutrons que é distribuído por movimentos convectivos durante um pulso térmico por toda a casca rica em He entre as camadas de queima de H e de He; o número alto de nêutrons produzidos por cada “semente” de Fe gera distribuições onde a produção dos elementos mais leves do processo-s é favorecida em comparação com a dos elementos mais pesados.

Observamos, também, que os modelos de $M = 1.0$ e $1.1 M_{\odot}$ com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ mantêm os valores mais baixos de $[\text{X}/\text{Fe}]$ para todos os elementos, pois não há ocorrência da terceira dragagem para transportar os produtos da nucleossíntese para a superfície.

É interessante ressaltar que a massa para a qual temos os máximos valores de $[\text{X}/\text{Fe}]$ para a maioria dos elementos estudados aqui está relacionada com o modelo cuja massa apresenta mais material dragado para a superfície, em outras palavras, para modelos com maiores eficiências durante os vários eventos de terceira dragagem (como exibido na Figura 4.12).

Um exemplo de tabela contendo as abundâncias superficiais finais para um modelo produzido aqui é apresentada no Apêndice B. No Apêndice B, também são encontrados

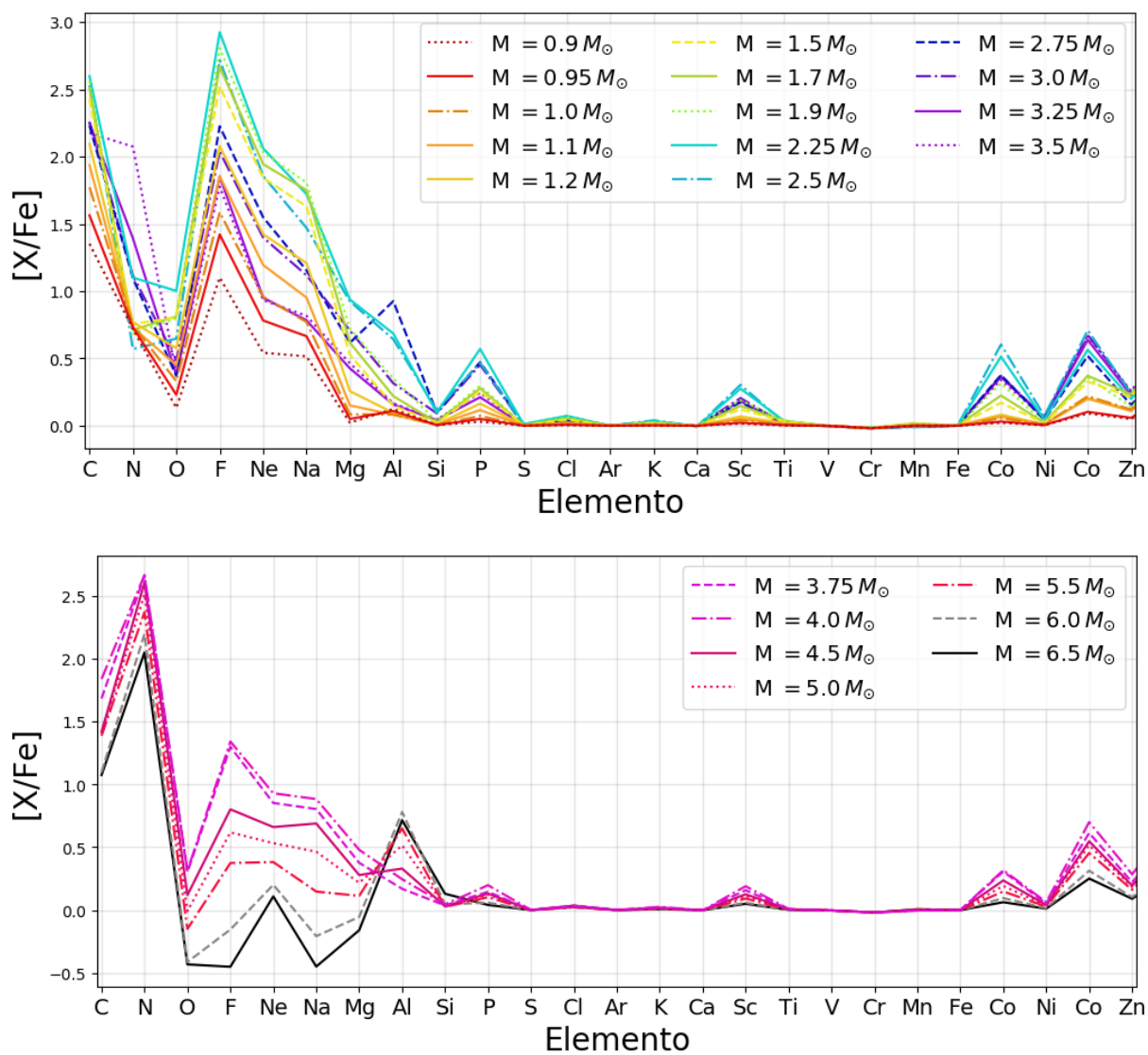


Figura 4.27: Abundâncias superficiais finais do C ao Zn para $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, com $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 3.50$ (painel superior) e $3.75 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$ (painel inferior).

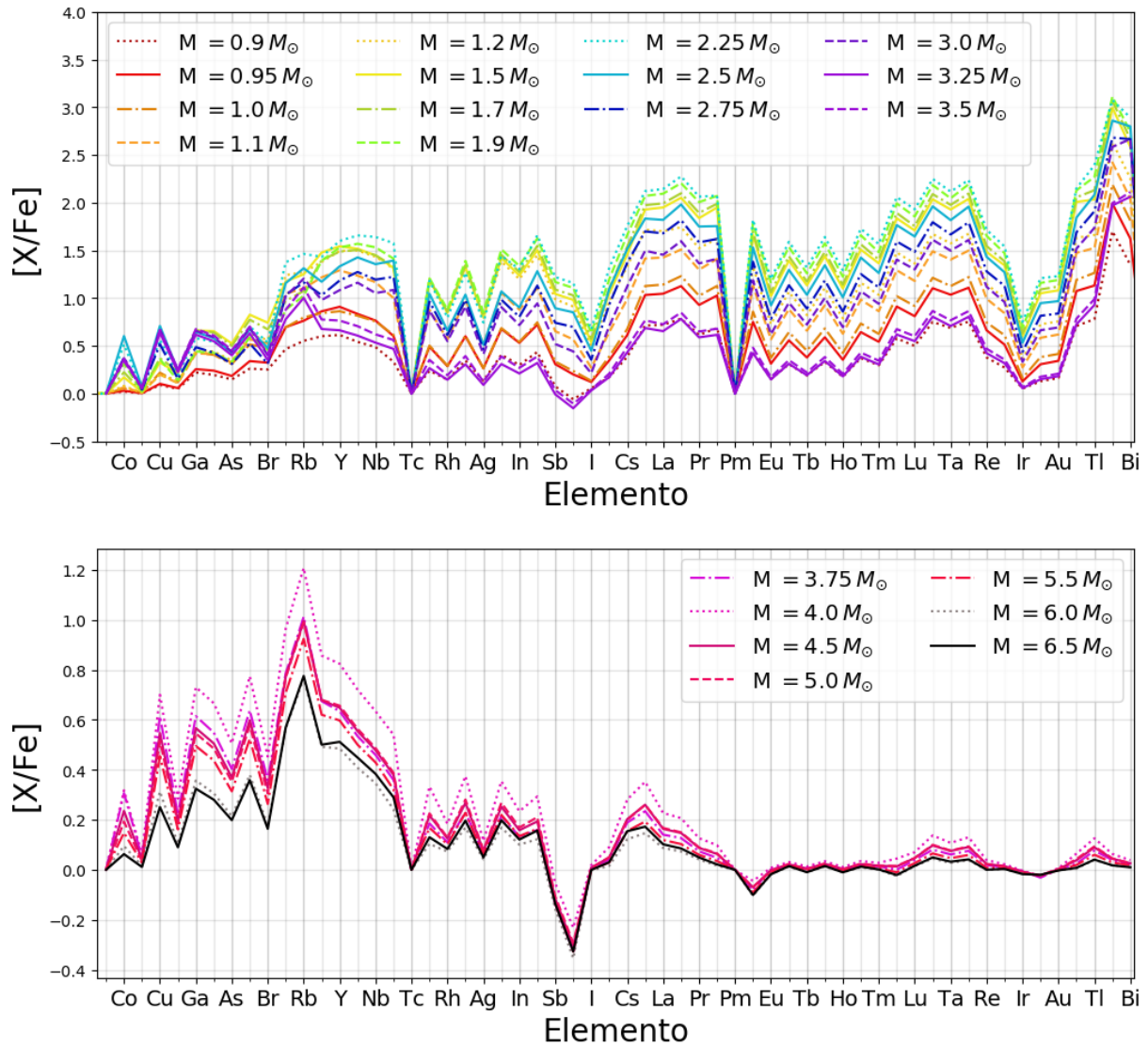


Figura 4.28: Abundâncias superficiais finais do Ni ao Bi para $[Fe/H] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, com $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 3.50$ (painel superior) e $3.75 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$ (painel inferior).

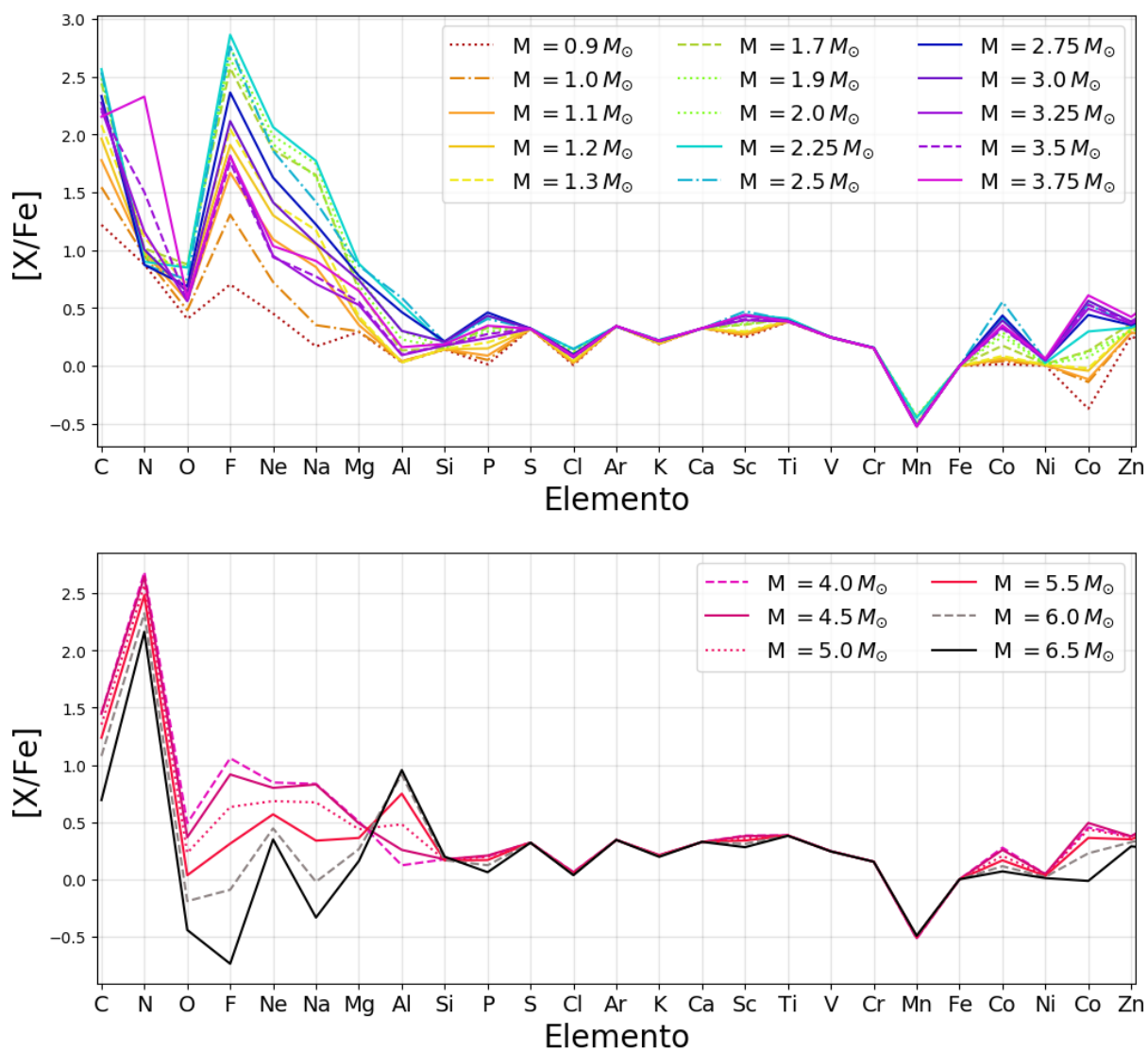


Figura 4.29: Abundâncias superficiais finais do C ao Zn para $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$, com $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 3.75$ (painel superior) e $4.00 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$ (painel inferior).

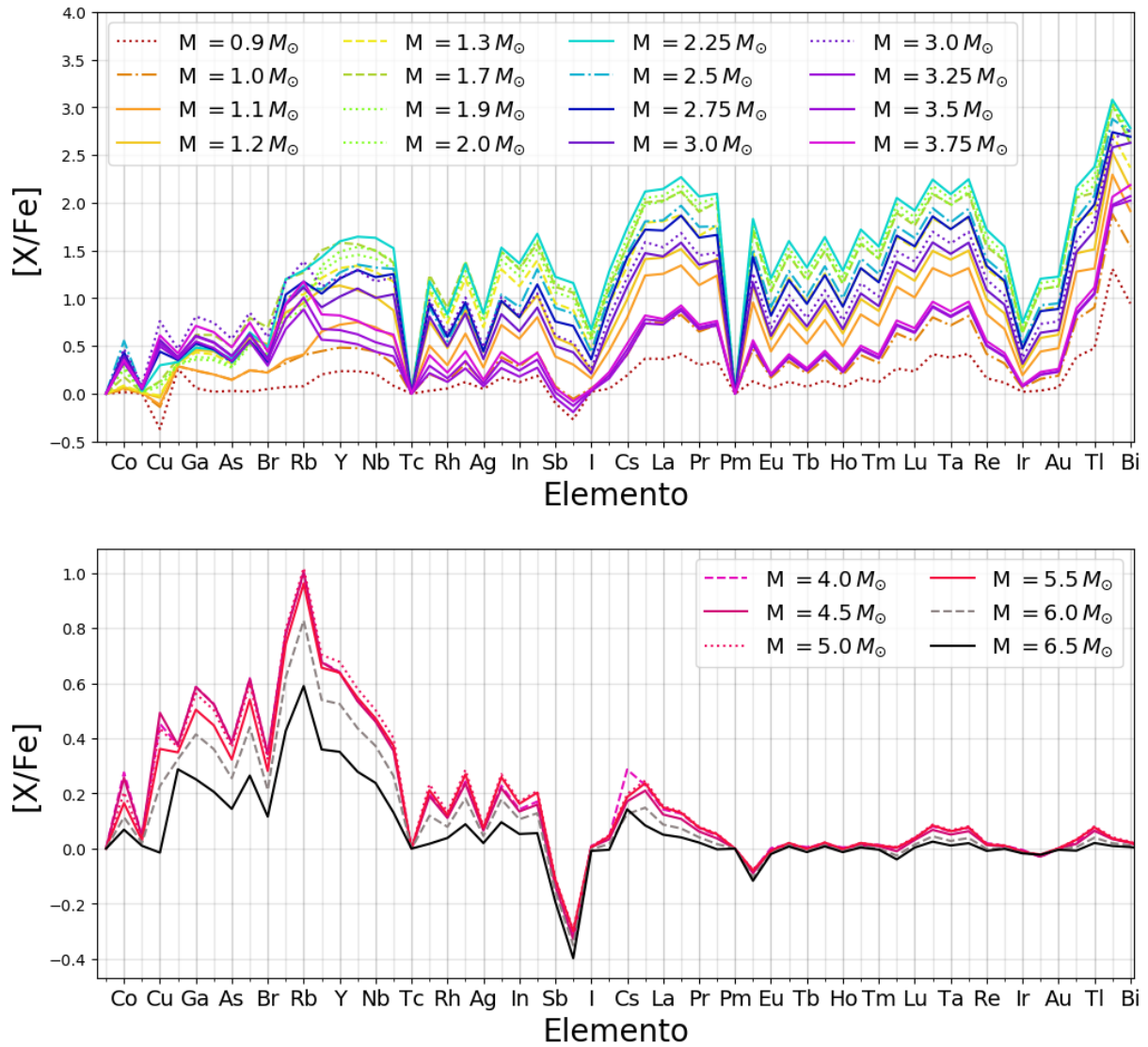


Figura 4.30: Abundâncias superficiais finais do Ni ao Bi para $[Fe/H] = -1.8$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$, com $0.90 \leq M/M_{\odot} \leq 3.75$ (painel superior) e $4.00 \leq M/M_{\odot} \leq 6.50$ (painel inferior).

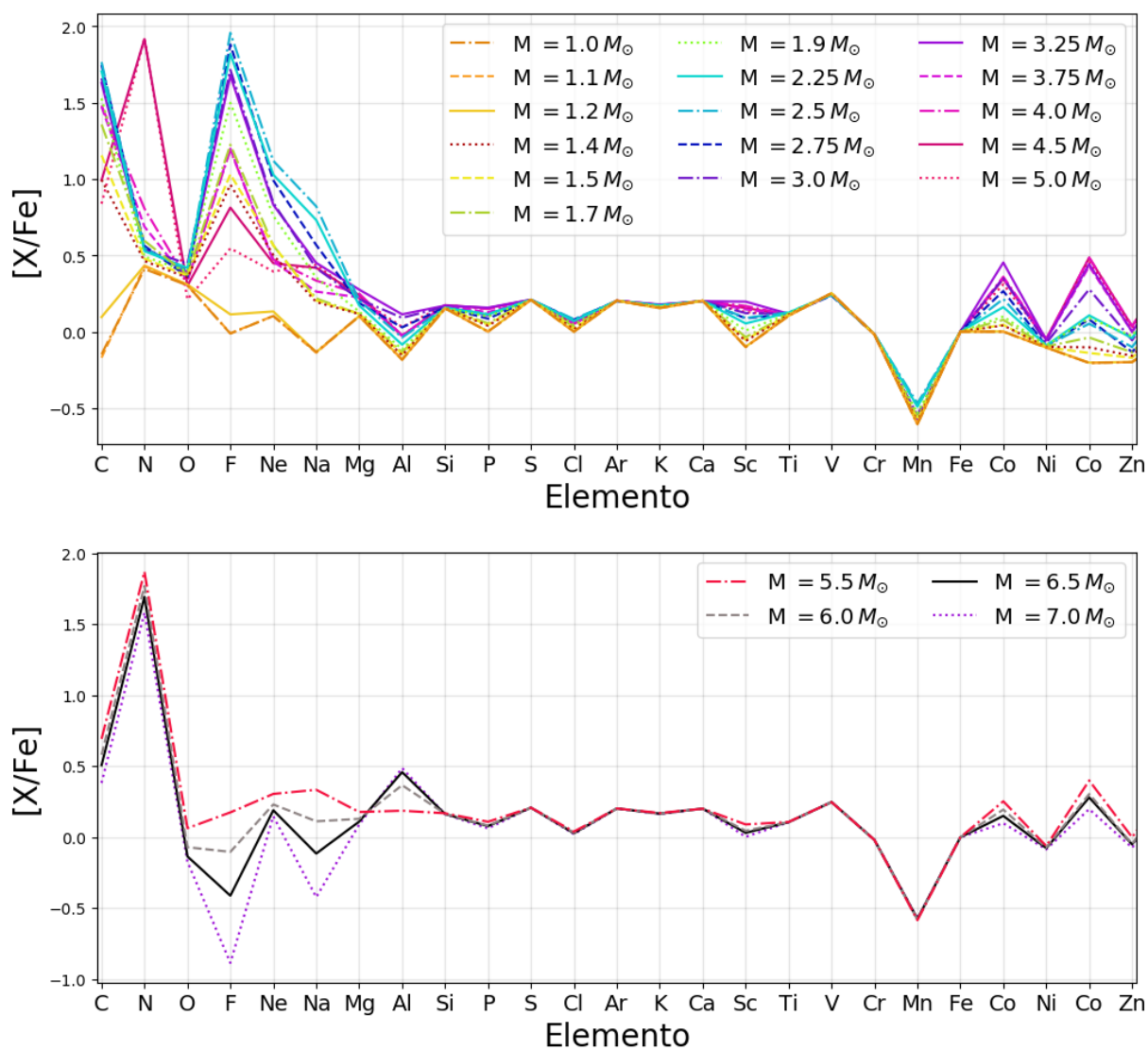


Figura 4.31: Abundâncias superficiais finais do C ao Zn para $[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$, com $1.00 \leq M/M_{\odot} \leq 5.00$ (painel superior) e $5.50 \leq M/M_{\odot} \leq 7.00$ (painel inferior).

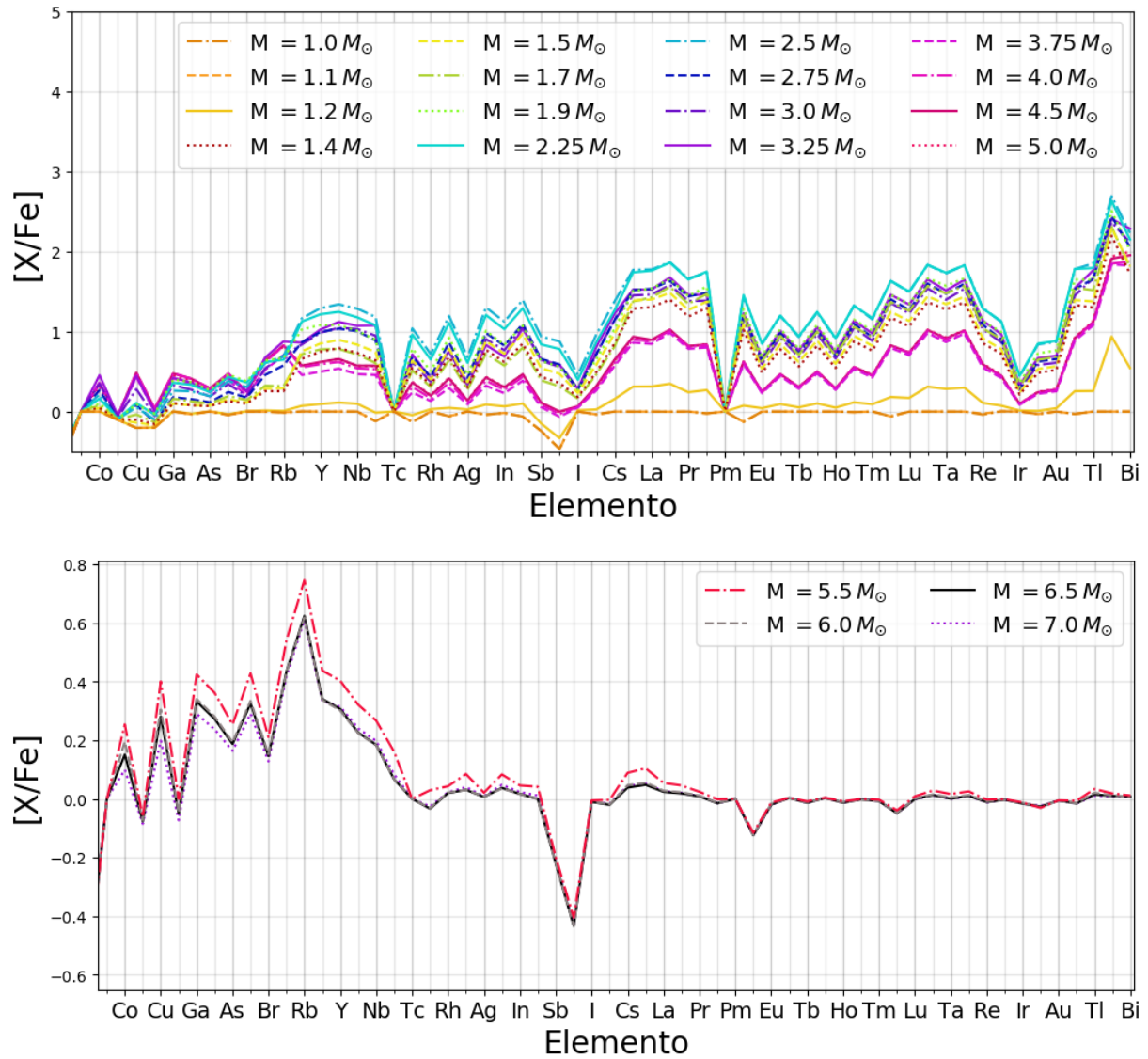


Figura 4.32: Abundâncias superficiais finais do Ni ao Bi para $[Fe/H] = -1.0$ e $[\alpha/Fe] \approx 0.30$, com $1.00 \leq M/M_{\odot} \leq 5.00$ (painel superior) e $5.50 \leq M/M_{\odot} \leq 7.00$ (painel inferior).

exemplos de tabelas, para um modelo estelar, com as razões isotópicas $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, $^{16}\text{O}/^{17,18}\text{O}$, $^{24}\text{Mg}/^{25,26}\text{Mg}$, $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$, $^{28}\text{Si}/^{29,30}\text{Si}$, $^{36,37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$, $^{36,38}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, $^{40,41}\text{K}/^{39}\text{K}$, $^{42,43,44,46,48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$, $^{46,47,49,50}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$, $^{53,54}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$, $^{54,57,58,60}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$ e $^{60,61,62}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$, a cada pulso térmico.

4.2.2 Yields

O *yield* estelar é definido como a fração de massa expelida da estrela que polui o meio em seu entorno. Esse *yield* eventualmente será usado na formação de novas estrelas e por isso é importante para entendermos a evolução galáctica. Os *yields* estelares calculados à partir de modelos de evolução estelar e suas respectivas nucleossínteses são usados em modelos de evolução química da Galáxia que nos ajudam a interpretar resultados obtidos por observações.

A definição de *yield* total adotada aqui é dada pela Equação 4.10 (de Karakas e Lugaro, 2016; Karakas et al., 2018):

$$M_i = \int_0^\tau X(t)_i \frac{dM}{dt} dt, \quad (4.10)$$

onde $X(t)_i$ é a fração de massa de determinada espécie i na superfície da estrela num tempo t , $\frac{dM}{dt}$ é a taxa de perda de massa estelar e τ é tempo de vida de uma estrela específica. Assim, M_i é massa total expelida da espécie i no meio interestelar pela estrela ao longo de toda sua vida (em massas solares), sempre positiva.

Já o *yield* líquido, quantidade de material i produzida ou destruída pela estrela mais o volume da espécie i já pré-existente na estrela, e que, portanto, pode adquirir valores negativos, é apresentado na Equação 4.11 (de Karakas et al., 2018).

$$M_i = \int_0^\tau [X(t)_i - X(0)_i] \frac{dM}{dt} dt, \quad (4.11)$$

onde $X(t)_i$ é a fração de massa da espécie i na superfície da estrela num tempo t , $X(0)_i$ é a fração de massa inicial dessa mesma espécie, τ é o tempo de vida da estrela, $\frac{dM}{dt}$ é a taxa de perda de massa estelar e M_i é o *yield* líquido da espécie i em massas solares.

O Apêndice B contém um exemplo de tabela com os *yields* finais produzidos por um modelo estelar calculado durante esse trabalho.

A seguir apresentamos alguns *yields* líquidos selecionados para exemplificar alguns resultados (Figuras 4.33 e 4.34).

A Figura 4.33 apresenta os *yields* líquidos para os elementos C, N e F. Os *yields* de C são altos para estrelas de baixa massa, pois o C produzido durante a queima parcial de He é levado para a superfície pelos vários eventos de terceira dragagem, enquanto que estrelas mais massivas destroem o C durante o HBB na produção de ^{14}N . O pico máximo do *yield* de C coincide aproximadamente com a massa dos modelos que apresentam maior massa dragada para a superfície devido a terceira dragagem (relacionado ao número elevado de pulsos térmicos e a alta eficiência da terceira dragagem). A maior parte do *yield* elemental de C vêm do ^{12}C , com pouca contribuição do ^{13}C (Karakas, 2003). Podemos observar também que a massa que apresenta valor máximo para os *yields* de C dependem da metalicidade, assim como a quantidade total de massa dragada para a superfície para cada modelo de evolução estelar também é vinculada a metalicidade. Os *yields* de mesma metalicidade e distintos $[\alpha/\text{Fe}]$ têm valores similares.

A Figura 4.33 mostra também os *yields* para o N, sendo sempre positivos pois há pouca destruição desse elemento em estrelas no intervalo de massas aqui estudado. Estrelas de baixa massa têm o ^{14}N secundário (N presente no gás inicial que levou à formação dessas estrelas) levado para a superfície durante a primeira e a segunda dragagem, já estrelas de massa intermediária produzem ^{14}N durante o HBB, que é levado à superfície estelar durante os eventos de terceira dragagem. Os *yields* apresentam muito ^{14}N e pouquíssimo ^{15}N (destruído pelo HBB). Como esperado, os *yields* de N têm picos distintos para diferentes $[\text{Fe}/\text{H}]$, no entanto, os *yields* de mesma metalicidade e distintos $[\alpha/\text{Fe}]$ têm valores similares (apesar de diferentes Z).

Os *yields* de F, encontrados no painel inferior esquerdo da Figura 4.33, mostram valor máximo no mesmo ponto (massa estelar) em que os *yields* de C, pois o produto fabricado na casca de He, entre as camadas de queima de H e de He, é transportado durante os sucessivos episódios de terceira dragagem com mais eficiência para modelos com esses valores de massa, já em estrelas de massa intermediária o F é destruído durante o HBB. Novamente, os *yields* de mesma metalicidade e distintos $[\alpha/\text{Fe}]$ têm valores similares.

A Figura 4.34 exibe os *yields* líquidos para alguns elementos produzidos pelo processo: Sr (painel superior esquerdo), Y (painel superior direito), Ba (painel intermediário esquerdo), La (painel intermediário direito) e Pb (painel inferior esquerdo).

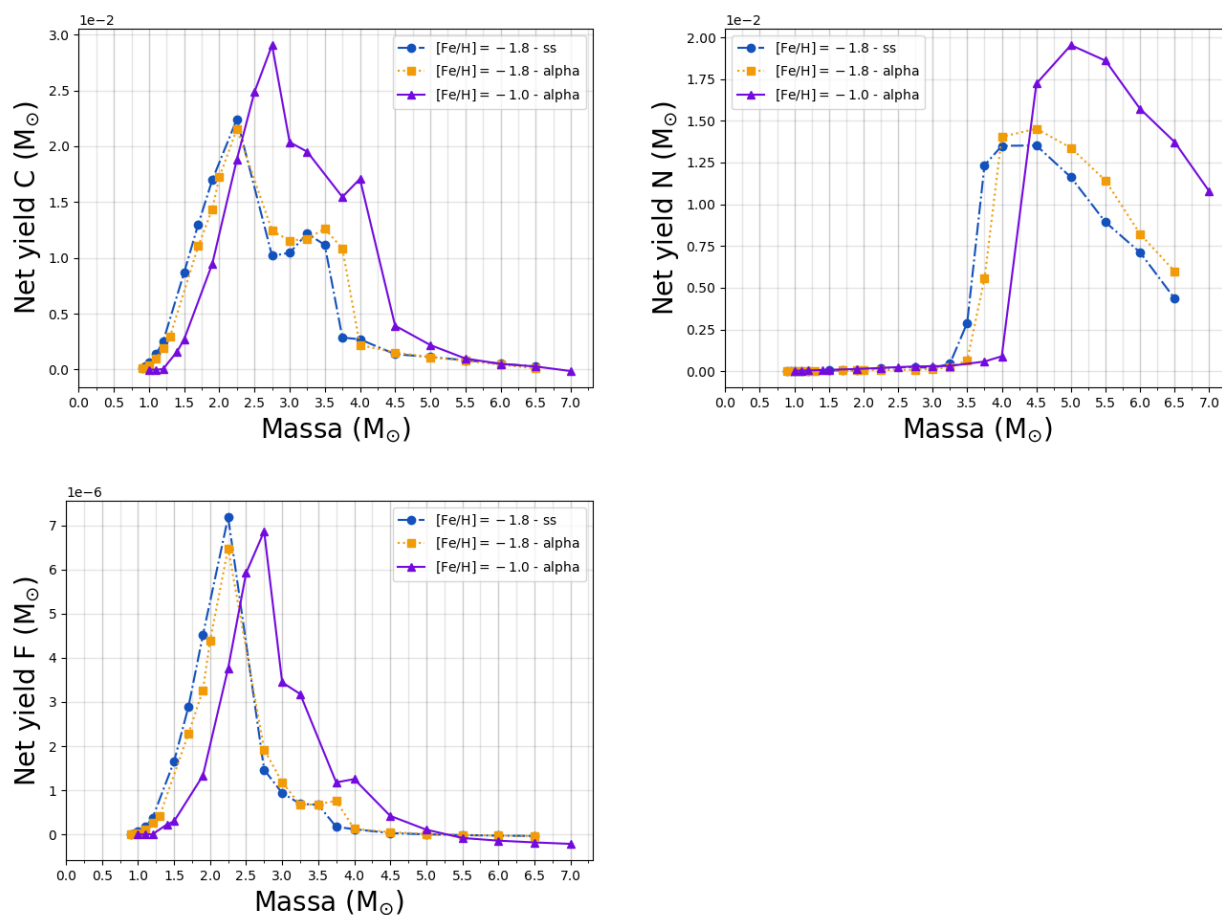


Figura 4.33: Yields líquidos elementais para o C (painel superior esquerdo), N (painel superior direito) e F (painel inferior esquerdo), para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (círculos e ponto e linha azuis), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (quadrados e linha pontilhada laranjas), e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (triângulos e linha sólida roxos).

Os elementos leves produzidos pelo processo-s, Sr e Y, apresentam maior contribuição em estrelas de baixa massa (para todas as metalicidades) devido ao fluxo de nêutrons produzidos pela reação $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$, mas também mostram uma quantidade razoável produzida pela fonte de nêutrons $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ em estrelas de massa intermediária. Os *yields* líquidos dessas espécies são bem diferentes entre os distintos $[\text{Fe}/\text{H}]$, e muito similares entre os casos de mesmo $[\text{Fe}/\text{H}]$ e diferentes $[\alpha/\text{Fe}]$.

Já os elementos mais pesados produzidos pelo processo-s, Ba, La e Pb têm *yields* líquidos somente onde a fonte de nêutrons vem de $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ (estrelas de baixa massa onde não há HBB); estrelas de massa intermediária que experienciam HBB têm como fonte de nêutrons somente a reação $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$, que é incapaz de produzir espécies em torno do pico de Pb. Novamente, os *yields* líquidos desses elementos são bem diferentes dependo da metalicidade, mas muito semelhantes entre os casos de mesmo $[\text{Fe}/\text{H}]$ e diferentes $[\alpha/\text{Fe}]$.

Em todos os casos, os valores de massa para o pico máximo dos *yields* líquidos estão relacionados ao pico de eficiência da terceira dragagem (maior quantidade de massa dragada, Figura 4.12). No geral, podemos perceber que os *yields* dependem fortemente da metalicidade adotada; no entanto, há pouca diferença entre os casos de mesmo $[\text{Fe}/\text{H}]$ mas diferentes $[\alpha/\text{Fe}]$ (e portanto, diferentes Z).

A seguir comparamos *yields* totais, dados pela Equação 4.10, para alguns elementos selecionados para os modelos de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e também com enriquecimento- α ($Z = 0.00022$ e $Z = 0.00066$, respectivamente) em comparação a dados da literatura, com modelos de metalicidade próximas às calculadas aqui, de Karakas (2010) (quando disponível, $Z = 0.0001$), Ritter et al. (2018) ($Z = 0.0001$ e $[\alpha/\text{Fe}] = 0.5$) e resultados compilados da base de dados FRUITY ($Z = 0.0001$ e $[\alpha/\text{Fe}] = 0.5$; Straniero et al., 2006; Cristallo et al., 2007, 2009, 2011; Piersanti et al., 2013; Straniero et al., 2014; Cristallo et al., 2015, 2016).

A Figura 4.35 apresenta os *yields* totais dos elementos C, N, O e F. Para o C, somente os dados FRUITY apresentam maior produção para modelos com $M \gtrsim 4.0 M_{\odot}$, enquanto os *yields* de C de Karakas (2010) são aproximadamente 2.5 vezes maiores do que o restante dos dados para $M \approx 2.5 M_{\odot}$. Todos os *yields* do N começam crescer para $M \gtrsim 3.0 M_{\odot}$, com a maior produção apresentada novamente pelo estudo de Karakas (2010). Já os *yields* de O são similares entre os nossos resultados e os de Karakas (2010) e de FRUITY, no entanto os *yields* de O do trabalho de Ritter et al. (2018) são bem diferentes dos

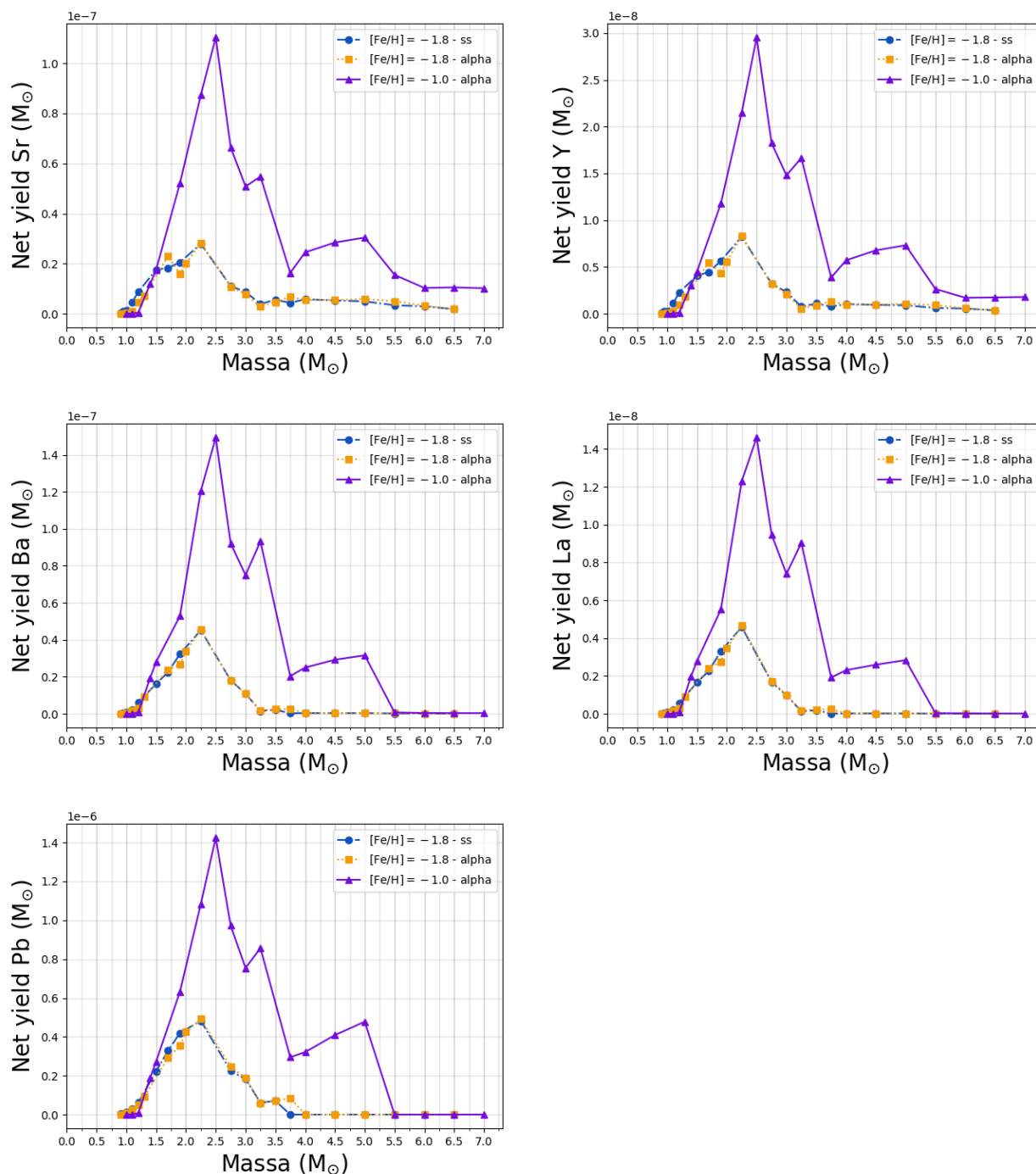


Figura 4.34: Yields líquidos elementais para o Sr (painel superior esquerdo), Y (painel superior direito), Ba (painel intermediário esquerdo), La (painel intermediário direito) e Pb (painel inferior esquerdo), para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (círculos e ponto e linha azuis), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (quadrados e linha pontilhada laranjas), e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ (triângulos e linha sólida roxos).

demais para quase todas as massas, o que é estranho pois estrelas AGB não produzem tanto oxigênio. Para o F, mais uma vez o trabalho de [Karakas \(2010\)](#) apresenta valores maiores em comparação aos demais *yields*, já os dados de FRUITY e [Ritter et al. \(2018\)](#) são menores que os encontrados no nosso trabalho. Como esperado, por se tratar de *yields* com Z diferentes dos adotados no nosso estudo e calculados a partir de outros códigos de evolução estelar e nucleossíntese, nossos resultados diferem um pouco dos resultados encontrados na literatura, mas mesmo assim, os padrões observados nos nossos *yields*, para cada um desses elementos, são qualitativamente similares à maioria dos dados de *yields* da literatura mostrados aqui.

A Figura 4.36 apresenta a comparação dos nossos *yields* totais e alguns dados da literatura para os elementos Y, Ba, La e Pb. De acordo com o trabalho de [Ritter et al. \(2018\)](#), quase não há produção dos elementos Ba, La e Pb para nenhuma massa; e pouca produção de Y para $M \lesssim 6 M_{\odot}$ em comparação aos nossos dados e os de FRUITY. O pico da produção de Y não coincide quando comparamos nossos resultados aos do grupo FRUITY; apresentamos maior produção de Y à baixas massas ($1.0 \lesssim M/M_{\odot} \lesssim 3.0$), enquanto os dados de FRUITY indicam maior produção em torno de $5 M_{\odot}$ para essa metalicidade. Nossos modelos produzem muito mais Ba (até ~ 4 vezes mais para $1.0 \lesssim M/M_{\odot} \lesssim 3.0$) do que os modelos FRUITY, que têm a produção desse elemento mais distribuída em massa. O mesmo ocorre para o elemento La. Já o pico da produção de Pb é similar entre os nossos resultados e os de FRUITY ($M \sim 2.0 - 2.5 M_{\odot}$); no entanto, nesse pico, temos ~ 5 vezes mais material ejetado ao meio interestelar do que os resultados de FRUITY mostram. Podemos observar também que no nosso trabalho a produção de Pb cessa para $M \geq 4.0 M_{\odot}$ por causa do HBB, enquanto que para os modelos FRUITY isso só ocorre para $M \gtrsim 6 M_{\odot}$.

Como podemos perceber, os *yields* de grupos de pesquisa distintos, que usam diferentes modelos de evolução estelar e nucleossíntese, diferem entre si, principalmente para os elementos mais pesados. No entanto, com os resultados do nosso trabalho, aumentamos a grade de modelos existentes na literatura com dados de Z inéditos. Nossos *yields* vão ajudar a complementar um espaço de parâmetros pouco explorado, e isso é muito importante para a discussão sobre a física e a produção química no interior estelar.

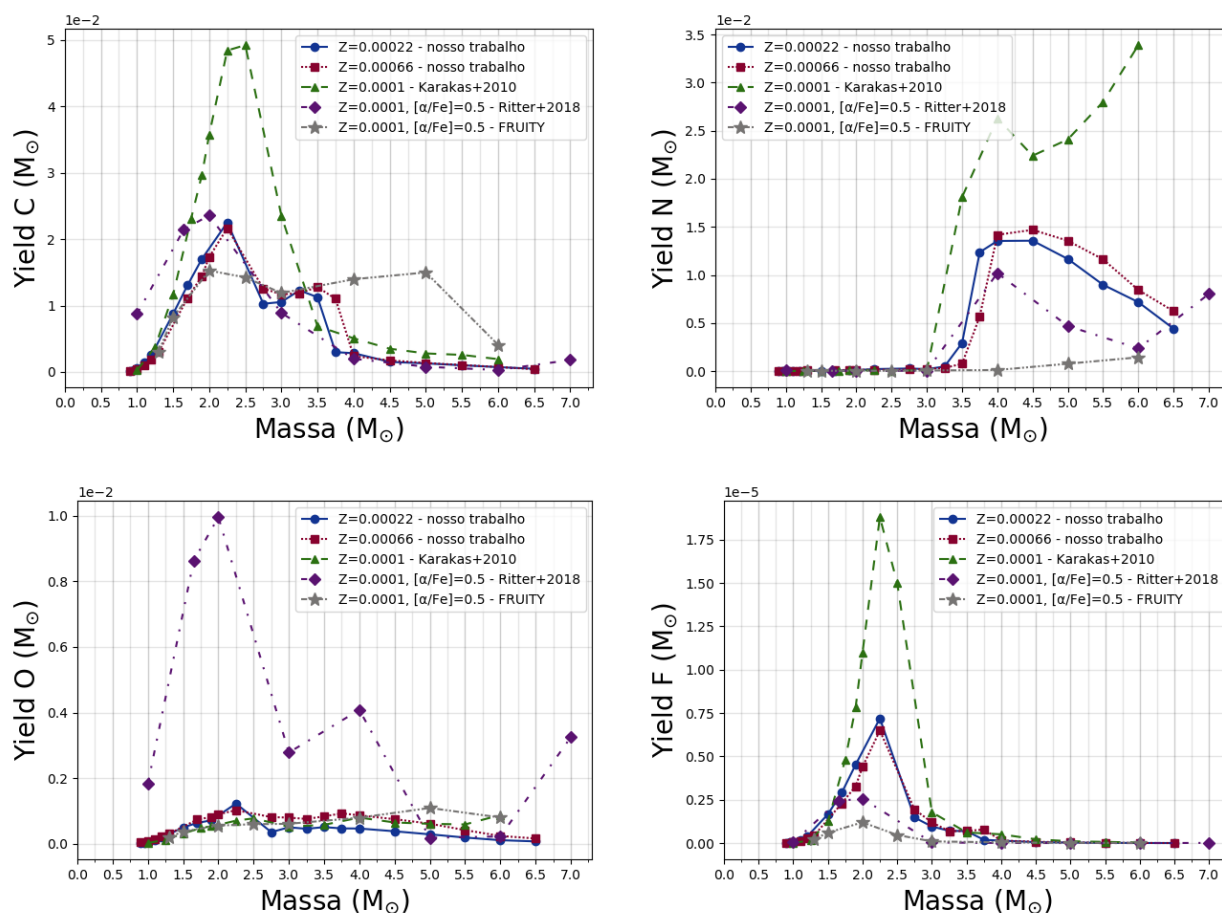


Figura 4.35: Yields totais elementais para o C (painel superior esquerdo), N (painel superior direito), O (painel inferior esquerdo) e F (painel inferior direito), para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar ($Z = 0.00022$, círculos e linha sólida azuis), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ ($Z = 0.00066$, quadrados e linha pontilhada vinho), em comparação aos trabalhos de [Karakas \(2010\)](#) (triângulos e linha tracejada verdes), [Ritter et al. \(2018\)](#) (losangos e ponto e linha roxos) e dados do grupo FRUITY representados por estrelas e dois pontos e linha cinzas (devidamente referenciados no texto).

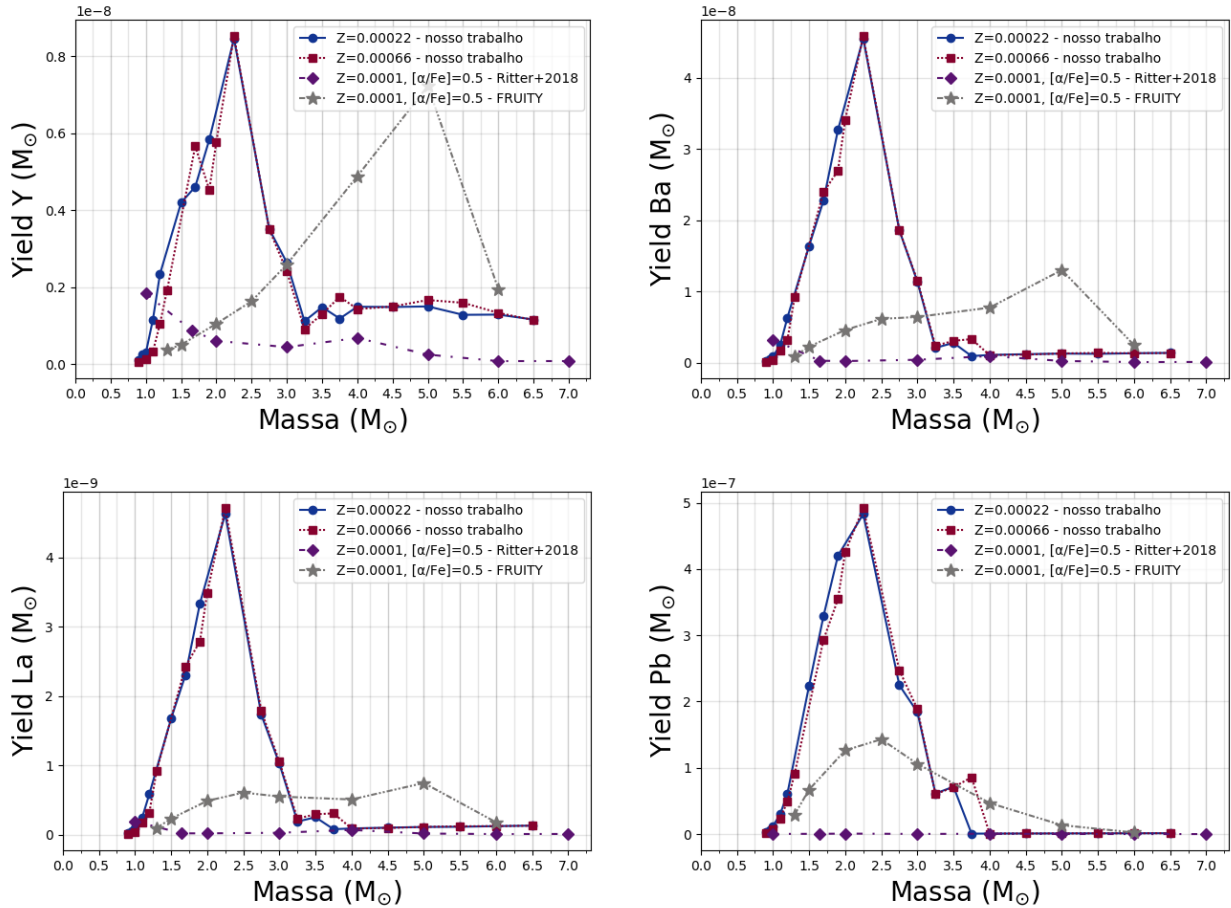


Figura 4.36: Yields totais elementais para o Y (painel superior esquerdo), Ba (painel superior direito), La (painel inferior esquerdo) e Pb (painel inferior direito), para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar ($Z = 0.00022$, círculos e linha sólida azuis), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ ($Z = 0.00066$, quadrados e linha pontilhada vinho), em comparação ao trabalho de Ritter et al. (2018) (losangos e ponto e linha roxos) e dados do grupo FRUITY representados por estrelas e dois pontos e linha cinzas (devidamente referenciados no texto).

4.3 Modelo de evolução química da Galáxia

Nesta seção, apresentamos resultados de modelos de evolução química da Galáxia gentilmente calculados pelo Professor Oscar Cavichia da Universidade Federal de Itajubá, considerando os *yields* produzidos nesse trabalho. Mais detalhes sobre o modelo utilizado podem ser encontrados em [Mollá e Díaz \(2005\)](#), com funções de massa inicial atualizadas em [Mollá et al. \(2015\)](#) e novo método para calcular a taxa de *infall* de gás do halo para o disco de [Mollá et al. \(2016\)](#).

Resolvemos reproduzir um modelo com os *yields* apresentados aqui, incluindo enriquecimento- α , para analisarmos a extensão da importância (ou não) da utilização de *yields* estelares que levam em consideração a distribuição de $[\alpha/\text{Fe}]$ para algumas populações estelares. Nesse sentido, três modelos de evolução química da Galáxia foram calculados: o primeiro com *yields* escalonados para o padrão solar com dados prévios da literatura (modelo 1), o segundo com dados da literatura mais os *yields* calculados aqui de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar (modelo 2) e o terceiro modelo com *yields* que incluem enriquecimento- α (modelo 3).

Para os três modelos diferentes calculados, adotamos os *yields* de estrelas de alta massa de [Limongi e Chieffi \(2003\)](#) e [Chieffi e Limongi \(2004\)](#). Já para os *yields* de estrelas de baixa massa e massa intermediária optamos pelos *yields* de [Karakas \(2010\)](#) ($Z = 0.02, 0.008, 0.004$) para o modelo 1, no modelo 2 usamos *yields* de [Karakas \(2010\)](#) ($Z = 0.02, 0.008, 0.004$) mais os *yields* de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar apresentados aqui ($Z = 0.00022$), e para o modelo 3 (com enriquecimento- α) utilizamos os *yields* de [Karakas \(2010\)](#) ($Z = 0.02, 0.008, 0.004$) mais os *yields* de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ e -1.0 com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$ ($Z = 0.00066$ e 0.0034).

A Figura 4.37 mostra a função de distribuição de metalicidades (MDF, da sigla em inglês) para o halo da Galáxia considerando duas taxas distintas de formação estelar (SFR, da sigla em inglês): normal (painel esquerdo) e alta (painel direito). A SFR alta tem eficiência três vezes maior do que a SFR normal devido à necessidade de reproduzir o gradiente radial de O/H nas áreas mais externas do disco da Galáxia, onde dados observacionais apontam para um achatamento desse gradiente, como discutido em [Mollá et al. \(2019\)](#). Os dois painéis da Figura 4.37 têm os três modelos de evolução química da Galáxia para comparação. O modelo com SFR alta reproduz melhor a MDF do halo da Galáxia

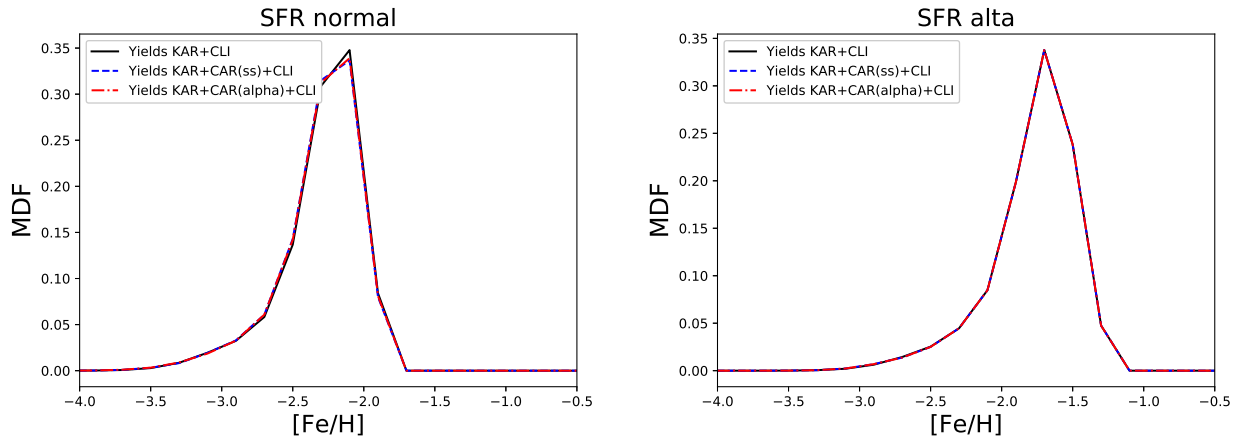


Figura 4.37: Função de distribuição de metalicidade para o halo galáctico para os três modelos distintos (como explicado no texto). O modelo 1 é representado pela linha preta sólida, o modelo 2 é exibido pela linha tracejada azul, e o ponto e linha vermelhos mostram o modelo 3. O painel esquerdo mostra os modelos construídos usando uma taxa de formação estelar normal e o painel direito apresenta os mesmos modelos com taxa de formação estelar alta.

com pico de $[\text{Fe}/\text{H}]$ próximo a dados encontrados na literatura (p.e., Chiba e Yoshii, 1998; Kobayashi et al., 2011). Independentemente da SFR adotada, a MDF não varia para os diferentes *yields* estudados.

A seguir mostramos os resultados dos modelos para os elementos C, N, O, Mg, Si e Ca comparados a alguns dados da literatura. O trabalho de Spite et al. (2005) apresenta medidas de C (banda G, $A^2\Delta - X^2\Pi$, do CH), N (banda $A^3\Pi_i - X^3\Sigma^-$ do NH em 336 nm) e O (linha [OI] em 6300.31 Å) em estrelas gigantes, porém aqui mostramos somente as estrelas que não passaram por processo de mistura ainda (devido à primeira dragagem, por exemplo) de acordo com critério adotado por Spite et al. (2005). O estudo de Bonifacio et al. (2009) publicou medidas de C (banda G do CH), Mg, Si (linha em 390.6 nm) e Ca para estrelas não evoluídas passando pelo *turn-off*. Apresentamos também medidas de O coletadas do trabalho de Boesgaard et al. (2011), obtidas por síntese espectral da espécie OH no UV; para comparação com os nossos modelos, consideramos somente estrelas pobres em metais com $\log g \geq 4.0$ em uma tentativa de excluir estrelas gigantes que já passaram por algum processo de mistura. Adquirimos as abundâncias de Mg, Si e Ca (obtidas através de larguras equivalentes de linhas atômicas) de estrelas não evoluídas pobres em metais de Reggiani et al. (2017). E por fim, valores de C e O, obtidos por uma análise 3D NLTE em

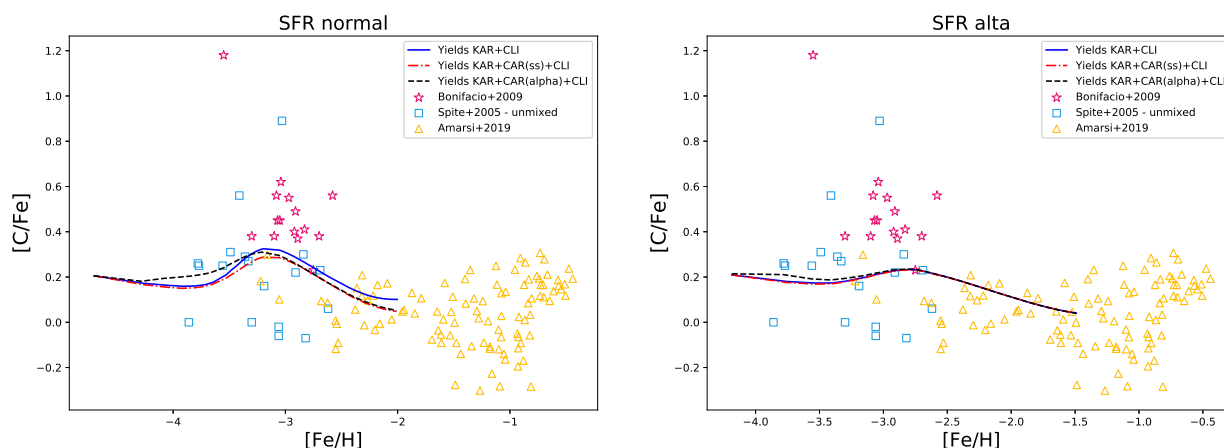


Figura 4.38: $[C/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ para os três modelos distintos (como explicado no texto). O modelo 1 é representado pela linha azul sólida, o modelo 2 é exibido pelo ponto e linha vermelhos e a linha tracejada preta mostra o modelo 3. O painel esquerdo mostra os modelos construídos usando uma taxa de formação estelar normal e o painel direito apresenta os mesmos modelos com taxa de formação estelar alta. Estrelas rosas apresentam dados observados de Bonifacio et al. (2007), quadrados azuis mostram medidas de Spite et al. (2005) e os triângulos amarelos exibem dados de Amarsi et al. (2019).

linhas atômicas de estrelas F e G (excluímos as estrelas classificadas como pertencentes ao disco fino e espesso), foram adquiridos de Amarsi et al. (2019).

A Figura 4.38 apresenta o resultado para os três modelos de evolução química da Galáxia para o C. A comparação entre os modelos 1 e 2 mostra uma discrepância entre estes quando usamos a SFR normal, o que não acontece quando adotamos uma SFR alta. Para o caso de SFR normal, o modelo 3 também difere do modelo 2, sugerindo que para o C (elemento fortemente produzido por estrelas AGB) é importante considerarmos o enriquecimento- α em modelos de evolução química galácticos. Já para o caso com SFR alta, a diferença entre os modelos 2 e 3 só acontece para $[Fe/H] \lesssim -3.0$. Embora haja diferenças entre os modelos com dados escalonados para o padrão solar e o modelo considerando o enriquecimento- α , o espalhamento nos dados obtidos por observações nos impossibilita de concluirmos algo.

Os modelos de evolução química da Galáxia para o N são apresentados na Figura 4.39. Tanto para o caso com SFR normal quanto para o caso com SFR alta, os três modelos diferem consideravelmente entre si, tornando o N um dos melhores elementos para restringir modelos. Infelizmente a complexidade de se obter abundâncias do N dificulta a tarefa de

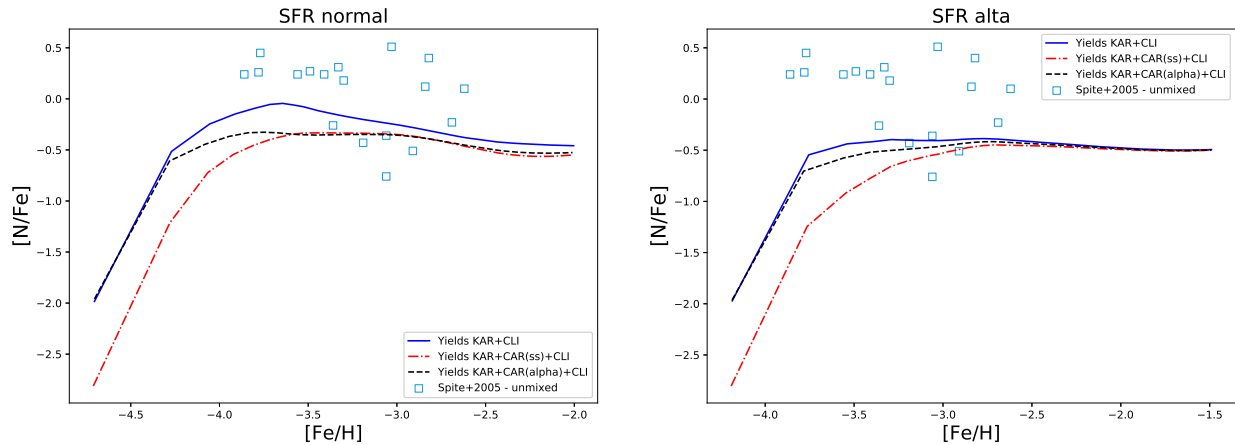


Figura 4.39: $[N/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ para os três modelos distintos (como descrito na Figura 4.38). Quadrados azuis exibem dados observados de Spite et al. (2005).

comparação de dados observados e modelos teóricos.

A Figura 4.40 exibe os resultados para $[O/Fe]$ em função de $[Fe/H]$; há quase nenhuma diferença entre os três modelos mostrados aqui, pois estrelas AGB não são as principais responsáveis pela produção de O na Galáxia. No entanto, podemos notar a grande discrepância entre os dados observados e os modelos (tanto para SFR alta quanto para SFR normal).

A razão $[Mg/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ é apresentada na Figura 4.41. Apesar do Mg ser considerado como um elemento α , a diferença entre os modelos 2 e 3 é pequena (principalmente para SFR alta). Embora haja um espalhamento considerável nos dados observacionais de $[Mg/Fe]$, estes seguem a tendência indicada pelos modelos de evolução química galácticos. Vale notar, especialmente, que os dados de Reggiani et al. (2017) concordam muito bem com os modelos com SFR alta.

A Figura 4.42 mostra a razão $[Si/Fe]$ em função de $[Fe/H]$, onde podemos notar que os modelos 2 e 3 diferem entre si para $[Fe/H] \lesssim -3.0$ (independentemente da SFR); infelizmente essa diferença é pequena quando a comparamos ao espalhamento nos dados observados. Ademais, os modelos predizem valores mais altos de $[Si/Fe]$ do que os medidos em estrelas anãs.

Finalmente, a Figura 4.43 apresenta a razão $[Ca/Fe]$ em função de $[Fe/H]$. A diferença entre os modelos 2 e 3 ocorre, novamente, para $[Fe/H] \lesssim -3.0$, mas, lamentavelmente, a

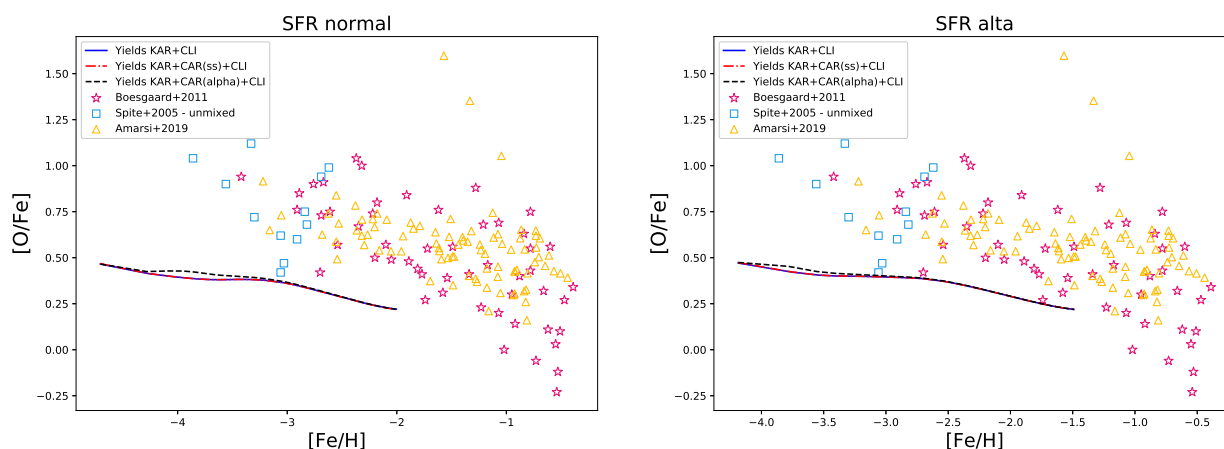


Figura 4.40: $[O/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ para os três modelos distintos (como descrito na Figura 4.38). As medidas de Boesgaard et al. (2011) são mostradas pelas estrelas rosas, quadrados azuis exibem dados observados de Spite et al. (2005) e triângulos amarelos mostram medidas de Amarsi et al. (2019).

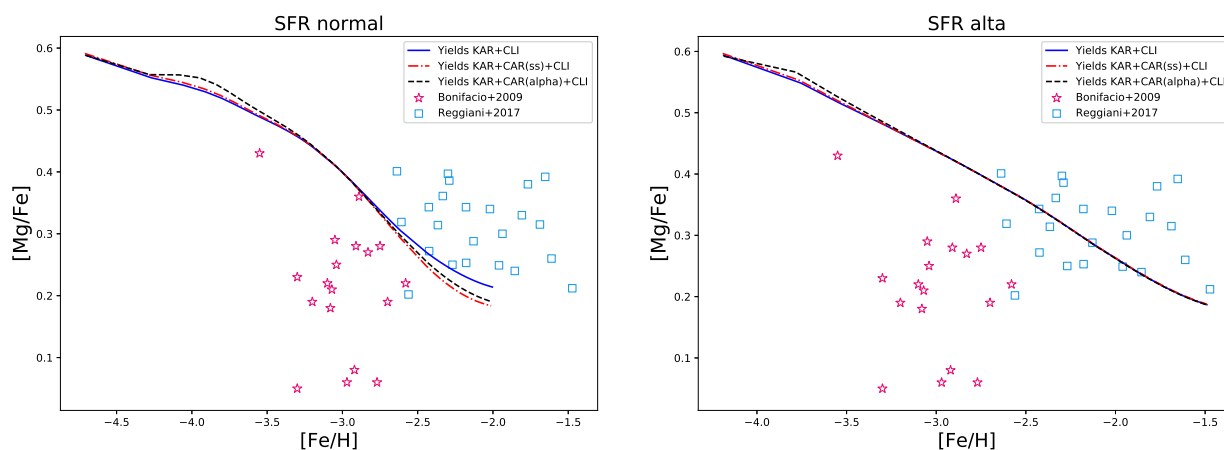


Figura 4.41: $[Mg/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ para os três modelos distintos (como descrito na Figura 4.38). Quadrados azuis exibem dados observados de Reggiani et al. (2017) e estrelas rosas apresentam medidas de Bonifacio et al. (2009).

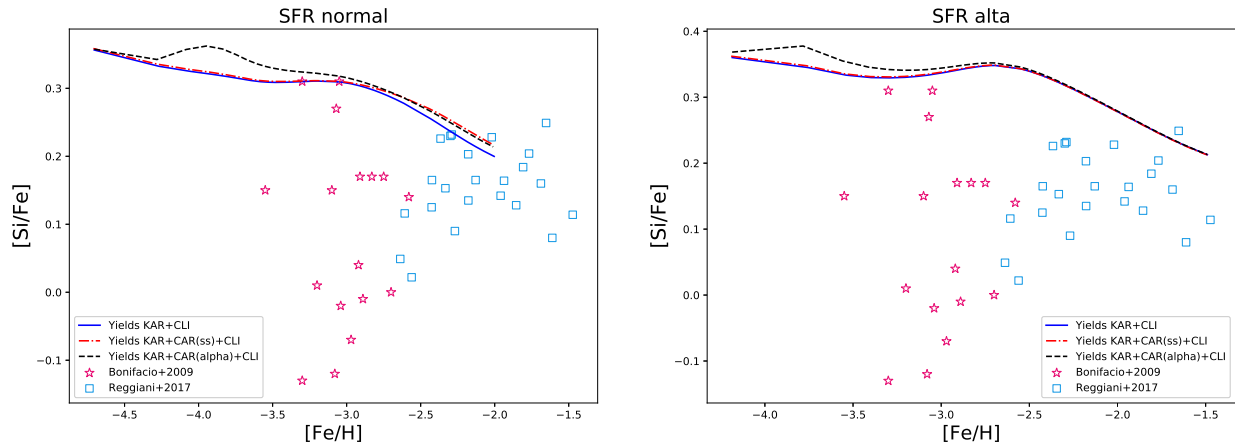


Figura 4.42: $[\text{Si}/\text{Fe}]$ em função de $[\text{Fe}/\text{H}]$ para os três modelos distintos (como descrito na Figura 4.38). Quadrados azuis exibem dados observados de Reggiani et al. (2017) e estrelas rosas apresentam medidas de Bonifacio et al. (2009).

diferença entre esses modelos é menor do que o espalhamento encontrado nas medidas de $[\text{Ca}/\text{Fe}]$. Por outro lado, apesar do grande espalhamento, os dados observados concordam com os modelos para ambas as SFR.

Nas Figuras 4.38 e 4.39, podemos notar uma diferença grande entre os modelos 1 e 2, principalmente para SFR normal. O resultado é inesperado já que ambos os modelos têm *yields* escalonados para o padrão solar. Uma das possíveis causas para essas discrepâncias entre os modelos 1 e 2 provavelmente está na diferença entre os *yields* apresentados aqui e os *yields* de Karakas (2010). Por exemplo, o parâmetro α da teoria do comprimento de mistura é diferente nos dois trabalhos, diferentes taxas de perda de massa para estrelas de massa intermediária, diferentes abundâncias solares adotadas e diferentes valores para a zona parcial de mistura (pacotes de ^{13}C). Todas essas pequenas diferenças podem ser responsáveis pela desigualdade encontrada entre os modelos 1 e 2.

Podemos concluir que o elemento N apresenta maiores alterações entre os modelos 2 e 3 (escalonado para o padrão solar em comparação ao com enriquecimento- α), pois estrelas AGB são importantes locais para a produção desta espécie.

Concluimos também que apesar da diferença encontrada entre os modelos 2 e 3 para alguns elementos, a complexidade de se obter dados observacionais (e o espalhamento ligado a eles) não torna a adoção de *yields* com enriquecimento- α totalmente necessária. Entre

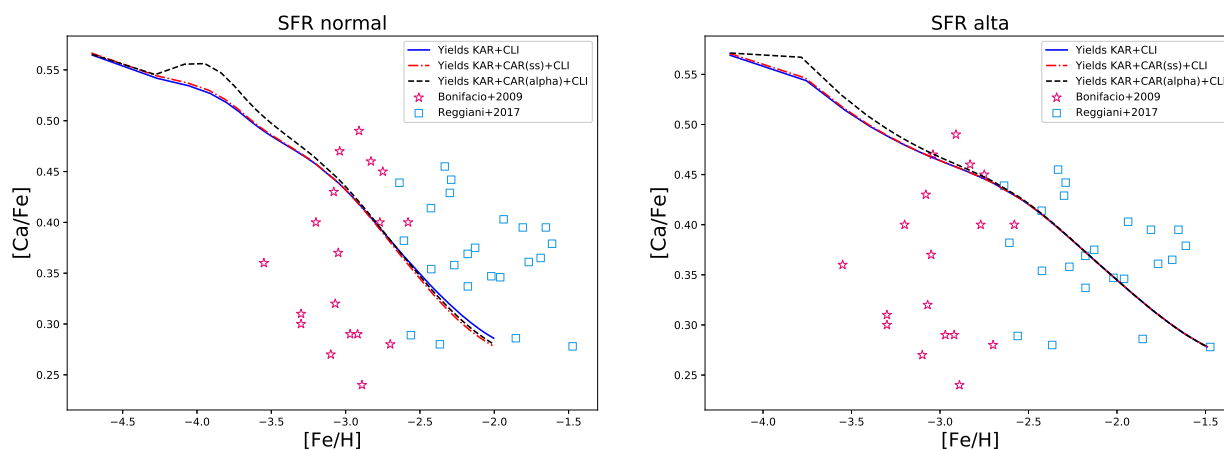


Figura 4.43: $[Ca/Fe]$ em função de $[Fe/H]$ para os três modelos distintos (como descrito na Figura 4.38). Quadrados azuis exibem dados observados de Reggiani et al. (2017) e estrelas rosas apresentam medidas de Bonifacio et al. (2009).

todas as incertezas envolvidas nos cálculos de *yields* estelares, a diferença encontrada entre os modelos com e sem enriquecimento- α é pequena e pode ser negligenciada. No futuro, seria importante expandir os resultados aqui apresentados para elementos mais pesados.

Conclusões e Perspectivas

Durante o doutorado conseguimos aplicar técnicas de análise para espectros de alta resolução para melhor compreendermos tanto a evolução estelar de estrelas similares ao Sol, como a evolução química da nossa galáxia usando estrelas anãs pobres em metais. Além disso, construímos um conjunto de modelos de evolução estelar para estrelas pobres em metais com metalicidades específicas para determinar *yields* de espécies produzidas principalmente durante a fase tp-AGB.

Mais de 80 espectros de gêmeas solares (85 do campo na vizinhança solar e 3 do aglomerado aberto M67) com alta resolução e excelente sinal-ruído foram analisados. Obtivemos as abundâncias de Li para cada estrela, com alta precisão (erro típico de ~ 0.06 dex), através do método de síntese espectral. Encontramos que o principal fator para a depleção de Li em gêmeas solares é a idade; conforme essas estrelas envelhecem, elas queimam gradativamente o Li presente em suas atmosferas devido a movimentos convectivos, assim como movimentos extras de mistura ainda não entendidos completamente; outros fatores como presença de planetas e rotação, são secundários. Grande parte da amostra segue bem a relação entre depleção de Li e idade, à exceção das seguintes estrelas: HIP 27058, HIP 54582, HIP 64673, HIP 83276, HIP 54287 e 16 Cyg A.

Mostramos que nossa amostra de gêmeas solares é razoavelmente homogênea em massa e $[\text{Fe}/\text{H}]$ para estrelas com idade $\gtrsim 2$ Gano, acarretando em uma distribuição homogênea também para as massas dos envelopes convectivos. Apenas as gêmeas solares HIP 27058, HIP 54582, HIP 64673, HIP 83276 apresentaram massa do envelope convectivo menor do que o esperado para suas idades em relação a outras gêmeas solares, o que pode explicar porque essas estrelas são ricas em Li em comparação ao restante da amostra. Já as estrelas HIP 54287 e 16 Cyg A apresentam massas regulares para seus respectivos envelopes

convectivos e, mesmo assim, apresentam altos valores de $A(\text{Li})$. A explicação para a quantidade de Li presente nessas duas últimas estrelas citadas é desconhecida, mas pode estar ligada a algum evento de acreção de planetas.

Outro resultado importante desse trabalho foi constatar que o Sol é pobre em Li comparado com outras estrelas de idades similares ($\sim 2\sigma$ mais pobre em Li quando comparado ao ajuste feito com estrelas de $0.98 \leq M/M_{\odot} \leq 1.02$ da amostra 2), apesar do Sol apresentar rotação e atividade típicas comparado a gêmeas solares de mesma idade. Para tentarmos entender a razão do Sol ter tão baixo conteúdo de Li, estudamos a possível conexão entre os resíduos de Li e a inclinação dos ajustes de T_{cond} ; encontramos uma possível correlação entre esses dois parâmetros (coeficiente do teste de *Spearman* $r_s = 0.47$) indicando que estrelas com menores abundâncias de elementos refratários podem conter menos Li, sugerindo que o baixo conteúdo de Li no Sol pode estar ligado à presença de planetas rochosos e à configuração do Sistema Solar.

Encontramos também que os espalhamentos de $A(\text{Li})$ para uma dada idade, estimados pelo desvio padrão das abundâncias de Li em bins de 1 Gano, e calculados de forma independente para as três amostras de gêmeas solares, são extremamente parecidos (da ordem de ~ 0.2 dex). A causa desse espalhamento ainda é incerta, mas pode ser devido ao fato destas estrelas não serem estritamente idênticas, mas terem diferentes características, como por exemplo, períodos rotacionais, metalicidades e pequenas diferenças em massa. Assim, a perspectiva é estudar mais gêmeas solares em diferentes aglomerados abertos para tentarmos entender melhor o papel dos parâmetros citados na depleção de Li.

Também investigamos oito estrelas anãs K do halo da nossa galáxia para melhor entendermos como esta se formou e como evoluiu quimicamente. Para isso, as abundâncias químicas de Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Ce, Nd, Sm e Dy foram obtidas através do método de larguras equivalentes, enquanto medimos os elementos C, Li e Eu por síntese espectral.

Devido às baixas temperaturas de nossa amostra de estrelas anãs do halo, encontramos abundâncias de Li significativamente inferiores ao “*Spite plateau*”; nossos resultados estão em razoável acordo com dados da literatura. As abundâncias de $[\text{C}/\text{Fe}] < 1$ indicam que não há nenhuma estrela pobre em metais enriquecidas em carbono (CEMP) na nossa amostra. A grande maioria das abundâncias elementais obtidas para os nossos dados se comparam bem com os estudos de outras amostras de estrelas do halo presentes

na literatura. Nossa estrela de comparação, HD 163810, difere em 0.03 dex em $[\alpha/\text{Fe}]$ em comparação com a medida da mesma estrela feita por [Nissen e Schuster \(2010\)](#). Comparando nossos resultados com o trabalho citado acima, encontramos que nossa amostra é composta por estrelas que se distribuem entre os grupos *low-alpha* e *high-alpha*.

Já a estrela LHS 173 é pobre em elementos α quando comparada a dados da literatura. Essa estrela apresenta abundâncias relativamente mais baixas de Mg, Ca e K, e conteúdo elevado de Al, Sc, Co, Ni e Zn, em comparação com a nossa amostra e dados da literatura.

O diagrama de Toomre confirma que as anãs K estudadas aqui pertencem ao halo da Via Láctea. A cinemática da estrela LHS 173 é compatível com o halo externo da Galáxia, sugerindo que, provavelmente, ela não foi formada na Via Láctea mas sim agregada de alguma galáxia anã satélite, como sugerido também pelo seu padrão de abundâncias.

Além disso, medimos as razões isotópicas de Mg para as anãs K G078-026, G128-061, G185-030, G189-045, LHS 3780 e LHS 173. Analisamos a razão $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ para compreendermos quando as estrelas AGB começaram a contribuir para o enriquecimento químico da Galáxia. A anã LHS 173 apresentou valor de $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}$ muito mais alto do que o esperado para uma estrela de sua metalicidade e foi excluída dessa análise (outro indício de anomalias nessa estrela, e sugerindo que ela não foi formada na Via Láctea).

Nossos resultados indicam que a partir de $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1.4$, as estrelas AGB começaram a contribuir para a evolução química da Via Láctea. Um novo modelo de evolução química da Galáxia foi calculado para reproduzir nossos dados, nos levando à uma escala de tempo máxima de formação do halo galáctico de ~ 1.5 Gano.

Por fim, calculamos modelos de evolução estelar e *yields* de estrelas de baixa massa e massa intermediária para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ com $[\alpha/\text{Fe}] \approx 0.30$, para estudarmos a importância da adoção, ou não, do enriquecimento- α nos cálculos teóricos que envolvem a evolução química da Galáxia. Para isso utilizamos a versão da Monash University do código de estrutura estelar do Mount Stromlo (Australian National University).

Além de estudarmos os efeitos da diferença na composição química dos modelos estudados, também analisamos como distintas prescrições para taxa de perda de massa (\dot{M}) afetam as abundâncias superficiais finais. No caso de $M = 3.0 M_{\odot}$, a maior diferença entre os dois casos de \dot{M} usados acontece para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$, muito provavelmente porque estes apresentam maior discrepância no número de pulsos térmicos entre os cenários de distintos

M do que os modelos de maior metalicidade ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$).

Quando comparamos as abundâncias superficiais finais de um modelo de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar e outro com enriquecimento- α , encontramos uma diferença mínima para as espécies mais pesadas (do Ga ao Bi), já para os elementos mais leves podemos observar que a abundância superficial final é geralmente maior para os modelos com enriquecimento- α , para aqueles elementos que tiveram suas abundâncias iniciais modificadas para contemplar o enriquecimento- α . Podemos observar também que os *yields* apresentam pequenas discrepâncias para C e N entre os casos escalonado para o padrão solar e com enriquecimento- α , enquanto não há distinção dos *yields* dos elementos do processo-s nesses dois cenários. Como esperado, e observado nos *yields* finais, há grande produção de C, N e F; as maiores produções de Sr, Y, Ba, La e Pb ocorrem para modelos com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$. Estrelas que experienciam HBB não conseguem fabricar elementos pesados do processo-s (Ba, La, Pb, entre outros).

Foram calculados modelos de evolução química da Galáxia com os *yields* apresentados aqui, para comparação com modelos que tenham *yields* da literatura; não encontramos nenhuma diferença na MDF do halo nos três modelos. Dentre os elementos estudados, observamos que o N apresenta maiores alterações entre os modelos 2 e 3, resultado que faz sentido já que estrelas AGB são as maiores produtoras dessa espécie, e qualquer diferença pequena nos *yields* pode afetar os modelos de evolução química da Galáxia.

Apesar de encontrarmos diferenças entre alguns elementos causadas pelos diferentes *yields* adotados, o espalhamento encontrado nos dados observacionais não nos possibilita restringir quais os melhores modelos. Ademais, entre todas as incertezas envolvidas nos cálculos de *yields* estelares, a diferença encontrada entre os modelos com e sem enriquecimento- α é pequena e pode ser negligenciada. Ainda assim, temos como perspectiva expandir os modelos de evolução química da Galáxia para os elementos mais pesados.

A tese de doutorado resultou em quatro artigos como primeira autora, publicados em revistas internacionais arbitradas (Carlos et al., 2016; Carlos et al., 2018; Carlos et al., 2019, 2020), e outros dois artigos estão sendo preparados como primeira autora, sobre as abundâncias químicas de estrelas anãs K pobres em metais (Capítulo 3) e a nucleossíntese em estrelas de massa intermediária (Capítulo 4).

Referências Bibliográficas

- Aguilera-Gómez C., Chanamé J., Pinsonneault M. H., Carlberg J. K., On Lithium-rich Red Giants. I. Engulfment of Substellar Companions, *ApJ*, 2016, vol. 829, p. 127
- Alibés A., Labay J., Canal R., Galactic chemical abundance evolution in the solar neighborhood up to the iron peak, *Astronomy & Astrophysics*, 2001, vol. 370, p. 1103
- Althaus L. G., Córscico A. H., Isern J., García-Berro E., Evolutionary and pulsational properties of white dwarf stars, *A&A Rev.*, 2010, vol. 18, p. 471
- Amarsi A. M., Nissen P. E., Skúladóttir Á., Carbon, oxygen, and iron abundances in disk and halo stars. Implications of 3D non-LTE spectral line formation, *A&A*, 2019, vol. 630, p. A104
- Andrássy R., Spruit H. C., Convective settling in main sequence stars: Li and Be depletion, *A&A*, 2015, vol. 579, p. A122
- Aoki W., Barklem P. S., Beers T. C., Christlieb N., Inoue S., García Pérez A. E., Norris J. E., Carollo D., Lithium Abundances of Extremely Metal-Poor Turnoff Stars, *ApJ*, 2009, vol. 698, p. 1803
- Arnett W. D., Thielemann F.-K., Hydrostatic nucleosynthesis. I - Core helium and carbon burning., *ApJ*, 1985, vol. 295, p. 589
- Arnould M., Goriely S., Jorissen A., Non-explosive hydrogen and helium burnings: abundance predictions from the NACRE reaction rate compilation, *A&A*, 1999, vol. 347, p. 572

- Arnould M., Goriely S., Takahashi K., The r-process of stellar nucleosynthesis: Astrophysics and nuclear physics achievements and mysteries, *Phys. Rep.*, 2007, vol. 450, p. 97
- Asplund M., Grevesse N., Sauval A. J., Scott P., The Chemical Composition of the Sun, *ARA&A*, 2009, vol. 47, p. 481
- Asplund M., Lambert D. L., Nissen P. E., Primas F., Smith V. V., Lithium Isotopic Abundances in Metal-poor Halo Stars, *ApJ*, 2006, vol. 644, p. 229
- Aver E., Olive K. A., Porter R. L., Skillman E. D., The primordial helium abundance from updated emissivities, *J. Cosmology Astropart. Phys.*, 2013, vol. 2013, p. 017
- Ballot J., Brun A. S., Turck-Chièze S., Simulations of Turbulent Convection in Rotating Young Solarlike Stars: Differential Rotation and Meridional Circulation, *ApJ*, 2007, vol. 669, p. 1190
- Balsler D. S., The Chemical Evolution of Helium, *AJ*, 2006, vol. 132, p. 2326
- Barbuy B., Magnesium isotopes in moderately metal-poor stars, *A&A*, 1985, vol. 151, p. 189
- Barbuy B., Magnesium isotopes in super-metal-rich stars, *A&A*, 1987, vol. 172, p. 251
- Barbuy B., Spite F., Spite M., Magnesium isotopes in metal-poor and metal-rich stars, *A&A*, 1987, vol. 178, p. 199
- Barnes S. A., Ages for Illustrative Field Stars Using Gyrochronology: Viability, Limitations, and Errors, *ApJ*, 2007, vol. 669, p. 1167
- Barnes S. A., Weingrill J., Fritzewski D., Strassmeier K. G., Platais I., Rotation Periods for Cool Stars in the 4 Gyr old Open Cluster M67, The Solar-Stellar Connection, and the Applicability of Gyrochronology to at least Solar Age, *ApJ*, 2016, vol. 823, p. 16
- Battino U., Tattersall A., Lederer-Woods C., Herwig F., Denissenkov P., Hirschi R., Trap-pitsch R., den Hartogh J. W., Pignatari M., NuGrid Collaboration NuGrid stellar data set - III. Updated low-mass AGB models and s-process nucleosynthesis with metallicities $Z = 0.01$, $Z = 0.02$, and $Z = 0.03$, *MNRAS*, 2019, vol. 489, p. 1082

- Baumann P., Ramírez I., Meléndez J., Asplund M., Lind K., Lithium depletion in solar-like stars: no planet connection, *A&A*, 2010, vol. 519, p. A87
- Beck P. G., do Nascimento Jr. J.-D., Duarte T., Salabert D., Tkachenko A., Mathis S., Mathur S., García R. A., Castro M., Pallé P. L., Egeland R., Montes D., Creevey O., Andersen M. F., Kamath D., van Winckel H., Lithium abundance and rotation of seismic solar analogues. Solar and stellar connection from Kepler and Hermes observations, *A&A*, 2017, vol. 602, p. A63
- Bedell M., Bean J. L., Meléndez J., Spina L., Ramírez I., Asplund M., Alves-Brito A., dos Santos L., Dreizler S., Yong D., Monroe T., Casagrande L., The Chemical Homogeneity of Sun-like Stars in the Solar Neighborhood, *ApJ*, 2018, vol. 865, p. 68
- Bedell M., Meléndez J., Bean J. L., Ramírez I., Asplund M., Alves-Brito A., Casagrande L., Dreizler S., Monroe T., Spina L., Tucci Maia M., The Solar Twin Planet Search. II. A Jupiter twin around a solar twin, *A&A*, 2015, vol. 581, p. A34
- Bedell M., Meléndez J., Bean J. L., Ramírez I., Leite P., Asplund M., Stellar Chemical Abundances: In Pursuit of the Highest Achievable Precision, *ApJ*, 2014, vol. 795, p. 23
- Beers T. C., Christlieb N., The Discovery and Analysis of Very Metal-Poor Stars in the Galaxy, *ARA&A*, 2005, vol. 43, p. 531
- Belokurov V., Erkal D., Evans N. W., Koposov S. E., Deason A. J., Co-formation of the disc and the stellar halo, *MNRAS*, 2018, vol. 478, p. 611
- Bensby T., Feltzing S., Lundström I., Oxygen trends in the Galactic thin and thick disks, *A&A*, 2004, vol. 415, p. 155
- Bensby T., Lind K., Exploring the production and depletion of lithium in the Milky Way stellar disk, *A&A*, 2018, vol. 615, p. A151
- Bergemann M., Cescutti G., Chromium: NLTE abundances in metal-poor stars and nucleosynthesis in the Galaxy, *A&A*, 2010, vol. 522, p. A9
- Bloeker T., Stellar evolution of low and intermediate-mass stars. I. Mass loss on the AGB and its consequences for stellar evolution., *A&A*, 1995, vol. 297, p. 727

- Boesgaard A. M., Rich J. A., Levesque E. M., Bowler B. P., Beryllium and Alpha-element Abundances in a Large Sample of Metal-poor Stars, *ApJ*, 2011, vol. 743, p. 140
- Bonifacio P., Caffau E., Spite M., Limongi M., Chieffi A., Klessen R. S., François P., Molaro P., Ludwig H. G., Zaggia S., et al., TOPoS . II. On the bimodality of carbon abundance in CEMP stars Implications on the early chemical evolution of galaxies, *A&A*, 2015, vol. 579, p. A28
- Bonifacio P., Molaro P., Sivarani T., Cayrel R., Spite M., Spite F., Plez B., Andersen J., Barbuy B., Beers T. C., Depagne E., Hill V., François P., Nordström B., Primas F., First stars VII - Lithium in extremely metal poor dwarfs, *A&A*, 2007, vol. 462, p. 851
- Bonifacio P., Sbordone L., Caffau E., Ludwig H. G., Spite M., González Hernández J. I., Behara N. T., Chemical abundances of distant extremely metal-poor unevolved stars, *A&A*, 2012, vol. 542, p. A87
- Bonifacio P., Spite M., Cayrel R., Hill V., Spite F., François P., Plez B., Ludwig H. G., Caffau E., Molaro P., Depagne E., Andersen J., Barbuy B., Beers T. C., Nordström B., Primas F., First stars XII. Abundances in extremely metal-poor turnoff stars, and comparison with the giants, *A&A*, 2009, vol. 501, p. 519
- Bragaglia A., Fu X., Mucciarelli A., Andreuzzi G., Donati P., The chemical composition of the oldest nearby open cluster Ruprecht 147, *A&A*, 2018, vol. 619, p. A176
- Brook C. B., Kawata D., Gibson B. K., Gallart C., Vicente A., Explaining the chemical trajectories of accreted and in-situ halo stars of the Milky Way, *MNRAS*, 2020, vol. 495, p. 2645
- Brown B. P., Browning M. K., Brun A. S., Miesch M. S., Toomre J., Rapidly Rotating Suns and Active Nests of Convection, *ApJ*, 2008, vol. 689, p. 1354
- Butler R. P., Wright J. T., Marcy G. W., Fischer D. A., Vogt S. S., Tinney C. G., Jones H. R. A., Carter B. D., Johnson J. A., McCarthy C., Penny A. J., Catalog of Nearby Exoplanets, *ApJ*, 2006, vol. 646, p. 505
- Caffau E., Bonifacio P., François P., Sbordone L., Monaco L., Spite M., Spite F., Ludwig H.-G., Cayrel R., Zaggia S., et al., An extremely primitive star in the Galactic halo, *Nature*, 2011, vol. 477, p. 67

- Cannon R. C., Massive Thorne-Żytkow Objects - Structure and Nucleosynthesis, MNRAS, 1993, vol. 263, p. 817
- Carlos M., Análise química diferencial detalhada de estrelas de tipo solar pobres em metais com e sem planetas, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, BRASIL, 2015, Dissertação de Mestrado
- Carlos M., Karakas A. I., Cohen J. G., Kobayashi C., Meléndez J., A Formation Timescale of the Galactic Halo from Mg Isotopes in Dwarf Stars, The Astrophysical Journal, 2018, vol. 856, p. 161
- Carlos M., Meléndez J., do Nascimento J.-D., Castro M., Li abundances for solar twins in the open cluster M67, MNRAS, 2020, vol. 492, p. 245
- Carlos M., Meléndez J., Spina L., dos Santos L. A., Bedell M., Ramirez I., Asplund M., Bean J. L., Yong D., Yana Galarza J., Alves-Brito A., The Li-age correlation: the Sun is unusually Li deficient for its age, MNRAS, 2019, vol. 485, p. 4052
- Carlos M., Nissen P. E., Meléndez J., Correlation between lithium abundances and ages of solar twin stars, A&A, 2016, vol. 587, p. A100
- Carollo D., Beers T. C., Lee Y. S., Chiba M., Norris J. E., Wilhelm R., Sivarani T., Marsteller B., Munn J. A., Bailer-Jones C. A. L., Fiorentin P. R., York D. G., Two stellar components in the halo of the Milky Way, Nature, 2007, vol. 450, p. 1020
- Carroll B. W., Ostlie D. A., An introduction to modern astrophysics. Pearson Addison Wesley, 2007
- Casagrande L., Ramírez I., Meléndez J., Bessell M., Asplund M., An absolutely calibrated T_{eff} scale from the infrared flux method. Dwarfs and subgiants, A&A, 2010, vol. 512, p. A54
- Casey A. R., Ho A. Y. Q., Ness M., Hogg D. W., Rix H.-W., Angelou G. C., Hekker S., Tout C. A., Lattanzio J. C., Karakas A. I., Woods T. E., Price-Whelan A. M., Schlaufman K. C., Tidal Interactions between Binary Stars Can Drive Lithium Production in Low-mass Red Giants, ApJ, 2019, vol. 880, p. 125

- Casey A. R., Ruchti G., Masseron T., Randich S., Gilmore G., Lind K., Kennedy G. M., Koposov S. E., Hourihane A., Franciosini E., Lewis J., Magrini L., Morbidelli L., Sacco G. G., Worley C. C., Feltzing S., Jeffries R. D., et al., The Gaia-ESO Survey: revisiting the Li-rich giant problem, *MNRAS*, 2016, vol. 461, p. 3336
- Castelli F., Kurucz R. L., New Grids of ATLAS9 Model Atmospheres. In *Modelling of Stellar Atmospheres*, vol. 210 of IAU Symposium, 2003, p. A20
- Castilho B. V., Barbuy B., Gregorio-Hetem J., Analysis of the moderately Li-rich giant HD 146850., *A&A*, 1995, vol. 297, p. 503
- Castilho B. V., Gregorio-Hetem J., Spite F., Spite M., Barbuy B., Li-rich giants: A survey based on IRAS colours, *A&AS*, 1998, vol. 127, p. 139
- Castilho B. V., Spite F., Barbuy B., Spite M., de Medeiros J. R., Gregorio-Hetem J., Beryllium abundance in lithium-rich giants, *A&A*, 1999, vol. 345, p. 249
- Castro M., Do Nascimento J. D. J., Biazzo K., Meléndez J., de Medeiros J. R., Solar twins in M 67: evolutionary status and lithium abundance, *A&A*, 2011, vol. 526, p. A17
- Castro M., Vauclair S., Richard O., Santos N. C., Lithium abundances in exoplanet-host stars: modelling, *A&A*, 2009, vol. 494, p. 663
- Cescutti G., Molaro P., ^7Li evolution in the thin and thick discs of the Milky Way, *MNRAS*, 2019, vol. 482, p. 4372
- Chaboyer B., Demarque P., Pinsonneault M. H., Stellar Models with Microscopic Diffusion and Rotational Mixing. II. Application to Open Clusters, *ApJ*, 1995, vol. 441, p. 876
- Charbonnel C., Clues for non-standard mixing on the red giant branch from $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ and $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ ratios in evolved stars., *A&A*, 1994, vol. 282, p. 811
- Charbonnel C., Lagarde N., Jasniewicz G., North P. L., Shetrone M., Krugler Hollek J., Smith V. V., Smiljanic R., Palacios A., Ottoni G., Lithium in red giant stars: Constraining non-standard mixing with large surveys in the Gaia era, *A&A*, 2020, vol. 633, p. A34
- Charbonnel C., Primas F., The lithium content of the Galactic Halo stars, *A&A*, 2005, vol. 442, p. 961

- Charbonnel C., Talon S., Influence of Gravity Waves on the Internal Rotation and Li Abundance of Solar-Type Stars, *Science*, 2005, vol. 309, p. 2189
- Chen Y. Q., Zhao G., The puzzling abundance pattern of HD134439 and HD134440, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2006, vol. 370, p. 2091
- Chene A.-N., Padzer J., Barrick G., Anthony A., Benedict T., Duncan D., Gigoux P., Kleinman S., Malo L., Martioli E., et al., GRACES: Gemini remote access to CFHT ES-PaDOnS spectrograph through the longest astronomical fiber ever made: experimental phase completed. In *Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation*, vol. 9151 of Proc. SPIE, 2014, p. 915147
- Chiappini C., Matteucci F., Gratton R., The Chemical Evolution of the Galaxy: The Two-Infall Model, *ApJ*, 1997, vol. 477, p. 765
- Chiba M., Yoshii Y., Early evolution of the Galactic halo revealed from Hipparcos observations of metal-poor stars, *AJ*, 1998, vol. 115, p. 168
- Chieffi A., Limongi M., Explosive Yields of Massive Stars from $Z = 0$ to $Z = Z_{solar}$, *ApJ*, 2004, vol. 608, p. 405
- Cristallo S., Abia C., Straniero O., Piersanti L., On the Need for the Light Elements Primary Process (LEPP), *ApJ*, 2015, vol. 801, p. 53
- Cristallo S., Karinkuzhi D., Goswami A., Piersanti L., Gobrecht D., Constraints of the Physics of Low-mass AGB Stars from CH and CEMP Stars, *ApJ*, 2016, vol. 833, p. 181
- Cristallo S., Piersanti L., Straniero O., Gallino R., Domínguez I., Abia C., Di Rico G., Quintini M., Bisterzo S., Evolution, Nucleosynthesis, and Yields of Low-mass Asymptotic Giant Branch Stars at Different Metallicities. II. The FRUITY Database, *ApJS*, 2011, vol. 197, p. 17
- Cristallo S., Straniero O., Gallino R., Piersanti L., Domínguez I., Lederer M. T., Evolution, Nucleosynthesis, and Yields of Low-Mass Asymptotic Giant Branch Stars at Different Metallicities, *ApJ*, 2009, vol. 696, p. 797
- Cristallo S., Straniero O., Lederer M. T., Aringer B., Molecular Opacities for Low-Mass Metal-poor AGB Stars Undergoing the Third Dredge-up, *ApJ*, 2007, vol. 667, p. 489

- Cristallo S., Straniero O., Piersanti L., Gobrecht D., Evolution, Nucleosynthesis, and Yields of AGB Stars at Different Metallicities. III. Intermediate-mass Models, Revised Low-mass Models, and the ph-FRUIITY Interface, *ApJS*, 2015, vol. 219, p. 40
- Cutri R. M., Skrutskie M. F., van Dyk S., Beichman C. A., Carpenter J. M., Chester T., Cambresy L., Evans T., Fowler J., Gizis J., et al., 2MASS All Sky Catalog of point sources., 2003
- Cyburt R. H., Fields B. D., Olive K. A., Yeh T.-H., Big bang nucleosynthesis: Present status, *Reviews of Modern Physics*, 2016, vol. 88, p. 015004
- de Bruijne J. H. J., Eilers A. C., Radial velocities for the HIPPARCOS-Gaia Hundred-Thousand-Proper-Motion project, *A&A*, 2012, vol. 546, p. A61
- de La Reza R., Drake N. A., da Silva L., Lithium Enrichment–Mass-Loss Connection in K Giant Stars, *ApJ*, 1996, vol. 456, p. L115
- de la Reza R., Drake N. A., da Silva L., Torres C. A. O., Martin E. L., On a Rapid Lithium Enrichment and Depletion of K Giant Stars, *ApJ*, 1997, vol. 482, p. L77
- Deepak Reddy B. E., Study of Lithium-rich giants with the GALAH spectroscopic survey, *MNRAS*, 2019, vol. 484, p. 2000
- Delgado Mena E., Israelian G., González Hernández J. I., Sousa S. G., Mortier A., Santos N. C., Adibekyan V. Z., Fernandes J., Rebolo R., Udry S., Mayor M., Li depletion in solar analogues with exoplanets. Extending the sample, *A&A*, 2014, vol. 562, p. A92
- Denissenkov P. A., A Model of Magnetic Braking of Solar Rotation that Satisfies Observational Constraints, *ApJ*, 2010, vol. 719, p. 28
- do Nascimento Jr. J. D., Castro M., Meléndez J., Bazot M., Théado S., Porto de Mello G. F., de Medeiros J. R., Age and mass of solar twins constrained by lithium abundance, *A&A*, 2009, vol. 501, p. 687
- do Nascimento Jr. J.-D., García R. A., Mathur S., Anthony F., Barnes S. A., Meibom S., da Costa J. S., Castro M., Salabert D., Ceillier T., Rotation Periods and Ages of Solar Analogs and Solar Twins Revealed by the Kepler Mission, *ApJ*, 2014, vol. 790, p. L23

- dos Santos L. A., Meléndez J., Bedell M., Bean J. L., Spina L., Alves-Brito A., Dreizler S., Ramírez I., Asplund M., Spectroscopic binaries in the Solar Twin Planet Search program: from substellar-mass to M dwarf companions, *MNRAS*, 2017, vol. 472, p. 3425
- dos Santos L. A., Meléndez J., do Nascimento J.-D., Bedell M., Ramírez I., Bean J. L., Asplund M., Spina L., Dreizler S., Alves-Brito A., Casagrande L., The Solar Twin Planet Search. IV. The Sun as a typical rotator and evidence for a new rotational braking law for Sun-like stars, *A&A*, 2016, vol. 592, p. A156
- Dray L. M., Tout C. A., Karakas A. I., Lattanzio J. C., Chemical enrichment by Wolf-Rayet and asymptotic giant branch stars, *MNRAS*, 2003, vol. 338, p. 973
- Edvardsson B., Andersen J., Gustafsson B., Lambert D. L., Nissen P. E., Tomkin J., The chemical evolution of the galactic disk. I. Analysis and results., *A&A*, 1993, vol. 500, p. 391
- Eggen O. J., Lynden-Bell D., Sandage A. R., Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed., *ApJ*, 1962, vol. 136, p. 748
- Fan X., Burstein D., Chen J. S., Zhu J., Jiang Z., Wu H., Yan H., Zheng Z., Zhou X., Fang L. Z., et al., Deep Wide-Field Spectrophotometry of the Open Cluster M67, *AJ*, 1996, vol. 112, p. 628
- Fenner Y., Gibson B. K., Lee H.-c., Karakas A. I., Lattanzio J. C., Chieffi A., Limongi M., Yong D., The Chemical Evolution of Magnesium Isotopic Abundances in the Solar Neighbourhood, *PASA*, 2003, vol. 20, p. 340
- Fields B. D., Olive K. A., Yeh T.-H., Young C., Big-Bang Nucleosynthesis after Planck, *J. Cosmology Astropart. Phys.*, 2020, vol. 2020, p. 010
- Fishlock C. K., Karakas A. I., Lugaro M., Yong D., Evolution and Nucleosynthesis of Asymptotic Giant Branch Stellar Models of Low Metallicity, *ApJ*, 2014, vol. 797, p. 44
- Fishlock C. K., Yong D., Karakas A. I., Alves-Brito A., Meléndez J., Nissen P. E., Kobayashi C., Casey A. R., Sc and neutron-capture abundances in Galactic low- and high- α field halo stars, *MNRAS*, 2017, vol. 466, p. 4672

- Ford A., Jeffries R. D., James D. J., Barnes J. R., Lithium in the Coma Berenices open cluster, *A&A*, 2001, vol. 369, p. 871
- Ford A., Jeffries R. D., Smalley B., Elemental abundances in the Blanco 1 open cluster, *MNRAS*, 2005, vol. 364, p. 272
- Frebel A., Collet R., Eriksson K., Christlieb N., Aoki W., HE 1327-2326, an Unevolved Star with $[Fe/H] \approx -5.0$. II. New 3D-1D Corrected Abundances from a Very Large Telescope UVES Spectrum, *ApJ*, 2008, vol. 684, p. 588
- Fu X., Romano D., Bragaglia A., Mucciarelli A., Lind K., Delgado Mena E., Sousa S. G., Randich S., Bressan A., Sbordone L., Martell S., Korn A. J., Abia C., et al., The Gaia-ESO Survey: Lithium enrichment histories of the Galactic thick and thin disc, *A&A*, 2018, vol. 610, p. A38
- Gaia Collaboration Babusiaux C., van Leeuwen F., Barstow M. A., Jordi C., Vallenari A., Bossini D., Bressan A., Cantat-Gaudin T., van Leeuwen M., Brown A. G. A., et al., Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell diagrams, *A&A*, 2018, vol. 616, p. A10
- Gaia Collaboration Brown A. G. A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J. H. J., Babusiaux C., Bailer-Jones C. A. L., Biermann M., Evans D. W., Eyer L., Jansen F., et al., Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties, *A&A*, 2018, vol. 616, p. A1
- Gaia Collaboration Brown A. G. A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J. H. J., Mignard F., Drimmel R., Babusiaux C., Bailer-Jones C. A. L., Bastian U., Biermann M., et al., Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties, *A&A*, 2016, vol. 595, p. A2
- Gallino R., Arlandini C., Busso M., Lugaro M., Travaglio C., Straniero O., Chieffi A., Limongi M., Evolution and Nucleosynthesis in Low-Mass Asymptotic Giant Branch Stars. II. Neutron Capture and the S-Process, *ApJ*, 1998, vol. 497, p. 388
- Gay P. L., Lambert D. L., The Isotopic Abundances of Magnesium in Stars, *ApJ*, 2000, vol. 533, p. 260

- Geisler D., Smith V. V., Wallerstein G., Gonzalez G., Charbonnel C., “Sculptor-ing” the Galaxy? The Chemical Compositions of Red Giants in the Sculptor Dwarf Spheroidal Galaxy, *AJ*, 2005, vol. 129, p. 1428
- Geller A. M., Latham D. W., Mathieu R. D., Stellar Radial Velocities in the Old Open Cluster M67 (NGC 2682). I. Memberships, Binaries, and Kinematics, *AJ*, 2015, vol. 150, p. 97
- Ghezzi L., Cunha K., Smith V. V., de la Reza R., Lithium Abundances in a Sample of Planet-hosting Dwarfs, *ApJ*, 2010, vol. 724, p. 154
- Ghezzi L., Cunha K., Smith V. V., Margheim S., Schuler S., de Araújo F. X., de la Reza R., Measurements of the Isotopic Ratio ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ in Stars with Planets, *ApJ*, 2009, vol. 698, p. 451
- Gonzalez G., A revised gyro-age for M67 from Kepler/K2-Campaign-5 light curves, *MNRAS*, 2016, vol. 463, p. 3513
- Gonzalez G., Carlson M. K., Tobin R. W., Parent stars of extrasolar planets - X. Lithium abundances and $v \sin i$ revisited, *MNRAS*, 2010, vol. 403, p. 1368
- González Hernández J. I., Bonifacio P., Ludwig H. G., Caffau E., Spite M., Spite F., Cayrel R., Molaro P., Hill V., François P., et al., First stars XI. Chemical composition of the extremely metal-poor dwarfs in the binary CS 22876-032, *A&A*, 2008, vol. 480, p. 233
- Goriely S., Siess L., S-process in hot AGB stars: A complex interplay between diffusive mixing and nuclear burning, *A&A*, 2004, vol. 421, p. L25
- Gray D. F., The observation and analysis of stellar photospheres. Cambridge University Press, 2005
- Gregorio-Hetem J., Castilho B. V., Barbuy B., IRAS colours of Li-rich giants., *A&A*, 1993, vol. 268, p. L25
- Groenewegen M. A. T., Sloan G. C., Soszyński I., Petersen E. A., Luminosities and mass-loss rates of SMC and LMC AGB stars and red supergiants, *A&A*, 2009, vol. 506, p. 1277

- Gustafsson B., Edvardsson B., Eriksson K., Jørgensen U. G., Nordlund Å., Plez B., A grid of MARCS model atmospheres for late-type stars. I. Methods and general properties, *A&A*, 2008, vol. 486, p. 951
- Hayes C. R., Majewski S. R., Shetrone M., Fernández-Alvar E., Allende Prieto C., Schuster W. J., Carigi L., Cunha K., Smith V. V., Sobeck et al., Disentangling the Galactic Halo with APOGEE. I. Chemical and Kinematical Investigation of Distinct Metal-poor Populations, *ApJ*, 2018, vol. 852, p. 49
- Helmi A., Babusiaux C., Koppelman H. H., Massari D., Veljanoski J., Brown A. G. A., The merger that led to the formation of the Milky Way's inner stellar halo and thick disk, *Nature*, 2018, vol. 563, p. 85
- Henry R. B. C., Edmunds M. G., Köppen J., On the Cosmic Origins of Carbon and Nitrogen, *ApJ*, 2000, vol. 541, p. 660
- Hollowell D., Iben Icko J., Nucleosynthesis of Solar System Material in a Low-Mass, Low-Metallicity Asymptotic Giant Branch Star, *ApJ*, 1988, vol. 333, p. L25
- 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, *A&A*, 2007, vol. 475, p. 519
- Iben Icko J., Stellar Evolution.VI. Evolution from the Main Sequence to the Red-Giant Branch for Stars of Mass $1 M_{\text{sun}}$, $1.25 M_{\text{sun}}$, and $1.5 M_{\text{sun}}$, *ApJ*, 1967, vol. 147, p. 624
- Iglesias C. A., Rogers F. J., Updated Opal Opacities, *ApJ*, 1996, vol. 464, p. 943
- Israelian G., Delgado Mena E., Santos N. C., Sousa S. G., Mayor M., Udry S., Domínguez Cerdeña C., Rebolo R., Randich S., Enhanced lithium depletion in Sun-like stars with orbiting planets, *Nature*, 2009, vol. 462, p. 189
- Izzo L., Della Valle M., Mason E., Matteucci F., Romano D., Pasquini L., Vanzini L., Jordan A., Fernandez J. M., Bluhm P., Brahm R., Espinoza N., Williams R., Early

- Optical Spectra of Nova V1369 Cen Show the Presence of Lithium, *ApJ*, 2015, vol. 808, p. L14
- Izzo L., Molaro P., Bonifacio P., Della Valle M., Cano Z., de Ugarte Postigo A., Prieto J. L., Thöne C., Vanzi L., Zapata A., Fernandez D., Beryllium detection in the very fast nova ASASSN-16kt (V407 Lupi), *MNRAS*, 2018, vol. 478, p. 1601
- Jones B. F., Fischer D., Shetrone M., Soderblom D. R., The Evolution of the Lithium Abundances of Solar-Type Stars.VII.M34 (NGC 1039) and the Role of Rotation in Lithium Depletion, *AJ*, 1997, vol. 114, p. 352
- Jones H. R. A., Butler R. P., Tinney C. G., Marcy G. W., Carter B. D., Penny A. J., McCarthy C., Bailey J., High-eccentricity planets from the Anglo-Australian Planet Search, *MNRAS*, 2006, vol. 369, p. 249
- Jorissen A., Smith V. V., Lambert D. L., Fluorine in red giant stars : evidence for nucleosynthesis., *A&A*, 1992, vol. 261, p. 164
- Justtanont K., Teyssier D., Barlow M. J., Matsuura M., Swinyard B., Waters L. B. F. M., Yates J., OH/IR stars and their superwinds as observed by the Herschel Space Observatory, *A&A*, 2013, vol. 556, p. A101
- Karakas A., Lattanzio J. C., Stellar Models and Yields of Asymptotic Giant Branch Stars, *PASA*, 2007, vol. 24, p. 103
- Karakas A. I., Asymptotic Giant Branch Stars: their influence on binary systems and the interstellar medium., MONASH UNIVERSITY, AUSTRALIA., 2003, Tese de Doutorado
- Karakas A. I., Updated stellar yields from asymptotic giant branch models, *MNRAS*, 2010, vol. 403, p. 1413
- Karakas A. I., Helium enrichment and carbon-star production in metal-rich populations, *MNRAS*, 2014, vol. 445, p. 347
- Karakas A. I., Lattanzio J. C., Production of Aluminium and the Heavy Magnesium Isotopes in Asymptotic Giant Branch Stars, *PASA*, 2003, vol. 20, p. 279

- Karakas A. I., Lattanzio J. C., The Dawes Review 2: Nucleosynthesis and Stellar Yields of Low- and Intermediate-Mass Single Stars, *PASA*, 2014, vol. 31, p. e030
- Karakas A. I., Lattanzio J. C., Pols O. R., Parameterising the Third Dredge-up in Asymptotic Giant Branch Stars, *PASA*, 2002, vol. 19, p. 515
- Karakas A. I., Lugaro M., Stellar Yields from Metal-rich Asymptotic Giant Branch Models, *ApJ*, 2016, vol. 825, p. 26
- Karakas A. I., Lugaro M., Carlos M., Cseh B., Kamath D., García-Hernández D. A., Heavy-element yields and abundances of asymptotic giant branch models with a Small Magellanic Cloud metallicity, *MNRAS*, 2018, vol. 477, p. 421
- Karakas A. I., Marino A. F., Nataf D. M., Nucleosynthesis in Helium-enriched Asymptotic Giant Branch Models: Implications for Heavy Element Enrichment in ω Centauri, *ApJ*, 2014, vol. 784, p. 32
- Kim Y.-C., Demarque P., Yi S. K., Alexander D. R., The Y^2 Isochrones for α -Element Enhanced Mixtures, *ApJS*, 2002, vol. 143, p. 499
- King J. R., Lithium in the Young Cluster NGC 2264, *AJ*, 1998, vol. 116, p. 254
- Kippenhahn R., Weigert A., Weiss A., *Stellar Structure and Evolution*, 2012
- Kobayashi C., Karakas A. I., Umeda H., The evolution of isotope ratios in the Milky Way Galaxy, *MNRAS*, 2011, vol. 414, p. 3231
- Kobayashi C., Nakasato N., Chemodynamical Simulations of the Milky Way Galaxy, *ApJ*, 2011, vol. 729, p. 16
- Kobayashi C., Tsujimoto T., Nomoto K., The History of the Cosmic Supernova Rate Derived from the Evolution of the Host Galaxies, *ApJ*, 2000, vol. 539, p. 26
- Kroupa P., Tout C. A., Gilmore G., The distribution of low-mass stars in the Galactic disc, *MNRAS*, 1993, vol. 262, p. 545
- Latham D. W., Stefanik R. P., Torres G., Davis R. J., Mazeh T., Carney B. W., Laird J. B., Morse J. A., A Survey of Proper-Motion Stars. XVI. Orbital Solutions for 171 Single-lined Spectroscopic Binaries, *AJ*, 2002, vol. 124, p. 1144

- Lattanzio J. C., Hot bottom burning in a 5 solar mass model, *Proceedings of the Astronomical Society of Australia*, 1992, vol. 10, p. 120
- Lawler J. E., Wickliffe M. E., den Hartog E. A., Sneden C., Improved Laboratory Transition Parameters for Eu II and Application to the Solar Europium Elemental and Isotopic Composition, *ApJ*, 2001, vol. 563, p. 1075
- Letarte B., Hill V., Tolstoy E., Jablonka P., Shetrone M., Venn K. A., Spite M., Irwin M. J., Battaglia G., Helmi A., Primas F., François P., Kaufer A., Szeifert T., Arimoto N., Sadakane K., A high-resolution VLT/FLAMES study of individual stars in the centre of the Fornax dwarf spheroidal galaxy, *A&A*, 2010, vol. 523, p. A17
- Li H., Aoki W., Zhao G., Honda S., Christlieb N., Suda T., High-resolution spectroscopic studies of ultra metal-poor stars found in the LAMOST survey, *PASJ*, 2015, vol. 67, p. 84
- Limongi M., Chieffi A., Evolution, Explosion, and Nucleosynthesis of Core-Collapse Supernovae, *ApJ*, 2003, vol. 592, p. 404
- Lind K., Asplund M., Barklem P. S., Departures from LTE for neutral Li in late-type stars, *A&A*, 2009, vol. 503, p. 541
- Lindgren L., Hernández J., Bombrun A., Klioner S., Bastian U., Ramos-Lerate M., de Torres A., Steidelmüller H., Stephenson C., Hobbs D., et al., Gaia Data Release 2. The astrometric solution, *A&A*, 2018, vol. 616, p. A2
- Liu F., Asplund M., Yong D., Feltzing S., Dotter A., Meléndez J., Ramírez I., Chemical (in)homogeneity and atomic diffusion in the open cluster M 67, *A&A*, 2019, vol. 627, p. A117
- Liu F., Asplund M., Yong D., Meléndez J., Ramírez I., Karakas A. I., Carlos M., Marino A. F., The chemical compositions of solar twins in the open cluster M67, *MNRAS*, 2016, vol. 463, p. 696
- Lodders K., Solar System Abundances and Condensation Temperatures of the Elements, *ApJ*, 2003, vol. 591, p. 1220

- Lorenzo-Oliveira D., Freitas F. C., Meléndez J., Bedell M., Ramírez I., Bean J. L., Asplund M., Spina L., Dreizler S., Alves-Brito A., Casagrande L., The Solar Twin Planet Search. The age-chromospheric activity relation, *A&A*, 2018, vol. 619, p. A73
- Lorenzo-Oliveira D., Meléndez J., Yana Galarza J., Ponte G., dos Santos L. A., Spina L., Bedell M., Ramírez I., Bean J. L., Asplund M., Constraining the evolution of stellar rotation using solar twins, *MNRAS*, 2019, vol. 485, p. L68
- Lugaro M., Karakas A. I., Stancliffe R. J., Rijs C., The s-process in Asymptotic Giant Branch Stars of Low Metallicity and the Composition of Carbon-enhanced Metal-poor Stars, *ApJ*, 2012, vol. 747, p. 2
- Lugaro M., Tagliente G., Karakas A. I., Milazzo P. M., Käppeler F., Davis A. M., Savina M. R., The Impact of Updated Zr Neutron-capture Cross Sections and New Asymptotic Giant Branch Models on Our Understanding of the S Process and the Origin of Stardust, *ApJ*, 2014, vol. 780, p. 95
- Lugaro M., Ugalde C., Karakas A. I., Görres J., Wiescher M., Lattanzio J. C., Cannon R. C., Reaction Rate Uncertainties and the Production of ^{19}F in Asymptotic Giant Branch Stars, *ApJ*, 2004, vol. 615, p. 934
- Maciel W. J., Costa R. D. D., Mass loss rates of Li-rich AGB/RGB stars, *Astronomische Nachrichten*, 2018, vol. 339, p. 168
- Magic Z., Serenelli A., Weiss A., Chaboyer B., On Using the Color-Magnitude Diagram Morphology of M67 to Test Solar Abundances, *ApJ*, 2010, vol. 718, p. 1378
- Mandell A. M., Ge J., Murray N., A Search for ^6Li in Lithium-Poor Stars with Planets, *AJ*, 2004, vol. 127, p. 1147
- Marigo P., Aringer B., Low-temperature gas opacity. ÆSOPUS : a versatile and quick computational tool, *A&A*, 2009, vol. 508, p. 1539
- Martioli E., Teeple D., Manset N., Devost D., Withington K., Venne A., Tannock M., Open source pipeline for ESPaDOnS reduction and analysis. In *Software and Cyberinfrastructure for Astronomy II*, vol. 8451 of Proc. SPIE, 2012, p. 84512B

- Masseron T., Plez B., Van Eck S., Colin R., Daoutidis I., Godefroid M., Coheur P. F., Bernath P., Jorissen A., Christlieb N., CH in stellar atmospheres: an extensive linelist, *A&A*, 2014, vol. 571, p. A47
- Matsuno T., Aoki W., Beers T. C., Lee Y. S., Honda S., High-resolution Spectroscopy of Extremely Metal-poor Stars from SDSS/SEGUE. III. Unevolved Stars with $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.5$, *AJ*, 2017, vol. 154, p. 52
- Matteucci F., Greggio L., Relative roles of type I and II supernovae in the chemical enrichment of the interstellar gas, *A&A*, 1986, vol. 154, p. 279
- Mayor M., Marmier M., Lovis C., Udry S., Ségransan D., Pepe F., Benz W., Bertaux J. ., Bouchy F., Dumusque X., Lo Curto G., Mordasini C., Queloz D., Santos N. C., The HARPS search for southern extra-solar planets XXXIV. Occurrence, mass distribution and orbital properties of super-Earths and Neptune-mass planets, *ArXiv e-prints*, 2011
- Mayor M., Pepe F., Queloz D., Bouchy F., Rupprecht G., Lo Curto G., Avila G., Benz W., Bertaux J.-L., Bonfils X., et al., Setting New Standards with HARPS, *The Messenger*, 2003, vol. 114, p. 20
- McWilliam A., Lambert D. L., Isotopic magnesium abundances in stars, *MNRAS*, 1988, vol. 230, p. 573
- McWilliam A., Rich R. M., The First Detailed Abundance Analysis of Galactic Bulge K Giants in Baade's Window, *ApJS*, 1994, vol. 91, p. 749
- Meléndez J., Asplund M., Gustafsson B., Yong D., The Peculiar Solar Composition and Its Possible Relation to Planet Formation, *ApJ*, 2009, vol. 704, p. L66
- Meléndez J., Bedell M., Bean J. L., Ramírez I., Asplund M., Dreizler S., Yan H.-L., Shi J.-R., Lind K., Ferraz-Mello S., Galarza J. Y., dos Santos L., Spina L., Maia M. T., Alves-Brito A., Monroe T., Casagrande L., The Solar Twin Planet Search. V. Close-in, low-mass planet candidates and evidence of planet accretion in the solar twin HIP 68468, *A&A*, 2017, vol. 597, p. A34
- Meléndez J., Bergemann M., Cohen J. G., Endl M., Karakas A. I., Ramírez I., Cochran W. D., Yong D., MacQueen P. J., Kobayashi C., Asplund M., The remarkable solar twin HIP 56948: a prime target in the quest for other Earths, *A&A*, 2012, vol. 543, p. A29

- Meléndez J., Casagrande L., Ramírez I., Asplund M., Schuster W. J., Observational evidence for a broken Li Spite plateau and mass-dependent Li depletion, *A&A*, 2010, vol. 515, p. L3
- Meléndez J., Cohen J. G., Magnesium Isotopes in Metal-poor Dwarfs: The Rise of AGB Stars and the Formation Timescale of the Galactic Halo, *ApJ*, 2007, vol. 659, p. L25
- Meléndez J., Cohen J. G., The Rise of the AGB in the Galactic Halo: Mg Isotopic Ratios and High Precision Elemental Abundances in M71 Giants, *ApJ*, 2009, vol. 699, p. 2017
- Meléndez J., Ramírez I., Karakas A. I., Yong D., Monroe T. R., Bedell M., Bergemann M., Asplund M., Tucci Maia M., Bean J., do Nascimento Jr. J.-D., Bazot M., Alves-Brito A., Freitas F. C., Castro M., 18 Sco: A Solar Twin Rich in Refractory and Neutron-capture Elements. Implications for Chemical Tagging, *ApJ*, 2014, vol. 791, p. 14
- Meléndez J., Schirbel L., Monroe T. R., Yong D., Ramírez I., Asplund M., HIP 114328: a new refractory-poor and Li-poor solar twin, *A&A*, 2014, vol. 567, p. L3
- Melo C. H. F., de Laverny P., Santos N. C., Israelian G., Randich S., Do Nascimento J. D. J., de Medeiros J. R., On the nature of lithium-rich giant stars. Constraints from beryllium abundances, *A&A*, 2005, vol. 439, p. 227
- Meyer B. S., The r-, s-, and p-Processes in Nucleosynthesis, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 1994, vol. 32, p. 153
- Micali A., Matteucci F., Romano D., The chemical evolution of the Milky Way: the Three Infall Model, *MNRAS*, 2013, vol. 436, p. 1648
- Miglio A., Brogaard K., Stello D., Chaplin W. J., D'Antona F., Montalbán J., Basu S., Bressan A., Grundahl F., Pinsonneault M., et al., Asteroseismology of old open clusters with Kepler: direct estimate of the integrated red giant branch mass-loss in NGC 6791 and 6819, *MNRAS*, 2012, vol. 419, p. 2077
- Mocák M., Müller E., Weiss A., Kifonidis K., The core helium flash revisited. I. One and two-dimensional hydrodynamic simulations, *A&A*, 2008, vol. 490, p. 265
- Mocák M., Müller E., Weiss A., Kifonidis K., The core helium flash revisited. II. Two and three-dimensional hydrodynamic simulations, *A&A*, 2009, vol. 501, p. 659

- Molaro P., Izzo L., Mason E., Bonifacio P., Della Valle M., Highly enriched ${}^7\text{Be}$ in the ejecta of Nova Sagittarii 2015 No. 2 (V5668 Sgr) and the Galactic ${}^7\text{Li}$ origin, *MNRAS*, 2016, vol. 463, p. L117
- Mollá M., Cavichia O., Gavilán M., Gibson B. K., Galactic chemical evolution: stellar yields and the initial mass function, *MNRAS*, 2015, vol. 451, p. 3693
- Mollá M., Díaz A. I., A grid of chemical evolution models as a tool to interpret spiral and irregular galaxies data, *MNRAS*, 2005, vol. 358, p. 521
- Mollá M., Díaz Á. I., Cavichia O., Gibson B. K., Maciel W. J., Costa R. D. D., Ascasibar Y., Few C. G., The time evolution of the Milky Way's oxygen abundance gradient, *MNRAS*, 2019, vol. 482, p. 3071
- Mollá M., Díaz Á. I., Gibson B. K., Cavichia O., López-Sánchez Á.-R., The role of gas infall in the evolution of disc galaxies, *MNRAS*, 2016, vol. 462, p. 1329
- Monaco L., Bellazzini M., Bonifacio P., Ferraro F. R., Marconi G., Pancino E., Sbordone L., Zaggia S., The Ital-FLAMES survey of the Sagittarius dwarf spheroidal galaxy. I. Chemical abundances of bright RGB stars, *A&A*, 2005, vol. 441, p. 141
- Monaco L., Villanova S., Moni Bidin C., Carraro G., Geisler D., Bonifacio P., Gonzalez O. A., Zoccali M., Jilkova L., Lithium-rich giants in the Galactic thick disk, *A&A*, 2011, vol. 529, p. A90
- Monroe T. R., Meléndez J., Ramírez I., Yong D., Bergemann M., Asplund M., Bedell M., Tucci Maia M., Bean J., Lind K., Alves-Brito A., Casagrande L., Castro M., do Nascimento J.-D., Bazot M., Freitas F. C., High Precision Abundances of the Old Solar Twin HIP 102152: Insights on Li Depletion from the Oldest Sun, *ApJ*, 2013, vol. 774, p. L32
- Montalbán J., Rebolo R., Planet accretion and the abundances of lithium isotopes, *A&A*, 2002, vol. 386, p. 1039
- Naef D., Mayor M., Lo Curto G., Bouchy F., Lovis C., Moutou C., Benz W., Pepe F., Queloz D., Santos N. C., et al., The HARPS search for southern extrasolar planets.

- XXIII. 8 planetary companions to low-activity solar-type stars, *A&A*, 2010, vol. 523, p. A15
- Navarro J. F., Frenk C. S., White S. D. M., A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering, *ApJ*, 1997, vol. 490, p. 493
- Nissen P. E., High-precision abundances of elements in solar twin stars. Trends with stellar age and elemental condensation temperature, *A&A*, 2015, vol. 579, p. A52
- Nissen P. E., Primas F., Asplund M., Lambert D. L., O/Fe in metal-poor main sequence and subgiant stars, *A&A*, 2002, vol. 390, p. 235
- Nissen P. E., Schuster W. J., Two distinct halo populations in the solar neighborhood. Evidence from stellar abundance ratios and kinematics, *A&A*, 2010, vol. 511, p. L10
- Nissen P. E., Schuster W. J., Two distinct halo populations in the solar neighborhood. II. Evidence from stellar abundances of Mn, Cu, Zn, Y, and Ba, *A&A*, 2011, vol. 530, p. A15
- Nomoto K., Kobayashi C., Tominaga N., Nucleosynthesis in Stars and the Chemical Enrichment of Galaxies, *ARA&A*, 2013, vol. 51, p. 457
- Norris J. E., Beers T. C., Ryan S. G., Extremely Metal-poor Stars. VII. The Most Metal-poor Dwarf, CS 22876-032, *ApJ*, 2000, vol. 540, p. 456
- Önehag A., Korn A., Gustafsson B., Stempels E., Vandenberg D. A., M67-1194, an unusually Sun-like solar twin in M67, *A&A*, 2011, vol. 528, p. A85
- Ostlie D. A., Cox A. N., A Linear Survey of the Mira Variable Star Instability Region of the Hertzsprung-Russell Diagram, *ApJ*, 1986, vol. 311, p. 864
- Pace G., Castro M., Meléndez J., Théado S., do Nascimento Jr. J.-D., Lithium in M 67: From the main sequence to the red giant branch, *A&A*, 2012, vol. 541, p. A150
- Pace G., Pasquini L., The age-activity-rotation relationship in solar-type stars, *A&A*, 2004, vol. 426, p. 1021
- Paczynski B., Core mass-interflash period relation for double shell source stars., *ApJ*, 1975, vol. 202, p. 558

- Pasquini L., Avila G., Blecha A., Cacciari C., Cayatte V., Colless M., Damiani F., de Propris R., Dekker H., di Marcantonio P., et al., Installation and commissioning of FLAMES, the VLT Multifibre Facility, *The Messenger*, 2002, vol. 110, p. 1
- Pasquini L., Biazzo K., Bonifacio P., Randich S., Bedin L. R., Solar twins in M 67, *A&A*, 2008, vol. 489, p. 677
- Pavlenko Y. V., Jenkins J. S., Ivanyuk O. M., Jones H. R. A., Kaminsky B. M., Lyubchik Y. P., Yakovina L. A., A detailed study of lithium in 107 CHEPS dwarf stars, *A&A*, 2018, vol. 611, p. A27
- Pian E., D'Avanzo P., Benetti S., Branchesi M., Brocato E., Campana S., Cappellaro E., Covino S., D'Elia V., Fynbo J. P. U., et al., Spectroscopic identification of r-process nucleosynthesis in a double neutron-star merger, *Nature*, 2017, vol. 551, p. 67
- Piersanti L., Cristallo S., Straniero O., The Effects of Rotation on s-process Nucleosynthesis in Asymptotic Giant Branch Stars, *ApJ*, 2013, vol. 774, p. 98
- Pinsonneault M. H., Kawaler S. D., Demarque P., Rotation of Low-Mass Stars: A New Probe of Stellar Evolution, *ApJS*, 1990, vol. 74, p. 501
- Planck Collaboration Ade P. A. R., Aghanim N., Arnaud M., Ashdown M., Aumont J., Baccigalupi C., Banday A. J., Barreiro R. B., Bartlett J. G., Bartolo N., Battaner E., Battye R., Benabed K., Benoît A., et al., Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters, *A&A*, 2016, vol. 594, p. A13
- Ramírez I., Fish J. R., Lambert D. L., Allende Prieto C., Lithium Abundances in nearby FGK Dwarf and Subgiant Stars: Internal Destruction, Galactic Chemical Evolution, and Exoplanets, *ApJ*, 2012, vol. 756, p. 46
- Ramírez I., Meléndez J., The Effective Temperature Scale of FGK Stars. II. T_{eff} :Color:[Fe/H] Calibrations, *ApJ*, 2005, vol. 626, p. 465
- Ramírez I., Meléndez J., Asplund M., Chemical signatures of planets: beyond solar-twins, *A&A*, 2014, vol. 561, p. A7
- Ramírez I., Meléndez J., Bean J., Asplund M., Bedell M., Monroe T., Casagrande L., Schirbel L., Dreizler S., Teske J., Tucci Maia M., Alves-Brito A., Baumann P., The

- Solar Twin Planet Search. I. Fundamental parameters of the stellar sample, *A&A*, 2014, vol. 572, p. A48
- Ramírez I., Meléndez J., Cornejo D., Roederer I. U., Fish J. R., Elemental Abundance Differences in the 16 Cygni Binary System: A Signature of Gas Giant Planet Formation?, *ApJ*, 2011, vol. 740, p. 76
- Randich S., Pallavicini R., Meola G., Stauffer J. R., Balachandran S. C., Membership, lithium, and metallicity in the young open clusters IC 2602 and IC 2391: Enlarging the sample, *A&A*, 2001, vol. 372, p. 862
- Randich S., Primas F., Pasquini L., Pallavicini R., UVES Be observations of early-G dwarfs in old clusters, *A&A*, 2002, vol. 387, p. 222
- Reddy B. E., Lambert D. L., Laws C., Gonzalez G., Covey K., A search for ${}^6\text{Li}$ in stars with planets, *MNRAS*, 2002, vol. 335, p. 1005
- Reggiani H., Meléndez J., Evidences of extragalactic origin and planet engulfment in the metal-poor twin pair HD 134439/HD 134440, *MNRAS*, 2018, vol. 475, p. 3502
- Reggiani H., Meléndez J., Kobayashi C., Karakas A., Placco V., Constraining cosmic scatter in the Galactic halo through a differential analysis of metal-poor stars, *A&A*, 2017, vol. 608, p. A46
- Reimers D., , 1975 Circumstellar envelopes and mass loss of red giant stars.. pp 229–256
- Renzini A., Voli M., Advanced evolutionary stages of intermediate-mass stars. I. Evolution of surface compositions., *A&A*, 1981, vol. 500, p. 221
- Ritter C., Herwig F., Jones S., Pignatari M., Fryer C., Hirschi R., NuGrid stellar data set - II. Stellar yields from H to Bi for stellar models with $M_{ZAMS} = 1-25 M_{[U+2609]}$ and $Z = 0.0001-0.02$, *MNRAS*, 2018, vol. 480, p. 538
- Rolfs C. E., Rodney W. S., *Cauldrons in the cosmos : nuclear astrophysics*. The University of Chicago Press Chicago, 1988
- Ryan S. G., Deliyannis C. P., Processing of Lithium in Halo Stars Cooler than the Spite Plateau. III. Observations and Abundance Analysis, *ApJ*, 1998, vol. 500, p. 398

- Ryan S. G., Norris J. E., Beers T. C., The Spite Lithium Plateau: Ultrathin but Postprimordial, *ApJ*, 1999, vol. 523, p. 654
- Sandquist E. L., Dokter J. J., Lin D. N. C., Mardling R. A., A Critical Examination of Li Pollution and Giant-Planet Consumption by a Host Star, *ApJ*, 2002, vol. 572, p. 1012
- Sarajedini A., Dotter A., Kirkpatrick A., Deep 2MASS Photometry of M67 and Calibration of the Main-Sequence J - K_S Color Difference as an Age Indicator, *ApJ*, 2009, vol. 698, p. 1872
- Sbordone L., Bonifacio P., Caffau E., Ludwig H. G., Behara N. T., González Hernández J. I., Steffen M., Cayrel R., Freytag B., van't Veer C., et al., The metal-poor end of the Spite plateau. I. Stellar parameters, metallicities, and lithium abundances, *A&A*, 2010, vol. 522, p. A26
- Scalo J. M., Despain K. H., Ulrich R. K., Studies of evolved stars. V. Nucleosynthesis in hot-bottom convective envelopes., *ApJ*, 1975, vol. 196, p. 805
- Schirbel L., Meléndez J., Karakas A. I., Ramírez I., Castro M., Faria M. A., Lugaro M., Asplund M., Tucci Maia M., Yong D., Howes L., do Nascimento J. D., HIP 10725: The first solar twin/analogue field blue straggler, *A&A*, 2015, vol. 584, p. A116
- Searle L., Zinn R., Compositions of halo clusters and the formation of the galactic halo, *ApJ*, 1978, vol. 225, p. 357
- Selvelli P., Molaro P., Izzo L., Absorption and emission features of ⁷Be II in the outburst spectra of V838 Her (Nova Her 1991), *MNRAS*, 2018, vol. 481, p. 2261
- Sestito P., Randich S., Mermilliod J. C., Pallavicini R., The evolution of lithium depletion in young open clusters: NGC 6475., *A&A*, 2003, vol. 407, p. 289
- Sestito P., Randich S., Pallavicini R., Lithium evolution in intermediate age and old open clusters: NGC 752 revisited, *A&A*, 2004, vol. 426, p. 809
- Shetrone M., Venn K. A., Tolstoy E., Primas F., Hill V., Kaufer A., VLT/UVES Abundances in Four Nearby Dwarf Spheroidal Galaxies. I. Nucleosynthesis and Abundance Ratios, *AJ*, 2003, vol. 125, p. 684

- Shingles L. J., Doherty C. L., Karakas A. I., Stancliffe R. J., Lattanzio J. C., Lugaro M., Evolution and nucleosynthesis of helium-rich asymptotic giant branch models, *MNRAS*, 2015, vol. 452, p. 2804
- Simmerer J., Sneden C., Cowan J. J., Collier J., Woolf V. M., Lawler J. E., The Rise of the s-Process in the Galaxy, *ApJ*, 2004, vol. 617, p. 1091
- Sitnova T., Zhao G., Mashonkina L., Chen Y., Liu F., Pakhomov Y., Tan K., Bolte M., Alexeeva S., Grupp F., Shi J. R., Zhang H. W., Systematic Non-LTE Study of the -2.6 $[Fe/H]$ 0.2 F and G dwarfs in the Solar Neighborhood. I. Stellar Atmosphere Parameters, *ApJ*, 2015, vol. 808, p. 148
- Sneden C. A., Carbon and Nitrogen Abundances in Metal-Poor Stars., THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN., 1973, Tese de Doutorado
- Soderblom D. R., Jones B. F., Balachandran S., Stauffer J. R., Duncan D. K., Fedele S. B., Hudon J. D., The Evolution of the Lithium Abundances of Solar-Type Stars. III. The Pleiades, *AJ*, 1993, vol. 106, p. 1059
- Somers G., Stassun K. G., A Measurement of Radius Inflation in the Pleiades and Its Relation to Rotation and Lithium Depletion, *AJ*, 2017, vol. 153, p. 101
- Soubiran C., Jasniewicz G., Chemin L., Zurbach C., Brouillet N., Panuzzo P., Sartoretti P., Katz D., Le Campion J. F., Marchal O., et al., Gaia Data Release 2. The catalogue of radial velocity standard stars, *A&A*, 2018, vol. 616, p. A7
- Soubiran C., Le Campion J.-F., Brouillet N., Chemin L., The PASTEL catalogue: 2016 version, *Astronomy & Astrophysics*, 2016, vol. 591, p. A118
- Sousa S. G., Fernandes J., Israelian G., Santos N. C., Higher depletion of lithium in planet host stars: no age and mass effect, *A&A*, 2010, vol. 512, p. L5
- Souto D., Allende Prieto C., Cunha K., Pinsonneault M., Smith V. V., Garcia-Dias R., Bovy J., García-Hernández D. A., Holtzman J., Johnson J. A., et al., Chemical Abundances of Main-sequence, Turnoff, Subgiant, and Red Giant Stars from APOGEE Spectra. II. Atomic Diffusion in M67 Stars, *ApJ*, 2019, vol. 874, p. 97

- Spada F., Demarque P., Kim Y.-C., Boyajian T. S., Brewer J. M., The Yale-Potsdam Stellar Isochrones, *ApJ*, 2017, vol. 838, p. 161
- Spina L., Meléndez J., Karakas A. I., dos Santos L., Bedell M., Asplund M., Ramírez I., Yong D., Alves-Brito A., Bean J. L., Dreizler S., The temporal evolution of neutron-capture elements in the Galactic discs, *MNRAS*, 2018, vol. 474, p. 2580
- Spite F., Spite M., Abundance of lithium in unevolved halo stars and old disk stars - Interpretation and consequences, *A&A*, 1982, vol. 115, p. 357
- Spite M., Cayrel R., Plez B., Hill V., Spite F., Depagne E., François P., Bonifacio P., Barbuy B., Beers T., Andersen J., Molaro P., Nordström B., Primas F., First stars VI - Abundances of C, N, O, Li, and mixing in extremely metal-poor giants. Galactic evolution of the light elements, *A&A*, 2005, vol. 430, p. 655
- Starrfield S., Bose M., Iliadis C., Hix W. R., Woodward C. E., Wagner R. M., Carbon-Oxygen Classical Novae Are Galactic ${}^7\text{Li}$ Producers as well as Potential Supernova Ia Progenitors, *ApJ*, 2020, vol. 895, p. 70
- Straniero O., Cristallo S., Piersanti L., Heavy Elements in Globular Clusters: The Role of Asymptotic Giant Branch Stars, *ApJ*, 2014, vol. 785, p. 77
- Straniero O., Gallino R., Cristallo S., s process in low-mass asymptotic giant branch stars, *Nucl. Phys. A*, 2006, vol. 777, p. 311
- Suda T., Yamada S., Katsuta Y., Komiya Y., Ishizuka C., Aoki W., Fujimoto M. Y., The Stellar Abundances for Galactic Archaeology (SAGA) data base - II. Implications for mixing and nucleosynthesis in extremely metal-poor stars and chemical enrichment of the Galaxy, *MNRAS*, 2011, vol. 412, p. 843
- Sweigart A. V., Greggio L., Renzini A., The Development of the Red Giant Branch. I. Theoretical Evolutionary Sequences, *ApJS*, 1989, vol. 69, p. 911
- Tajitsu A., Sadakane K., Naito H., Arai A., Aoki W., Explosive lithium production in the classical nova V339 Del (Nova Delphini 2013), *Nature*, 2015, vol. 518, p. 381
- Tajitsu A., Sadakane K., Naito H., Arai A., Kawakita H., Aoki W., The ${}^7\text{Be}$ II Resonance Lines in Two Classical Novae V5668 Sgr and V2944 Oph, *ApJ*, 2016, vol. 818, p. 191

- Takeda Y., Honda S., Kawanomoto S., Ando H., Sakurai T., Behavior of Li abundances in solar-analog stars. II. Evidence of the connection with rotation and stellar activity, *A&A*, 2010, vol. 515, p. A93
- Teeple D., , 2014 OPERA: Open-source Pipeline for Espadons Reduction and Analysis Astrophysics Source Code Library
- Théado S., Vauclair S., Metal-rich Accretion and Thermohaline Instabilities in Exoplanet-host Stars: Consequences on the Light Elements Abundances, *ApJ*, 2012, vol. 744, p. 123
- Thévenin F., Oreshina A. V., Baturin V. A., Gorshkov A. B., Morel P., Provost J., Evolution of lithium abundance in the Sun and solar twins, *A&A*, 2017, vol. 598, p. A64
- Thielemann F. K., Arnett W. D., Hydrostatic Nucleosynthesis - Part Two - Core Neon to Silicon Burning and Presupernova Abundance Yields of Massive Stars, *ApJ*, 1985, vol. 295, p. 604
- Thorburn J. A., Hobbs L. M., Deliyannis C. P., Pinsonneault M. H., Lithium in the Hyades. I. New Observations, *ApJ*, 1993, vol. 415, p. 150
- Thygesen A. O., Kirby E. N., Gallagher A. J., Ludwig H.-G., Caffau E., Bonifacio P., Sbordone L., An Investigation of the Formation and Line Properties of MgH in 3D Hydrodynamical Model Stellar Atmospheres, *ApJ*, 2017, vol. 843, p. 144
- Thygesen A. O., Sbordone L., Ludwig H.-G., Ventura P., Yong D., Collet R., Christlieb N., Melendez J., Zaggia S., The chemical composition of red giants in 47 Tucanae. II. Magnesium isotopes and pollution scenarios, *A&A*, 2016, vol. 588, p. A66
- Timmes F. X., Woosley S. E., Weaver T. A., Galactic Chemical Evolution: Hydrogen through Zinc, *ApJS*, 1995, vol. 98, p. 617
- Tissera P. B., White S. D. M., Scannapieco C., Chemical signatures of formation processes in the stellar populations of simulated galaxies, *MNRAS*, 2012, vol. 420, p. 255
- Tucci Maia M., Meléndez J., Castro M., Asplund M., Ramírez I., Monroe T. R., do Nascimento Jr. J. D., Yong D., Shallow extra mixing in solar twins inferred from Be abundances, *A&A*, 2015, vol. 576, p. L10

- VandenBerg D. A., Stetson P. B., On the Old Open Clusters M67 and NGC 188: Convective Core Overshooting, Color-Temperature Relations, Distances, and Ages, *PASP*, 2004, vol. 116, p. 997
- Vassiliadis E., Wood P. R., Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars to the End of the Asymptotic Giant Branch with Mass Loss, *ApJ*, 1993, vol. 413, p. 641
- Ventura P., D'Antona F., Hot bottom burning in the envelope of super asymptotic giant branch stars, *MNRAS*, 2011, vol. 410, p. 2760
- Ventura P., Di Criscienzo M., Carini R., D'Antona F., Yields of AGB and SAGB models with chemistry of low- and high-metallicity globular clusters, *MNRAS*, 2013, vol. 431, p. 3642
- Vogt S. S., Allen S. L., Bigelow B. C., Bresee L., Brown B., Cantrall T., Conrad A., Couture M., Delaney C., Epps H. W., et al., HIRES: the high-resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m Telescope. In *Instrumentation in Astronomy VIII*, vol. 2198 of *SPIE Proceedings*, 1994, p. 362
- Wagenhuber J., Groenewegen M. A. T., New input data for synthetic AGB evolution, *A&A*, 1998, vol. 340, p. 183
- Watson D., Hansen C. J., Selsing J., Koch A., Malesani D. B., Andersen A. C., Fynbo J. P. U., Arcones A., Bauswein A., Covino S., et al., Identification of strontium in the merger of two neutron stars, *Nature*, 2019, vol. 574, p. 497
- Woosley S. E., Weaver T. A., The Evolution and Explosion of Massive Stars. II. Explosive Hydrodynamics and Nucleosynthesis, *ApJS*, 1995, vol. 101, p. 181
- Xiong D. R., Deng L., Lithium depletion in late-type dwarfs, *MNRAS*, 2009, vol. 395, p. 2013
- Yadav R. K. S., Bedin L. R., Piotto G., Anderson J., Cassisi S., Villanova S., Platais I., Pasquini L., Momany Y., Sagar R., Ground-based CCD astrometry with wide-field imagers. II. A star catalog for M 67: WFI@2.2 m MPG/ESO astrometry, FLAMES@VLT radial velocities, *A&A*, 2008, vol. 484, p. 609

- Yan H.-L., Shi J.-R., Zhou Y.-T., Chen Y.-S., Li E.-T., Zhang S., Bi S.-L., Wu Y.-Q., Li Z.-H., Guo B., Liu W.-P., Gao Q., Zhang J.-B., Zhou Z.-M., Li H.-N., Zhao G., The nature of the lithium enrichment in the most Li-rich giant star, *Nature Astronomy*, 2018, vol. 2, p. 790
- Yi S., Demarque P., Kim Y.-C., Lee Y.-W., Ree C. H., Lejeune T., Barnes S., Toward Better Age Estimates for Stellar Populations: The Y^2 Isochrones for Solar Mixture, *ApJS*, 2001, vol. 136, p. 417
- Yong D., Grundahl F., Lambert D. L., Nissen P. E., Shetrone M. D., Mg isotopic ratios in giant stars of the globular cluster NGC 6752, *A&A*, 2003, vol. 402, p. 985
- Yong D., Lambert D. L., A Search for Cool Subdwarfs: Stellar Parameters for 134 Candidates, *PASP*, 2003, vol. 115, p. 22
- Yong D., Lambert D. L., Allende Prieto C., Paulson D. B., Magnesium Isotope Ratios in Hyades Stars, *ApJ*, 2004, vol. 603, p. 697
- Yong D., Lambert D. L., Ivans I. I., Magnesium Isotopic Abundance Ratios in Cool Stars, *ApJ*, 2003, vol. 599, p. 1357
- Zahn J.-P., Rotation and lithium depletion in late-type binaries, *A&A*, 1994, vol. 288, p. 829
- Zoccali M., Hill V., Lecqueur A., Barbuy B., Renzini A., Minniti D., Gómez A., Ortolani S., The metal content of bulge field stars from FLAMES-GIRAFFE spectra. I. Stellar parameters and iron abundances, *A&A*, 2008, vol. 486, p. 177
- Zolotov A., Willman B., Brooks A. M., Governato F., Brook C. B., Hogg D. W., Quinn T., Stinson G., The Dual Origin of Stellar Halos, *ApJ*, 2009, vol. 702, p. 1058

Apêndice

Lista de linhas

Apresentamos aqui as listas de linhas usadas para obter as abundâncias químicas apresentadas nos Capítulos 2 e 3. Mostramos na primeira coluna a espécie, seguida pelo seu comprimento de onda na segunda coluna, a terceira e a quarta colunas têm, respectivamente, os valores do potencial de excitação de cada linha (χ_{exc}) e o $\log gf$, e quando disponível, a quinta e sexta colunas apresentam, respectivamente, o parâmetro devido ao alargamento de van der Waals (C6; que pode tanto ser o valor real, como um multiplicador para os valores internos do código MOOG) e a energia de dissociação (D_0 , para moléculas).

A Tabela A.1 exibe a lista de linhas de Meléndez et al. (2012) para o cálculo das abundâncias de Li.

Tabela A.1 - Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias de Li.

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	$\log gf$	C6	D_0 (eV)
C ₂	6690.080	0.9630	-1.624	0.00	6.297
Cr I	6690.261	3.8880	-2.442	2.00	0.000
CN	6690.269	0.5420	-3.334	0.00	7.730
CN	6690.269	0.7880	-2.700	0.00	7.730
C ₂	6690.310	0.9550	-1.645	0.00	6.297
CN	6690.311	0.7950	-2.399	0.00	7.730
CN	6690.312	0.5480	-3.036	0.00	7.730
C ₂	6690.650	0.9480	-1.667	0.00	6.297
Ni I	6690.770	3.6350	-3.443	2.00	0.000
CN	6690.834	0.9160	-1.954	0.00	7.730

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6690.835	0.6710	-2.583	0.00	7.730
CN	6690.952	1.0510	-1.817	0.00	7.730
Ce II	6691.719	1.2060	-2.140	2.00	0.000
CN	6691.934	0.5260	-3.769	0.00	7.730
CN	6691.934	0.7730	-3.132	0.00	7.730
C ₂	6692.110	1.1770	-1.366	0.00	6.297
C ₂	6692.110	1.1930	-1.355	0.00	6.297
C ₂	6692.110	1.2090	-1.344	0.00	6.297
Fe I	6692.272	4.0760	-3.100	2.00	0.000
Si I	6692.426	6.1250	-2.462	2.00	0.000
Fe I	6692.468	4.5590	-3.311	2.00	0.000
CN	6692.720	0.8080	-2.292	0.00	7.730
CN	6692.721	0.5620	-2.929	0.00	7.730
CN	6692.839	0.6050	-2.446	0.00	7.730
CN	6692.839	0.8500	-1.812	0.00	7.730
CN	6692.849	0.9260	-1.597	0.00	7.730
CN	6692.896	0.8410	-1.837	0.00	7.730
CN	6692.897	0.5950	-2.471	0.00	7.730
Co I	6692.906	5.0020	-0.971	2.00	0.000
CN	6693.475	0.6830	-2.575	0.00	7.730
CN	6693.475	0.9280	-1.947	0.00	7.730
Sm II	6693.555	1.6870	-0.373	2.00	0.000
CN	6693.574	0.6960	-3.444	0.00	7.730
CN	6693.574	0.9410	-2.812	0.00	7.730
V I	6693.614	2.6780	-1.417	2.00	0.000
Ba I	6693.840	1.1900	-0.020	2.00	0.000
Fe I	6694.546	5.6140	-2.000	2.00	0.000
C ₂	6694.580	0.9550	-1.645	0.00	6.297

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6694.580	0.5480	-3.335	0.00	7.730
CN	6694.580	0.7950	-2.700	0.00	7.730
CN	6694.625	0.8010	-2.357	0.00	7.730
CN	6694.626	0.5550	-2.994	0.00	7.730
Sm II	6694.721	1.3700	-1.413	2.00	0.000
CN	6694.823	0.8170	-1.994	0.00	7.730
C ₂	6694.850	0.9470	-1.668	0.00	6.297
C ₂	6695.200	0.9400	-1.691	0.00	6.297
CN	6695.330	0.6830	-2.567	0.00	7.730
CN	6695.330	0.9280	-1.938	0.00	7.730
CN	6695.587	1.0740	-1.805	0.00	7.730
Al I	6696.018	3.1430	-1.481	2.80	0.000
Al I	6696.185	4.0220	-1.976	2.00	0.000
Fe I	6696.248	4.9130	-3.300	2.00	0.000
Fe I	6696.320	4.8350	-1.670	2.00	0.000
Fe I	6696.654	3.6400	-4.995	2.00	0.000
Al I	6696.788	4.0220	-3.122	2.00	0.000
Al I	6696.788	4.0220	-1.821	2.00	0.000
C ₂	6696.830	1.1620	-1.378	0.00	6.297
C ₂	6696.830	1.1770	-1.367	0.00	6.297
C ₂	6696.830	1.1920	-1.355	0.00	6.297
CN	6696.874	0.5310	-3.751	0.00	7.730
CN	6696.874	0.7780	-3.114	0.00	7.730
CN	6696.966	0.8520	-2.101	0.00	7.730
CN	6697.196	0.8410	-2.971	0.00	7.730
CN	6697.197	0.5950	-3.603	0.00	7.730
CN	6697.261	0.6050	-2.446	0.00	7.730
CN	6697.261	0.8500	-1.813	0.00	7.730

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6697.519	0.9260	-1.597	0.00	7.730
CN	6697.988	0.8600	-1.789	0.00	7.730
CN	6697.989	0.6140	-2.422	0.00	7.730
CN	6698.060	0.6250	-3.640	0.00	7.730
CN	6698.060	0.8700	-3.004	0.00	7.730
CN	6698.148	1.0000	-1.726	0.00	7.730
CN	6698.226	0.8160	-2.258	0.00	7.730
CN	6698.227	0.5700	-2.896	0.00	7.730
CN	6698.526	0.6960	-2.558	0.00	7.730
CN	6698.526	0.9410	-1.928	0.00	7.730
CN	6698.634	0.9550	-2.823	0.00	7.730
CN	6698.635	0.7100	-3.453	0.00	7.730
Al I	6698.667	3.1430	-1.782	2.80	0.000
C ₂	6698.990	0.9470	-1.668	0.00	6.297
CN	6699.141	0.8010	-2.704	0.00	7.730
Fe I	6699.142	4.5930	-2.101	2.00	0.000
CN	6699.142	0.5550	-3.339	0.00	7.730
CN	6699.189	0.8080	-2.318	0.00	7.730
CN	6699.190	0.5620	-2.954	0.00	7.730
C ₂	6699.280	0.9400	-1.691	0.00	6.297
C ₂	6699.590	0.9330	-1.716	0.00	6.297
CN	6700.124	0.9410	-1.922	0.00	7.730
CN	6700.125	0.6960	-2.551	0.00	7.730
CN	6700.593	0.8340	-1.984	0.00	7.730
Y I	6700.702	2.2950	-0.430	2.00	0.000
C ₂	6700.750	1.1470	-1.391	0.00	6.297
C ₂	6700.750	1.1620	-1.379	0.00	6.297
C ₂	6700.750	1.1770	-1.367	0.00	6.297

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
Ni I	6700.890	4.2660	-2.600	2.00	0.000
CN	6700.957	1.0740	-1.807	0.00	7.730
CN	6701.339	0.8760	-2.094	0.00	7.730
Si I	6701.418	5.9640	-2.636	2.00	0.000
Fe I	6701.496	5.2730	-2.808	2.00	0.000
Cr	6701.637	3.8500	-1.773	2.00	0.000
CN	6701.806	0.8500	-2.982	0.00	7.730
CN	6701.807	0.6050	-3.613	0.00	7.730
CN	6701.872	0.6140	-2.422	0.00	7.730
CN	6701.872	0.8600	-1.790	0.00	7.730
CN	6702.059	0.5360	-3.739	0.00	7.730
CN	6702.059	0.7830	-3.101	0.00	7.730
CN	6702.063	1.0260	-1.718	0.00	7.730
Zr I	6702.140	1.4430	-1.930	2.00	0.000
CN	6702.531	0.9460	-1.587	0.00	7.730
C ₂	6703.210	0.9400	-1.692	0.00	6.297
CN	6703.362	0.8700	-1.767	0.00	7.730
CN	6703.363	0.6250	-2.399	0.00	7.730
CN	6703.436	0.8810	-3.015	0.00	7.730
CN	6703.437	0.6350	-3.649	0.00	7.730
C ₂	6703.520	0.9330	-1.717	0.00	6.297
Fe I	6703.567	2.7585	-3.080	0.366E-31	0.000
Co I	6703.897	4.9160	-1.106	2.00	0.000
C ₂	6703.910	0.9270	-1.743	0.00	6.297
CN	6703.950	0.8080	-2.709	0.00	7.730
CN	6703.950	0.8240	-2.227	0.00	7.730
CN	6703.951	0.5620	-3.343	0.00	7.730
CN	6703.951	0.5780	-2.864	0.00	7.730

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6704.003	0.8160	-2.282	0.00	7.730
CN	6704.004	0.5700	-2.917	0.00	7.730
CN	6704.028	1.1910	-1.944	0.00	7.730
Fe I	6704.481	4.2170	-2.610	2.00	0.000
Ce II	6704.524	2.4740	0.070	2.00	0.000
CN	6704.908	0.8340	-1.980	0.00	7.730
Fe I	6705.102	4.6070	-1.027	2.00	0.000
CN	6705.189	0.9550	-1.907	0.00	7.730
CN	6705.190	0.7100	-2.535	0.00	7.730
C ₂	6705.330	1.1330	-1.403	0.00	6.297
C ₂	6705.330	1.1470	-1.391	0.00	6.297
C ₂	6705.330	1.1620	-1.379	0.00	6.297
CN	6705.524	1.0960	-1.796	0.00	7.730
CN	6705.885	2.3690	-1.874	0.00	7.730
CN	6705.888	1.7900	-3.298	0.00	7.730
CN	6705.890	1.1130	-3.268	0.00	7.730
Fe I	6705.895	2.7590	-5.910	2.00	0.000
CN	6705.982	1.8200	-1.890	0.00	7.730
Ce II	6706.051	1.8380	-0.950	2.00	0.000
Ti I	6706.290	1.5020	-2.780	2.80	0.000
Ti I	6706.336	4.2430	-0.842	2.00	0.000
CN	6706.548	3.1300	-1.359	0.00	7.730
CN	6706.567	2.1900	-1.650	0.00	7.730
CN	6706.657	0.8600	-2.993	0.00	7.730
CN	6706.658	0.6140	-3.622	0.00	7.730
CN	6706.728	0.6250	-2.400	0.00	7.730
CN	6706.733	0.8700	-1.768	0.00	7.730
CN	6706.844	1.9600	-2.775	0.00	7.730

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6706.863	2.0700	-1.882	0.00	7.730
Fe II	6706.880	5.9560	-4.103	0.126E-31	0.000
Si I	6707.000	5.9540	-2.560	2.00	0.000
Fe I	6707.172	5.5380	-2.810	2.00	0.000
CN	6707.205	1.9700	-1.222	0.00	7.730
CN	6707.272	2.1770	-1.416	0.00	7.730
CN	6707.282	2.0550	-1.349	0.00	7.730
C ₂	6707.300	0.9330	-1.717	0.00	6.297
CN	6707.371	3.0500	-0.522	0.00	7.730
Fe I	6707.433	4.6080	-2.250	2.00	0.000
CN	6707.460	0.7880	-3.094	0.00	7.730
CN	6707.461	0.5420	-3.730	0.00	7.730
CN	6707.470	1.8800	-1.581	0.00	7.730
Sm II	6707.473	0.9330	-1.910	2.00	0.000
CN	6707.548	0.9460	-1.588	0.00	7.730
CN	6707.595	1.8900	-1.451	0.00	7.730
Cr I	6707.596	4.2080	-2.667	2.00	0.000
CN	6707.645	0.9460	-3.330	0.00	7.730
C ₂	6707.660	0.9260	-1.743	0.00	6.297
Li I	6707.756	0.0000	-0.428	0.445E-31	0.000
Li I	6707.768	0.0000	-0.206	0.445E-31	0.000
CN	6707.809	1.2210	-1.935	0.00	7.730
CN	6707.848	3.6000	-2.417	0.00	7.730
CN	6707.899	3.3600	-3.110	0.00	7.730
Li I	6707.907	0.0000	-1.509	0.445E-31	0.000
Li I	6707.908	0.0000	-0.807	0.445E-31	0.000
Li I	6707.919	0.0000	-0.807	0.445E-31	0.000
Li I	6707.920	0.0000	-0.807	0.445E-31	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6707.930	1.9800	-1.651	0.00	7.730
C ₂	6707.970	0.9200	-1.771	0.00	6.297
CN	6707.980	2.3720	-3.527	0.00	7.730
Si I	6708.023	6.0000	-2.800	2.00	0.000
CN	6708.026	1.9800	-2.031	0.00	7.730
V I	6708.094	1.2180	-2.922	2.00	0.000
Ce II	6708.099	0.7010	-2.120	2.00	0.000
CN	6708.147	1.8700	-1.884	0.00	7.730
Fe I	6708.282	4.9880	-2.700	2.00	0.000
CN	6708.315	2.6400	-1.719	0.00	7.730
Fe I	6708.347	5.4860	-2.580	2.00	0.000
CN	6708.370	2.6400	-2.540	0.00	7.730
CN	6708.420	0.7680	-3.358	0.00	7.730
Fe I	6708.534	5.5580	-2.936	2.00	0.000
CN	6708.541	2.5000	-1.876	0.00	7.730
Fe I	6708.577	5.4460	-2.684	2.00	0.000
CN	6708.635	1.8700	-1.584	0.00	7.730
CN	6708.963	0.8810	-1.744	0.00	7.730
CN	6708.964	0.6350	-2.379	0.00	7.730
CN	6709.009	0.8160	-2.715	0.00	7.730
CN	6709.010	0.5700	-3.349	0.00	7.730
Fe I	6709.058	5.0100	-3.500	2.00	0.000
CN	6709.064	0.8240	-2.248	0.00	7.730
CN	6709.065	0.5780	-2.886	0.00	7.730
C ₂	6709.270	1.1190	-1.416	0.00	6.297
C ₂	6709.270	1.1320	-1.403	0.00	6.297
C ₂	6709.270	1.1470	-1.391	0.00	6.297
CN	6709.619	0.7240	-2.527	0.00	7.730

Continua na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
CN	6709.619	0.9680	-1.899	0.00	7.730
Zr I	6709.701	0.5200	-2.630	2.00	0.000
Ca I	6709.893	2.9330	-3.165	2.00	0.000
CN	6709.894	0.5860	-2.834	0.00	7.730
CN	6709.894	0.8320	-2.198	0.00	7.730
CN	6710.165	0.8760	-2.092	0.00	7.730
Fe I	6710.316	1.4848	-4.870	2.00	0.000
CN	6710.515	0.9680	-1.893	0.00	7.730
CN	6710.516	0.7240	-2.520	0.00	7.730

A Tabela A.2 mostra a lista de linhas utilizada na determinação das abundâncias de C, construída através do código *linemake*¹ com dados moleculares de Masseron et al. (2014).

Tabela A.2 - Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias de C.

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4290.001	0.730	-3.073	3.466
¹² CH	4290.007	0.672	-3.299	3.466
¹³ CH	4290.008	0.670	-3.290	3.466
¹³ CH	4290.017	0.728	-1.647	3.466
¹² C ₂	4290.018	0.910	-4.230	6.244
¹² CH	4290.033	0.672	-3.290	3.466
C ₂	4290.054	0.910	-4.250	6.244
¹² CH	4290.056	0.730	-1.647	3.466
Mn I	4290.066	4.662	-0.950	0.000
Cr I	4290.096	5.130	-4.240	0.000
C ₂	4290.119	1.664	-8.510	6.244

Continua na próxima página

¹ <https://github.com/vmplacco/linemake>. Curador: Vinicius Placco.

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Mo I	4290.170	2.678	-0.810	0.000
Cr I	4290.177	4.204	-2.940	0.000
Er II	4290.187	1.350	-2.360	0.000
¹² C ¹⁴ N	4290.188	3.281	-4.700	7.724
Ti I	4290.194	2.406	-2.010	0.000
Co I	4290.200	2.868	-2.630	0.000
Ti II	4290.215	1.164	-0.870	0.000
¹² C ¹⁴ N	4290.217	3.281	-2.140	7.724
Ti II	4290.219	1.165	-1.118	0.000
Fe I	4290.227	3.414	-3.570	0.000
¹² C ¹⁴ N	4290.256	3.281	-2.170	7.724
Ni I	4290.264	3.396	-2.290	0.000
Cr I	4290.289	3.142	-3.040	0.000
V I	4290.311	2.503	-6.820	0.000
C ₂	4290.311	0.762	-6.880	6.244
Fe I	4290.317	3.414	-2.560	0.000
¹² C ¹³ C	4290.327	0.300	-7.750	6.244
¹² C ¹³ C	4290.350	0.300	-8.020	6.244
Ti II	4290.353	2.060	-1.530	0.000
Fe I	4290.379	2.988	-1.790	0.000
Cr I	4290.396	4.571	-3.880	0.000
V I	4290.403	1.871	-6.180	0.000
Fe I	4290.428	4.151	-1.860	0.000
Ce II	4290.428	0.559	-1.570	0.000
Ti I	4290.458	2.152	-2.290	0.000
C ₂	4290.474	0.525	-7.850	6.244
Cr I	4290.534	3.844	-2.570	0.000
C ₂	4290.583	1.315	-6.580	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ce II	4290.594	0.559	-1.480	0.000
Mn I	4290.620	4.329	-2.520	0.000
Fe I	4290.624	3.632	-4.660	0.000
C ₂	4290.714	0.525	-4.580	6.244
V II	4290.729	1.702	-3.690	0.000
Ti I	4290.734	3.059	-3.410	0.000
C ₂	4290.753	0.525	-4.590	6.244
Ca I	4290.760	6.017	-3.640	0.000
Ca I	4290.813	6.017	-3.010	0.000
Sm I	4290.821	0.282	-1.940	0.000
¹² CH	4290.840	0.580	-3.454	3.466
Fe I	4290.864	2.829	-2.070	0.000
Fe I	4290.865	2.832	-2.070	0.000
C ₂	4290.900	0.378	-8.230	6.244
¹³ CH	4290.914	0.577	-3.454	3.466
C ₂	4290.923	0.378	-5.040	6.244
C ₂	4290.927	1.678	-6.880	6.244
Ti I	4290.929	0.812	-0.410	0.000
¹² CH	4290.930	0.580	-1.069	3.466
¹² CH	4290.944	0.580	-1.049	3.466
Nd II	4290.950	1.401	-0.270	0.000
Ca I	4290.974	6.035	-4.440	0.000
Cr I	4290.977	4.609	-1.910	0.000
Ti I	4290.979	2.295	-2.890	0.000
Pr II	4290.990	1.050	-0.710	0.000
¹² C ¹⁴ N	4291.000	3.287	-4.740	7.724
¹² CH	4291.002	0.644	-1.030	3.466
¹³ CH	4291.002	0.577	-1.069	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Na I	4291.004	2.104	-2.881	0.000
Na I	4291.005	2.103	-2.890	0.000
^{12}CH	4291.011	0.644	-3.501	3.466
^{13}CH	4291.015	0.577	-1.049	3.466
C_2	4291.015	0.378	-5.110	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4291.031	3.287	-2.110	7.724
^{12}CH	4291.041	0.580	-3.542	3.466
Ti II	4291.051	5.643	-3.850	0.000
^{13}CH	4291.056	0.640	-1.030	3.466
^{13}CH	4291.067	0.640	-3.501	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4291.071	3.287	-2.140	7.724
^{12}CH	4291.084	0.359	-1.840	3.466
^{12}CH	4291.104	0.644	-3.544	3.466
^{13}CH	4291.105	0.577	-3.541	3.466
^{12}CH	4291.111	0.644	-1.048	3.466
^{13}CH	4291.114	0.358	-1.840	3.466
^{12}CH	4291.118	0.021	-1.799	3.466
Ti I	4291.126	2.266	0.020	0.000
^{13}CH	4291.150	0.640	-3.544	3.466
^{13}CH	4291.161	0.640	-1.048	3.466
Re I	4291.171	2.059	-0.940	0.000
^{12}CH	4291.172	0.359	-1.840	3.466
Zr I	4291.178	0.542	-1.370	0.000
Nb I	4291.183	1.042	-0.960	0.000
^{13}CH	4291.185	0.021	-1.799	3.466
Mo I	4291.195	3.075	-0.730	0.000
Ti I	4291.196	1.738	-2.340	0.000
Ti II	4291.206	5.634	-4.180	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4291.208	0.021	-1.799	3.466
^{13}CH	4291.209	0.358	-1.840	3.466
Ti I	4291.220	0.840	-1.150	0.000
C_2	4291.225	0.688	-7.380	6.244
C_2	4291.238	0.385	-6.910	6.244
Ca I	4291.251	2.930	-1.370	0.000
^{13}CH	4291.271	0.021	-1.799	3.466
V I	4291.290	1.852	-0.730	0.000
Mn I	4291.296	4.265	-3.440	0.000
Ti I	4291.299	0.835	-3.960	0.000
C_2	4291.299	0.895	-7.310	6.244
C_2	4291.317	0.955	-4.270	6.244
C_2	4291.318	0.895	-4.190	6.244
Mo I	4291.345	2.068	-2.810	0.000
Zr I	4291.347	0.519	-1.390	0.000
S II	4291.427	16.100	-0.811	0.000
Fe I	4291.428	2.725	-3.000	0.000
C_2	4291.456	0.895	-4.250	6.244
Fe I	4291.463	0.052	-4.080	0.000
Fe I	4291.464	0.050	-4.420	0.000
Fe I	4291.470	1.560	-3.620	0.000
Fe I	4291.472	1.560	-3.620	0.000
Fe I	4291.473	1.556	-3.740	0.000
C_2	4291.474	0.688	-4.160	6.244
V I	4291.475	2.372	-7.380	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4291.488	0.469	-8.720	6.244
Ti I	4291.493	2.343	-1.710	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4291.511	0.469	-5.420	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4291.518	0.688	-4.180	6.244
¹² C ¹³ C	4291.580	0.469	-5.500	6.244
Fe I	4291.594	4.412	-3.220	0.000
C ₂	4291.620	0.956	-0.830	6.244
Co I	4291.655	3.949	-2.810	0.000
Re I	4291.668	1.811	-1.360	0.000
C ₂	4291.677	0.987	-6.500	6.244
Cr I	4291.679	2.965	-5.770	0.000
C ₂	4291.703	0.225	-7.740	6.244
¹³ CH	4291.718	0.893	-2.223	3.466
Fe I	4291.735	2.938	-6.250	0.000
Sc I	4291.758	2.336	-4.370	0.000
Cr I	4291.763	4.613	-2.570	0.000
C ₂	4291.767	0.557	-6.670	6.244
¹³ CH	4291.790	0.893	-7.122	3.466
Th I	4291.810	1.021	-0.770	0.000
V I	4291.814	2.136	0.530	0.000
¹² CH	4291.827	0.359	-2.775	3.466
¹² C ¹⁴ N	4291.829	3.293	-4.770	7.724
Mn I	4291.849	4.265	-3.830	0.000
¹³ CH	4291.850	0.358	-2.775	3.466
Ti I	4291.855	2.316	-1.530	0.000
Mn II	4291.863	7.376	-3.400	0.000
¹² C ¹⁴ N	4291.863	3.293	-2.090	7.724
Ce II	4291.874	0.674	-2.280	0.000
¹² C ¹³ C	4291.877	0.469	-8.940	6.244
¹³ CH	4291.889	0.893	-2.356	3.466
¹² CH	4291.892	0.359	-2.770	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4291.893	0.021	-2.751	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4291.904	3.293	-2.110	7.724
^{13}CH	4291.915	0.358	-2.770	3.466
Cr I	4291.941	3.422	-0.479	0.000
^{13}CH	4291.954	0.021	-2.751	3.466
Dy I	4291.955	0.512	-0.590	0.000
Cr I	4291.957	3.419	-0.480	0.000
Cr I	4291.960	3.875	-1.030	0.000
^{12}CH	4291.961	0.021	-2.746	3.466
^{12}CH	4291.975	0.359	-1.737	3.466
Co I	4291.978	3.565	-1.700	0.000
^{13}CH	4291.995	0.358	-1.737	3.466
^{13}CH	4292.020	0.021	-2.746	3.466
Nb I	4292.029	0.049	-1.410	0.000
^{13}CH	4292.040	1.838	-5.546	3.466
^{12}CH	4292.041	0.021	-1.696	3.466
^{13}CH	4292.068	0.358	-1.738	3.466
Ni I	4292.069	4.086	-1.040	0.000
V I	4292.077	2.357	-4.040	0.000
^{13}CH	4292.102	0.021	-1.696	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4292.104	0.469	-5.490	6.244
^{12}CH	4292.110	0.021	-1.697	3.466
Fe I	4292.117	2.174	-3.040	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4292.118	0.470	-5.500	6.244
Fe I	4292.129	2.590	-2.960	0.000
Mo I	4292.134	1.380	-1.020	0.000
N I	4292.160	12.010	-2.211	0.000
Fe I	4292.163	2.586	-3.370	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4292.170	0.021	-1.697	3.466
Sm II	4292.180	0.333	-0.910	0.000
^{13}CH	4292.212	1.867	-9.172	3.466
Mn II	4292.237	5.376	-2.230	0.000
V I	4292.241	2.377	-1.650	0.000
Co I	4292.247	2.784	-1.680	0.000
C_2	4292.262	1.299	-6.820	6.244
Fe I	4292.284	2.198	-2.780	0.000
V I	4292.300	2.377	-6.080	0.000
V I	4292.306	3.284	-3.850	0.000
Fe I	4292.313	2.431	-4.710	0.000
Ni I	4292.341	3.895	-1.160	0.000
^{12}CH	4292.374	0.992	-1.422	3.466
Mn II	4292.383	5.516	-2.960	0.000
C_2	4292.390	0.509	-7.640	6.244
Co II	4292.420	5.171	-6.430	0.000
C_2	4292.425	0.509	-4.510	6.244
^{12}CH	4292.467	0.992	-5.850	3.466
Nb I	4292.473	1.120	-0.880	0.000
Co I	4292.494	3.927	-3.940	0.000
Mn II	4292.518	5.105	-4.800	0.000
C_2	4292.533	0.509	-4.590	6.244
^{12}CH	4292.535	0.992	-1.075	3.466
Ca I	4292.540	6.018	-4.670	0.000
Ni I	4292.572	4.085	-2.980	0.000
Ce II	4292.580	0.807	-0.740	0.000
C_2	4292.625	0.750	-6.610	6.244
Ti I	4292.668	1.045	-1.800	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ca I	4292.669	6.036	-3.410	0.000
Ti I	4292.671	1.050	-1.950	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4292.676	3.299	-4.800	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4292.712	3.299	-2.060	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4292.754	3.299	-2.090	7.724
Ti I	4292.763	2.394	-2.350	0.000
Ce II	4292.764	0.560	-0.850	0.000
C_2	4292.812	0.935	-4.250	6.244
C_2	4292.881	0.935	-7.110	6.244
Zn I	4292.885	4.027	-3.530	0.000
Ce II	4292.900	0.674	-1.350	0.000
C_2	4292.945	0.673	-4.090	6.244
^{12}CH	4293.005	0.521	-3.428	3.466
^{12}CH	4293.021	0.582	-3.475	3.466
^{12}CH	4293.025	0.582	-1.049	3.466
C_2	4293.031	0.935	-0.830	6.244
Sc I	4293.035	2.144	-3.780	0.000
Fe I	4293.051	4.206	-4.010	0.000
^{13}CH	4293.067	0.518	-3.428	3.466
^{13}CH	4293.068	0.579	-3.475	3.466
^{13}CH	4293.073	0.579	-1.049	3.466
^{12}CH	4293.088	0.521	-1.091	3.466
C_2	4293.100	0.935	-4.250	6.244
C_2	4293.106	0.673	-4.140	6.244
^{12}CH	4293.108	0.582	-1.069	3.466
^{12}CH	4293.117	0.521	-1.069	3.466
Zr II	4293.117	1.742	-0.800	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4293.144	0.285	-7.740	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4293.147	0.518	-1.091	3.466
^{13}CH	4293.149	0.579	-1.069	3.466
^{13}CH	4293.156	0.579	-3.523	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4293.163	0.285	-8.010	6.244
V I	4293.168	1.802	-2.890	0.000
^{13}CH	4293.179	0.518	-1.069	3.466
C_2	4293.185	0.935	-0.840	6.244
^{12}CH	4293.206	0.521	-3.518	3.466
Ti I	4293.210	3.152	-2.520	0.000
N I	4293.210	12.010	-1.063	0.000
Mo I	4293.215	1.419	-0.800	0.000
C_2	4293.226	1.163	-7.380	6.244
Fe I	4293.245	3.692	-8.570	0.000
^{13}CH	4293.260	0.518	-3.518	3.466
Cr I	4293.265	4.204	-3.260	0.000
V I	4293.279	2.330	-2.720	0.000
Ru I	4293.281	1.122	-1.150	0.000
Co I	4293.318	3.968	-3.200	0.000
V II	4293.327	3.796	-4.360	0.000
Ti I	4293.330	3.152	-2.390	0.000
Ti III	4293.332	19.763	-0.590	0.000
Cr I	4293.378	4.204	-1.220	0.000
Ti I	4293.403	2.493	-3.130	0.000
Sc I	4293.417	3.170	-3.370	0.000
Ti I	4293.441	2.425	-1.020	0.000
C_2	4293.451	0.880	-7.460	6.244
C_2	4293.464	1.164	-4.060	6.244
Ti I	4293.505	3.168	-3.060	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4293.540	3.306	-4.830	7.724
Cr I	4293.546	2.914	-1.206	0.000
Cr I	4293.550	2.911	-1.200	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4293.578	3.306	-2.040	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4293.621	3.306	-2.060	7.724
C_2	4293.647	0.361	-8.440	6.244
C_2	4293.701	0.880	-4.220	6.244
Mo I	4293.734	3.387	-0.910	0.000
Sm I	4293.736	0.185	-1.360	0.000
C_2	4293.743	0.880	-4.250	6.244
V I	4293.744	3.284	-2.440	0.000
^{13}CH	4293.761	1.014	-3.743	3.466
Fe I	4293.798	2.431	-3.480	0.000
Ti I	4293.823	3.125	-3.870	0.000
C_2	4293.826	0.373	-7.190	6.244
C_2	4293.847	0.975	-6.830	6.244
Ti I	4293.853	2.343	-4.740	0.000
Mo I	4293.880	1.359	-1.320	0.000
Ca I	4293.883	4.765	-3.010	0.000
C_2	4293.901	0.361	-5.110	6.244
C_2	4293.911	0.361	-5.130	6.244
^{13}CH	4293.924	1.014	-3.724	3.466
^{12}CH	4293.940	1.955	-5.808	3.466
^{12}CH	4293.941	1.017	-3.743	3.466
Os I	4293.948	1.840	-0.610	0.000
Fe I	4293.958	4.298	-3.820	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4293.967	0.451	-8.700	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4293.993	0.451	-5.420	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
P I	4293.997	6.980	-2.000	0.000
Fe I	4294.038	2.557	-2.640	0.000
¹² C ¹³ C	4294.063	0.451	-5.500	6.244
Mn II	4294.066	5.376	-6.220	0.000
¹³ CH	4294.094	0.708	-1.753	3.466
Ti II	4294.099	1.083	-1.110	0.000
W I	4294.099	1.649	-1.100	0.000
¹² CH	4294.109	1.017	-3.724	3.466
Fe I	4294.125	1.484	-1.110	0.000
¹² CH	4294.151	0.711	-1.753	3.466
C ₂	4294.166	1.146	-4.000	6.244
Nd II	4294.177	0.932	-0.730	0.000
C ₂	4294.177	1.284	-6.560	6.244
Mn I	4294.186	4.255	-3.800	0.000
C ₂	4294.196	1.146	-7.220	6.244
C ₂	4294.205	0.546	-6.970	6.244
Ti I	4294.272	2.316	-1.760	0.000
¹³ CH	4294.297	0.709	-1.753	3.466
C ₂	4294.331	1.147	-4.060	6.244
V I	4294.337	3.275	-4.390	0.000
¹² C ¹³ C	4294.337	0.451	-8.910	6.244
¹² CH	4294.356	0.711	-1.753	3.466
Ta I	4294.380	1.654	-1.240	0.000
S II	4294.402	16.135	0.575	0.000
¹² C ¹⁴ N	4294.423	3.314	-4.870	7.724
Ti I	4294.452	3.176	-1.570	0.000
Mn I	4294.457	5.345	-3.540	0.000
¹² C ¹⁴ N	4294.463	3.314	-2.020	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4294.469	0.211	-7.430	6.244
¹² C ¹⁴ N	4294.506	3.314	-2.040	7.724
¹³ CH	4294.526	0.709	-3.006	3.466
Co II	4294.553	5.171	-6.560	0.000
¹² C ¹³ C	4294.567	0.451	-5.480	6.244
¹² C ¹³ C	4294.582	0.451	-5.490	6.244
¹² CH	4294.583	0.711	-3.006	3.466
¹³ CH	4294.602	0.709	-1.687	3.466
W I	4294.605	0.366	-0.730	0.000
¹³ CH	4294.621	1.066	-4.442	3.466
C ₂	4294.642	0.915	-7.430	6.244
¹² CH	4294.660	0.711	-1.687	3.466
Ti II	4294.688	5.203	-2.750	0.000
¹³ CH	4294.699	0.709	-2.998	3.466
Ti I	4294.708	2.304	-2.250	0.000
C ₂	4294.729	0.915	-4.250	6.244
¹³ CH	4294.754	0.388	-5.206	3.466
¹² CH	4294.758	0.711	-2.998	3.466
Sc II	4294.767	0.605	-1.280	0.000
¹³ CH	4294.775	0.709	-1.687	3.466
Sc II	4294.781	0.610	-1.270	0.000
Hf I	4294.782	0.292	-1.310	0.000
Zr I	4294.789	0.686	-0.530	0.000
Ru I	4294.789	1.062	-1.210	0.000
Cr I	4294.833	3.090	-2.200	0.000
¹² CH	4294.834	0.711	-1.687	3.466
C ₂	4294.851	0.915	-4.250	6.244
C ₂	4294.867	0.494	-7.800	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
C ₂	4294.879	0.739	-6.840	6.244
Ce II	4294.897	0.807	-1.400	0.000
C ₂	4294.905	0.915	-0.830	6.244
Fe I	4294.907	3.265	-2.730	0.000
Dy II	4294.930	2.090	0.040	0.000
C ₂	4294.938	0.915	-0.840	6.244
¹² CH	4294.988	0.523	-3.448	3.466
Ti I	4294.996	2.238	-1.620	0.000
C ₂	4294.999	0.865	-7.260	6.244
¹² CH	4295.006	0.523	-1.070	3.466
Fe I	4295.013	4.188	-4.460	0.000
¹³ CH	4295.025	0.520	-3.448	3.466
C ₂	4295.028	0.865	-4.180	6.244
Th II	4295.036	2.202	-0.280	0.000
C ₂	4295.039	0.915	-0.850	6.244
¹³ CH	4295.041	0.520	-1.070	3.466
Co I	4295.064	3.574	-3.770	0.000
¹² CH	4295.068	0.523	-1.091	3.466
Cr I	4295.086	3.165	-2.970	0.000
¹² CH	4295.088	0.523	-3.500	3.466
¹³ CH	4295.104	0.520	-1.091	3.466
V I	4295.105	2.573	-1.750	0.000
¹² CH	4295.111	0.465	-3.400	3.466
C ₂	4295.117	0.494	-4.570	6.244
¹³ CH	4295.119	0.520	-3.500	3.466
¹² CH	4295.138	1.705	-5.240	3.466
¹³ CH	4295.161	0.462	-3.400	3.466
C ₂	4295.161	0.494	-4.590	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4295.170	0.865	-4.250	6.244
V I	4295.177	1.349	-5.110	0.000
¹² CH	4295.184	0.465	-1.115	3.466
Nd II	4295.220	0.742	-1.360	0.000
¹³ CH	4295.230	0.462	-1.115	3.466
¹² CH	4295.239	0.465	-1.092	3.466
C ₂	4295.254	0.659	-7.350	6.244
¹³ CH	4295.285	0.462	-1.092	3.466
Cr II	4295.299	3.884	-5.370	0.000
¹² CH	4295.312	0.465	-3.493	3.466
¹² C ¹⁴ N	4295.324	3.321	-4.890	7.724
¹³ CH	4295.355	0.462	-3.493	3.466
¹² C ¹⁴ N	4295.367	3.321	-2.000	7.724
V I	4295.378	1.375	-5.560	0.000
Cr I	4295.396	4.614	-1.460	0.000
Fe I	4295.407	4.214	-3.040	0.000
¹² C ¹⁴ N	4295.408	3.321	-2.020	7.724
Ti I	4295.462	2.304	-2.110	0.000
C ₂	4295.513	0.659	-4.170	6.244
C ₂	4295.562	0.659	-4.190	6.244
Nb I	4295.631	1.531	-0.610	0.000
Sm II	4295.708	0.434	-1.950	0.000
C ₂	4295.717	0.344	-8.180	6.244
Ti I	4295.749	0.812	-0.420	0.000
Cr I	4295.749	2.706	-0.720	0.000
C ₂	4295.750	0.344	-5.030	6.244
Ti I	4295.751	0.813	-0.444	0.000
Cr I	4295.757	2.710	-1.670	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ti I	4295.764	1.967	-2.620	0.000
Mn I	4295.768	4.662	-2.200	0.000
Ti I	4295.807	3.109	-3.310	0.000
Fe I	4295.821	4.206	-3.140	0.000
Cr I	4295.828	3.102	-2.170	0.000
C ₂	4295.844	0.344	-5.100	6.244
Ni I	4295.881	3.838	-0.480	0.000
C ₂	4295.883	1.269	-6.790	6.244
C ₂	4295.918	0.963	-6.470	6.244
Ti I	4295.924	3.177	-1.460	0.000
Ru I	4295.926	1.130	-0.840	0.000
V I	4295.934	1.852	-2.380	0.000
¹² C ¹³ C	4295.942	0.270	-7.720	6.244
¹² C ¹³ C	4295.958	0.270	-8.000	6.244
Lu I	4296.002	0.926	-0.650	0.000
V I	4296.028	2.113	-2.270	0.000
Ce II	4296.051	0.822	-0.850	0.000
La II	4296.054	0.772	-0.580	0.000
¹³ CH	4296.057	1.945	-5.732	3.466
¹² CH	4296.058	0.390	-5.205	3.466
Gd II	4296.060	0.499	-0.540	0.000
La II	4296.075	0.770	-0.980	0.000
Ce II	4296.083	1.106	-0.230	0.000
Si I	4296.087	4.950	-2.730	0.000
Cr I	4296.087	4.613	-0.650	0.000
Cr I	4296.089	4.616	-0.654	0.000
V I	4296.098	2.129	0.410	0.000
V I	4296.111	3.296	-3.730	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Mo I	4296.158	3.165	-0.840	0.000
^{13}CH	4296.181	0.348	-1.942	3.466
^{12}CH	4296.184	0.349	-1.942	3.466
Co II	4296.187	3.007	-4.820	0.000
Cr II	4296.198	5.326	-5.350	0.000
C_2	4296.205	0.895	-4.240	6.244
^{13}CH	4296.223	0.348	-1.942	3.466
Os I	4296.224	1.656	-1.710	0.000
^{12}CH	4296.226	0.349	-1.942	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4296.244	3.329	-4.920	7.724
C_2	4296.265	0.895	-7.120	6.244
Cr I	4296.275	3.092	-1.575	0.000
C_2	4296.284	1.695	-8.500	6.244
Mn II	4296.286	5.832	-5.720	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4296.289	3.329	-1.990	7.724
Gd II	4296.306	1.657	-0.200	0.000
C_2	4296.324	0.895	-0.840	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4296.329	3.329	-2.000	7.724
^{13}CH	4296.337	1.287	-3.619	3.466
Ce II	4296.366	0.808	-0.710	0.000
Cr I	4296.380	3.847	-2.650	0.000
^{13}CH	4296.391	1.287	-1.002	3.466
Fe I	4296.392	4.188	-3.830	0.000
C_2	4296.404	0.361	-6.880	6.244
Co I	4296.412	3.574	-2.800	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4296.426	0.433	-8.670	6.244
C_2	4296.429	1.130	-7.350	6.244
C_2	4296.432	0.896	-0.850	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Hf I	4296.452	0.684	-1.680	0.000
^{13}CH	4296.456	1.287	-1.014	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4296.456	0.433	-5.420	6.244
^{13}CH	4296.464	1.215	-3.598	3.466
^{13}CH	4296.466	1.064	-4.947	3.466
^{13}CH	4296.472	1.360	-3.640	3.466
^{12}CH	4296.480	1.293	-3.619	3.466
C_2	4296.492	0.896	-4.230	6.244
^{13}CH	4296.511	1.287	-3.702	3.466
^{13}CH	4296.520	1.360	-0.991	3.466
^{13}CH	4296.525	1.215	-1.014	3.466
Fe I	4296.525	4.555	-3.180	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4296.528	0.433	-5.500	6.244
^{12}CH	4296.553	1.293	-1.002	3.466
Fe II	4296.572	2.702	-3.010	0.000
Fe I	4296.576	4.217	-3.390	0.000
^{13}CH	4296.578	1.215	-1.027	3.466
Ni I	4296.581	4.161	-3.190	0.000
^{12}CH	4296.583	1.221	-3.597	3.466
C_2	4296.585	0.896	-0.860	6.244
^{13}CH	4296.596	1.360	-1.002	3.466
^{12}CH	4296.604	1.293	-1.014	3.466
^{12}CH	4296.608	0.010	-1.899	3.466
Cr I	4296.612	3.847	-1.000	0.000
C_2	4296.612	0.536	-6.630	6.244
Mo I	4296.619	2.068	-1.890	0.000
Cr I	4296.632	3.850	-0.997	0.000
^{13}CH	4296.638	1.215	-3.682	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4296.641	0.010	-1.899	3.466
^{13}CH	4296.645	1.360	-3.722	3.466
^{12}CH	4296.646	1.367	-3.640	3.466
C_2	4296.648	1.130	-4.050	6.244
^{12}CH	4296.653	0.010	-1.899	3.466
^{12}CH	4296.660	1.221	-1.014	3.466
^{12}CH	4296.677	1.293	-3.702	3.466
C_2	4296.679	1.130	-4.070	6.244
^{13}CH	4296.681	0.010	-1.899	3.466
Ce II	4296.681	0.516	0.170	0.000
Ti III	4296.693	19.701	0.760	0.000
^{12}CH	4296.701	1.221	-1.027	3.466
Sr II	4296.707	6.602	-0.720	0.000
^{12}CH	4296.715	1.367	-0.991	3.466
Sm I	4296.739	0.498	0.870	0.000
Zr II	4296.750	1.755	-1.030	0.000
Fe I	4296.759	4.206	-4.260	0.000
Rh I	4296.763	1.675	-1.230	0.000
Fe I	4296.774	4.280	-4.110	0.000
^{12}CH	4296.776	1.367	-1.002	3.466
Zr II	4296.776	1.760	0.200	0.000
^{12}CH	4296.778	1.221	-3.682	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4296.778	0.433	-8.890	6.244
Ce II	4296.779	0.857	-0.040	0.000
C_2	4296.785	0.479	-7.590	6.244
^{13}CH	4296.806	1.426	-1.460	3.466
^{13}CH	4296.809	1.146	-3.575	3.466
^{12}CH	4296.826	1.706	-5.288	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4296.831	0.479	-4.510	6.244
¹² CH	4296.845	1.367	-3.722	3.466
¹³ CH	4296.864	1.426	-1.446	3.466
¹³ CH	4296.876	1.146	-1.027	3.466
¹² CH	4296.900	0.466	-3.419	3.466
¹³ CH	4296.901	1.426	-3.584	3.466
¹² CH	4296.910	1.151	-3.575	3.466
¹³ CH	4296.917	1.146	-1.041	3.466
¹³ CH	4296.918	1.436	-3.661	3.466
V II	4296.918	6.529	-2.920	0.000
¹³ CH	4296.928	0.463	-3.419	3.466
¹² CH	4296.932	0.466	-1.092	3.466
C ₂	4296.942	0.479	-4.590	6.244
¹³ CH	4296.955	1.377	-1.474	3.466
¹³ CH	4296.961	1.436	-0.982	3.466
¹³ CH	4296.962	0.463	-1.092	3.466
Ni I	4296.970	4.150	-1.580	0.000
¹² CH	4296.971	0.466	-1.115	3.466
Cr I	4296.982	0.941	-5.790	0.000
C ₂	4296.982	0.645	-7.140	6.244
¹³ CH	4296.984	1.146	-3.662	3.466
C ₂	4296.985	1.710	-6.900	6.244
¹² CH	4296.992	1.151	-1.027	3.466
C ₂	4296.994	0.645	-4.100	6.244
¹³ CH	4296.999	0.463	-1.115	3.466
¹² CH	4297.006	0.466	-3.476	3.466
¹² C ¹³ C	4297.011	0.433	-5.480	6.244
¹² CH	4297.022	1.151	-1.041	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4297.025	1.377	-1.458	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4297.028	0.433	-5.490	6.244
^{13}CH	4297.029	0.463	-3.476	3.466
Cr I	4297.031	2.709	-1.031	0.000
Cr I	4297.046	2.707	-1.030	0.000
^{13}CH	4297.047	1.436	-0.991	3.466
^{12}CH	4297.057	1.874	-9.171	3.466
^{13}CH	4297.059	1.377	-3.554	3.466
V II	4297.082	6.551	-4.730	0.000
C_2	4297.088	0.851	-7.410	6.244
^{13}CH	4297.089	1.436	-3.741	3.466
Ti I	4297.090	3.164	-3.060	0.000
^{12}CH	4297.097	1.432	-1.460	3.466
V I	4297.099	1.891	-1.600	0.000
^{12}CH	4297.104	1.151	-3.662	3.466
U II	4297.105	0.036	-1.800	0.000
^{12}CH	4297.128	1.432	-1.446	3.466
^{12}CH	4297.132	1.443	-3.661	3.466
^{12}CH	4297.145	0.411	-3.371	3.466
C_2	4297.159	0.645	-4.160	6.244
Gd II	4297.170	1.405	-0.190	0.000
C_2	4297.175	0.729	-6.570	6.244
^{13}CH	4297.183	0.409	-3.371	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4297.183	3.338	-4.950	7.724
Co II	4297.186	3.083	-5.240	0.000
^{12}CH	4297.199	1.443	-0.982	3.466
^{12}CH	4297.203	1.432	-3.584	3.466
^{12}CH	4297.208	0.411	-1.141	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4297.215	0.199	-7.710	6.244
¹² C ¹⁴ N	4297.230	3.338	-1.970	7.724
¹² CH	4297.235	1.382	-1.474	3.466
¹³ CH	4297.243	0.409	-1.141	3.466
¹² CH	4297.267	1.443	-0.991	3.466
¹² C ¹⁴ N	4297.269	3.338	-1.990	7.724
¹³ CH	4297.273	1.478	-1.449	3.466
¹³ CH	4297.277	0.348	-2.627	3.466
¹² CH	4297.284	1.382	-1.458	3.466
¹² CH	4297.285	0.349	-2.627	3.466
¹² CH	4297.285	0.412	-1.116	3.466
¹³ CH	4297.304	0.348	-2.623	3.466
Th I	4297.306	1.387	-0.410	0.000
¹² CH	4297.315	0.349	-2.623	3.466
¹³ CH	4297.320	0.409	-1.116	3.466
¹³ CH	4297.320	1.478	-1.438	3.466
¹³ CH	4297.333	1.079	-3.553	3.466
¹² CH	4297.334	1.443	-3.741	3.466
Nd II	4297.340	0.204	-1.520	0.000
C ₂	4297.347	0.851	-4.220	6.244
¹² CH	4297.348	0.412	-3.467	3.466
¹² CH	4297.350	1.382	-3.554	3.466
¹³ CH	4297.359	1.478	-3.614	3.466
¹³ CH	4297.380	0.409	-3.467	3.466
C ₂	4297.396	0.851	-4.240	6.244
V II	4297.402	6.453	-2.230	0.000
¹³ CH	4297.408	1.079	-1.041	3.466
¹² CH	4297.422	1.084	-3.553	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4297.435	1.079	-1.057	3.466
C_2	4297.435	1.114	-4.010	6.244
C_2	4297.456	1.114	-7.190	6.244
^{13}CH	4297.479	0.348	-1.793	3.466
Fe I	4297.493	4.368	-3.490	0.000
^{12}CH	4297.494	0.349	-1.793	3.466
^{12}CH	4297.505	1.072	-4.947	3.466
^{12}CH	4297.508	1.084	-1.041	3.466
^{13}CH	4297.510	0.348	-1.793	3.466
^{13}CH	4297.510	1.079	-3.641	3.466
Ni I	4297.517	3.396	-3.240	0.000
^{12}CH	4297.523	0.349	-1.793	3.466
^{12}CH	4297.527	1.084	-1.057	3.466
^{12}CH	4297.596	1.484	-1.449	3.466
C_2	4297.602	1.114	-4.070	6.244
Ba II	4297.610	5.693	-3.650	0.000
^{12}CH	4297.612	1.484	-1.438	3.466
^{12}CH	4297.614	1.084	-3.641	3.466
Mo I	4297.634	3.221	-1.310	0.000
^{13}CH	4297.656	1.330	-1.491	3.466
V I	4297.675	2.121	0.290	0.000
^{12}CH	4297.695	1.484	-3.614	3.466
Ru I	4297.708	1.002	-0.050	0.000
^{13}CH	4297.730	1.515	-3.682	3.466
Cr I	4297.732	3.847	0.250	0.000
^{13}CH	4297.740	1.330	-1.472	3.466
Cr I	4297.744	3.850	0.247	0.000
V I	4297.748	2.120	0.240	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4297.755	0.011	-2.602	3.466
^{13}CH	4297.768	1.515	-0.974	3.466
Pr II	4297.770	0.000	-0.430	0.000
^{13}CH	4297.771	1.330	-3.523	3.466
^{13}CH	4297.780	0.011	-2.602	3.466
Nd II	4297.780	0.380	-0.820	0.000
^{12}CH	4297.787	0.011	-2.598	3.466
^{13}CH	4297.811	0.011	-2.598	3.466
C_2	4297.814	1.254	-6.540	6.244
^{13}CH	4297.863	1.515	-0.982	3.466
^{13}CH	4297.901	1.515	-3.759	3.466
Co I	4297.923	3.772	-1.660	0.000
^{12}CH	4297.939	1.335	-1.491	3.466
^{12}CH	4297.968	0.011	-1.751	3.466
^{13}CH	4297.977	0.011	-1.751	3.466
C_2	4297.990	0.876	-7.450	6.244
^{12}CH	4297.998	1.522	-3.682	3.466
^{12}CH	4297.999	0.011	-1.751	3.466
^{13}CH	4298.004	1.014	-3.529	3.466
^{12}CH	4298.006	1.335	-1.472	3.466
V I	4298.028	2.113	0.240	0.000
^{13}CH	4298.030	0.011	-1.751	3.466
Cr I	4298.035	4.614	-0.190	0.000
Fe I	4298.037	3.045	-1.370	0.000
Cr I	4298.060	4.618	-0.188	0.000
^{12}CH	4298.062	1.522	-0.974	3.466
^{12}CH	4298.063	1.335	-3.523	3.466
^{12}CH	4298.082	1.019	-3.529	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4298.083	0.951	-6.810	6.244
C ₂	4298.085	0.876	-4.240	6.244
¹³ CH	4298.086	1.014	-1.057	3.466
Fe I	4298.097	3.045	-5.890	0.000
¹³ CH	4298.099	1.014	-1.074	3.466
¹² CH	4298.138	1.522	-0.982	3.466
¹² C ¹⁴ N	4298.141	3.347	-4.980	7.724
Cr I	4298.171	4.443	-0.800	0.000
¹² CH	4298.175	1.019	-1.057	3.466
Ti I	4298.178	3.059	-2.180	0.000
Ca I	4298.179	4.776	-3.390	0.000
¹³ CH	4298.181	1.014	-3.620	3.466
Ca I	4298.188	4.760	-2.470	0.000
¹² C ¹⁴ N	4298.190	3.347	-1.960	7.724
¹² CH	4298.193	1.019	-1.074	3.466
Fe I	4298.197	3.110	-2.420	0.000
Fe I	4298.201	3.109	-1.520	0.000
¹² CH	4298.202	1.522	-3.759	3.466
C ₂	4298.204	0.876	-4.230	6.244
V I	4298.222	2.573	-1.330	0.000
¹² C ¹⁴ N	4298.227	3.347	-1.970	7.724
Mn I	4298.263	4.270	-1.040	0.000
C ₂	4298.264	0.876	-0.850	6.244
¹² CH	4298.273	1.019	-3.620	3.466
W II	4298.283	2.879	-1.360	0.000
Ni I	4298.296	3.594	-4.560	0.000
C ₂	4298.299	0.876	-0.860	6.244
Zn I	4298.328	5.791	-2.130	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ca I	4298.340	6.022	-6.490	0.000
Ni I	4298.352	3.895	-1.770	0.000
Tm I	4298.364	1.625	-0.050	0.000
Ti I	4298.369	2.504	-2.790	0.000
C ₂	4298.379	0.328	-8.390	6.244
C ₂	4298.402	0.876	-0.870	6.244
¹³ CH	4298.424	1.532	-1.440	3.466
Gd II	4298.429	1.710	-0.650	0.000
¹³ CH	4298.462	1.532	-1.432	3.466
¹³ CH	4298.500	1.532	-3.643	3.466
Ni I	4298.507	3.838	-1.390	0.000
Ni I	4298.516	3.840	-1.390	0.000
Nd II	4298.580	0.559	-1.970	0.000
¹³ CH	4298.623	1.378	-1.458	3.466
C ₂	4298.642	0.328	-5.100	6.244
C ₂	4298.656	0.328	-5.120	6.244
C ₂	4298.657	0.837	-7.210	6.244
¹³ CH	4298.663	1.428	-1.447	3.466
Ti I	4298.666	0.818	-0.110	0.000
Mn I	4298.695	4.270	-2.850	0.000
C ₂	4298.697	0.837	-4.170	6.244
Fe I	4298.698	3.366	-2.750	0.000
¹³ CH	4298.701	1.378	-1.474	3.466
¹² C ¹³ C	4298.720	0.256	-7.710	6.244
Eu I	4298.729	1.707	0.240	0.000
¹³ CH	4298.730	1.378	-3.527	3.466
¹² C ¹³ C	4298.732	0.256	-7.990	6.244
Cr I	4298.746	2.965	-2.650	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4298.747	0.413	-3.389	3.466
Ni I	4298.760	0.422	-4.650	0.000
^{13}CH	4298.766	0.410	-3.389	3.466
^{13}CH	4298.772	1.428	-1.460	3.466
^{13}CH	4298.785	1.428	-3.556	3.466
^{12}CH	4298.789	1.383	-1.458	3.466
^{13}CH	4298.789	0.952	-3.505	3.466
^{12}CH	4298.797	0.413	-1.116	3.466
^{12}CH	4298.801	1.433	-1.447	3.466
^{13}CH	4298.811	0.410	-1.116	3.466
^{12}CH	4298.813	0.413	-1.141	3.466
^{12}CH	4298.821	1.539	-1.440	3.466
^{12}CH	4298.822	1.539	-1.432	3.466
^{13}CH	4298.822	0.410	-1.141	3.466
^{12}CH	4298.826	1.383	-1.474	3.466
Th II	4298.828	1.547	-1.010	0.000
C_2	4298.844	0.837	-4.250	6.244
Co I	4298.845	3.968	-2.570	0.000
^{13}CH	4298.849	0.692	-1.812	3.466
^{13}CH	4298.853	1.286	-1.510	3.466
^{12}CH	4298.855	1.383	-3.527	3.466
^{12}CH	4298.859	0.413	-3.451	3.466
^{12}CH	4298.860	1.433	-1.460	3.466
^{12}CH	4298.861	0.957	-3.505	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4298.866	0.415	-8.650	6.244
^{13}CH	4298.874	0.410	-3.451	3.466
^{12}CH	4298.876	1.433	-3.556	3.466
^{13}CH	4298.877	0.952	-1.092	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4298.880	0.952	-1.074	3.466
Mo I	4298.884	2.258	-1.950	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4298.900	0.415	-5.410	6.244
Dy I	4298.908	1.238	-0.180	0.000
^{12}CH	4298.913	1.539	-3.643	3.466
^{12}CH	4298.926	0.694	-1.812	3.466
C_2	4298.943	0.350	-7.160	6.244
^{13}CH	4298.954	1.286	-1.488	3.466
^{12}CH	4298.962	0.957	-1.074	3.466
^{12}CH	4298.962	0.957	-1.092	3.466
^{13}CH	4298.968	0.952	-3.598	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4298.972	0.415	-5.490	6.244
^{13}CH	4298.973	1.595	-3.703	3.466
^{13}CH	4298.981	1.286	-3.491	3.466
Ca I	4298.988	1.884	-0.410	0.000
^{13}CH	4298.989	0.692	-1.812	3.466
^{13}CH	4299.006	1.595	-0.967	3.466
C_2	4299.007	0.526	-6.950	6.244
^{12}CH	4299.051	0.957	-3.598	3.466
^{12}CH	4299.068	0.694	-1.812	3.466
V I	4299.072	2.576	-0.470	0.000
Ce II	4299.087	0.495	-1.110	0.000
^{12}CH	4299.098	0.361	-3.340	3.466
^{13}CH	4299.108	1.698	-11.949	3.466
V II	4299.109	3.800	-4.440	0.000
^{13}CH	4299.110	1.595	-0.974	3.466
Fe I	4299.118	4.188	-2.560	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.118	3.356	-5.010	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4299.124	0.359	-3.340	3.466
Sm I	4299.133	0.036	-1.190	0.000
^{13}CH	4299.142	1.595	-3.778	3.466
^{12}CH	4299.144	1.290	-1.510	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.146	3.439	-2.410	7.724
^{12}CH	4299.149	0.361	-1.170	3.466
^{13}CH	4299.149	1.331	-1.472	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.150	3.446	-2.390	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.170	3.356	-1.950	7.724
^{13}CH	4299.173	0.359	-1.170	3.466
Ti I	4299.176	0.825	-3.940	0.000
C_2	4299.183	0.464	-7.750	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.196	3.439	-5.130	7.724
^{13}CH	4299.197	1.331	-1.491	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4299.199	0.415	-8.870	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.203	3.356	-1.960	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.203	3.446	-5.170	7.724
Ti I	4299.206	1.748	-0.120	0.000
C_2	4299.216	0.631	-7.320	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.219	3.433	-2.430	7.724
^{12}CH	4299.231	1.290	-1.488	3.466
Fe I	4299.234	2.424	-0.430	0.000
Fe I	4299.240	3.265	-2.540	0.000
^{13}CH	4299.241	1.331	-3.498	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.246	3.453	-2.380	7.724
Ti I	4299.249	1.750	-0.350	0.000
Fe I	4299.250	2.420	-0.720	0.000
^{12}CH	4299.251	0.361	-1.142	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.266	3.433	-5.100	7.724
^{13}CH	4299.274	0.359	-1.142	3.466
^{12}CH	4299.279	1.290	-3.491	3.466
Gd I	4299.291	0.790	0.230	0.000
^{12}CH	4299.302	0.361	-3.440	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.302	3.453	-5.200	7.724
^{12}CH	4299.310	1.602	-3.703	3.466
^{13}CH	4299.324	0.359	-3.440	3.466
^{13}CH	4299.332	1.480	-1.438	3.466
^{12}CH	4299.349	1.336	-1.472	3.466
Sm II	4299.350	0.543	-1.510	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.354	3.439	-2.390	7.724
Ce II	4299.357	0.175	-0.560	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.357	3.427	-2.450	7.724
^{12}CH	4299.363	1.336	-1.491	3.466
Ce II	4299.367	0.170	0.600	0.000
^{12}CH	4299.372	1.602	-0.967	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.382	3.446	-2.380	7.724
^{13}CH	4299.390	0.693	-2.915	3.466
V I	4299.392	2.364	-6.060	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4299.394	0.698	-8.180	6.244
C_2	4299.396	0.719	-6.800	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.400	3.427	-5.070	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.405	3.433	-2.410	7.724
^{12}CH	4299.406	1.336	-3.498	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4299.436	0.415	-5.470	6.244
^{13}CH	4299.442	0.339	-2.030	3.466
C_2	4299.442	0.464	-4.570	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.451	3.460	-2.370	7.724
^{12}CH	4299.454	1.602	-0.974	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4299.454	0.415	-5.480	6.244
^{12}CH	4299.458	1.486	-1.438	3.466
^{13}CH	4299.466	0.339	-2.030	3.466
Fe I	4299.467	3.249	-3.090	0.000
^{12}CH	4299.471	0.695	-2.915	3.466
^{13}CH	4299.471	1.480	-1.449	3.466
^{13}CH	4299.471	1.480	-3.584	3.466
^{12}CH	4299.482	0.340	-2.030	3.466
C_2	4299.485	0.631	-4.180	6.244
C_2	4299.491	0.464	-4.580	6.244
^{13}CH	4299.493	0.693	-1.732	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4299.497	0.698	-8.500	6.244
^{12}CH	4299.502	0.340	-2.030	3.466
^{13}CH	4299.502	0.693	-2.908	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.503	3.453	-2.370	7.724
^{13}CH	4299.506	1.217	-1.014	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.509	3.460	-5.230	7.724
Cr I	4299.513	4.204	-1.830	0.000
^{12}CH	4299.516	1.602	-3.778	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.522	3.427	-2.430	7.724
^{12}CH	4299.537	1.485	-1.449	3.466
C_2	4299.538	0.857	-4.220	6.244
^{13}CH	4299.540	1.217	-3.624	3.466
^{12}CH	4299.541	1.486	-3.584	3.466
C_2	4299.541	0.631	-4.200	6.244
C_2	4299.543	1.240	-6.770	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4299.549	3.422	-2.470	7.724
¹² C ¹³ C	4299.550	0.698	-5.170	6.244
Cr I	4299.561	4.444	-4.180	0.000
¹² CH	4299.578	0.695	-1.732	3.466
¹³ CH	4299.580	1.289	-1.002	3.466
¹² CH	4299.584	0.695	-2.908	3.466
¹³ CH	4299.586	1.016	-5.790	3.466
Nb I	4299.588	0.656	-0.740	0.000
C ₂	4299.590	0.857	-7.140	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4299.590	3.422	-5.030	7.724
¹² C ¹³ C	4299.596	0.698	-5.160	6.244
Ti II	4299.603	5.229	-2.300	0.000
¹³ CH	4299.605	0.693	-1.733	3.466
¹³ CH	4299.619	1.217	-3.658	3.466
¹³ CH	4299.620	1.289	-3.647	3.466
Fe I	4299.628	3.020	-2.860	0.000
Ti I	4299.629	0.825	-0.910	0.000
Fe I	4299.629	3.015	-2.590	0.000
C ₂	4299.630	1.099	-7.320	6.244
Ti I	4299.645	0.830	-0.490	0.000
C	4299.645	7.940	-3.880	0.000
¹³ CH	4299.652	1.147	-1.027	3.466
¹³ CH	4299.654	1.217	-1.027	3.466
¹² CH	4299.660	1.223	-1.014	3.466
¹² C ¹³ C	4299.663	0.698	-1.610	6.244
¹³ CH	4299.664	0.893	-3.480	3.466
C ₂	4299.667	0.857	-0.860	6.244
¹³ CH	4299.680	1.147	-3.601	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4299.689	0.695	-1.733	3.466
Nd II	4299.690	0.182	-1.340	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.696	3.422	-2.450	7.724
^{13}CH	4299.699	1.289	-3.677	3.466
^{12}CH	4299.704	1.223	-3.624	3.466
Cr I	4299.707	2.899	-0.927	0.000
Cr I	4299.710	2.897	-1.040	0.000
Fe II	4299.721	7.711	-4.660	0.000
^{12}CH	4299.731	0.897	-3.480	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.736	3.460	-2.350	7.724
^{13}CH	4299.739	1.289	-1.014	3.466
^{13}CH	4299.742	0.893	-1.112	3.466
^{12}CH	4299.757	1.295	-1.002	3.466
^{13}CH	4299.760	1.147	-3.639	3.466
^{13}CH	4299.764	0.893	-1.092	3.466
C_2	4299.775	0.857	-0.870	6.244
^{12}CH	4299.777	1.223	-3.658	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.784	3.468	-2.350	7.724
^{13}CH	4299.788	1.147	-1.041	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.788	3.417	-2.500	7.724
^{12}CH	4299.789	1.153	-1.027	3.466
^{12}CH	4299.809	1.295	-3.646	3.466
^{12}CH	4299.822	1.223	-1.027	3.466
^{12}CH	4299.825	1.153	-3.601	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.825	3.417	-4.990	7.724
^{12}CH	4299.826	0.897	-1.112	3.466
C_2	4299.827	0.857	-4.220	6.244
Fe I	4299.831	3.500	-1.680	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4299.834	0.698	-1.610	6.244
Th I	4299.839	1.387	-0.220	0.000
^{13}CH	4299.840	0.664	-3.012	3.466
^{13}CH	4299.840	0.664	-3.018	3.466
^{12}CH	4299.844	0.897	-1.092	3.466
^{13}CH	4299.844	0.893	-3.575	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.846	3.468	-5.260	7.724
C_2	4299.856	1.099	-4.060	6.244
Cr II	4299.864	7.767	-1.360	0.000
^{12}CH	4299.880	1.295	-3.677	3.466
Cr I	4299.892	3.102	-1.840	0.000
C_2	4299.894	1.099	-4.080	6.244
^{12}CH	4299.900	1.153	-3.639	3.466
Re I	4299.916	2.968	-0.650	0.000
^{12}CH	4299.918	0.666	-3.018	3.466
^{13}CH	4299.918	1.363	-0.992	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4299.918	3.417	-2.470	7.724
^{12}CH	4299.921	0.666	-3.012	3.466
^{12}CH	4299.921	0.897	-3.575	3.466
C_2	4299.927	0.857	-0.880	6.244
^{12}CH	4299.931	1.295	-1.014	3.466
^{12}CH	4299.936	1.153	-1.041	3.466
C_2	4299.944	0.186	-7.400	6.244
^{13}CH	4299.963	1.363	-3.669	3.466
^{13}CH	4299.981	1.080	-1.041	3.466
^{13}CH	4300.001	1.080	-3.577	3.466
^{13}CH	4300.002	1.948	-5.807	3.466
^{13}CH	4300.042	1.363	-3.696	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ti II	4300.042	1.179	-0.460	0.000
Ti II	4300.049	1.180	-0.767	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.066	3.412	-2.530	7.724
^{13}CH	4300.083	1.080	-3.619	3.466
^{13}CH	4300.087	1.363	-1.002	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.101	3.412	-4.950	7.724
^{13}CH	4300.103	1.080	-1.057	3.466
^{12}CH	4300.104	1.085	-1.041	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.116	3.366	-5.030	7.724
Fe I	4300.121	3.036	-6.250	0.000
^{12}CH	4300.123	1.369	-0.992	3.466
Cr I	4300.125	4.102	-3.670	0.000
^{12}CH	4300.131	1.086	-3.577	3.466
C_2	4300.136	0.940	-6.440	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.169	3.366	-1.940	7.724
Ca I	4300.172	5.916	-3.930	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.180	3.412	-2.500	7.724
^{12}CH	4300.182	1.369	-3.669	3.466
^{13}CH	4300.186	1.287	-1.488	3.466
Mn I	4300.189	4.636	-0.620	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.200	3.366	-1.950	7.724
^{13}CH	4300.203	1.287	-1.510	3.466
Fe I	4300.204	3.879	-1.810	0.000
^{12}CH	4300.209	1.085	-3.619	3.466
^{12}CH	4300.236	1.086	-1.057	3.466
Co I	4300.237	3.927	-1.960	0.000
Mn II	4300.249	5.376	-2.880	0.000
^{12}CH	4300.252	1.369	-3.696	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4300.264	1.287	-3.467	3.466
Cr I	4300.265	4.201	-1.460	0.000
^{13}CH	4300.283	0.002	-1.990	3.466
^{12}CH	4300.301	0.002	-1.990	3.466
^{12}CH	4300.310	1.369	-1.002	3.466
Ce II	4300.318	0.450	0.470	0.000
^{13}CH	4300.321	0.002	-1.990	3.466
^{12}CH	4300.324	0.002	-1.990	3.466
Ce II	4300.328	0.445	-0.210	0.000
Mn II	4300.332	5.811	-4.760	0.000
^{13}CH	4300.333	1.589	-1.434	3.466
C_2	4300.345	0.683	-7.790	6.244
^{13}CH	4300.364	1.589	-1.429	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.379	3.408	-2.560	7.724
^{13}CH	4300.402	1.589	-3.673	3.466
Cr I	4300.403	4.614	-2.550	0.000
^{12}CH	4300.407	1.291	-1.510	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.410	3.408	-4.910	7.724
La II	4300.413	0.000	-2.800	0.000
^{12}CH	4300.418	1.291	-1.488	3.466
La II	4300.419	0.000	-2.630	0.000
La II	4300.420	0.000	-2.800	0.000
La II	4300.426	0.000	-2.620	0.000
Ti I	4300.427	3.173	-1.670	0.000
La II	4300.427	0.000	-3.300	0.000
La II	4300.428	0.000	-2.630	0.000
C_2	4300.435	0.683	-4.420	6.244
La II	4300.436	0.000	-2.780	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
La II	4300.437	0.000	-2.600	0.000
La II	4300.438	0.000	-2.620	0.000
Ca I	4300.446	6.041	-1.130	0.000
V II	4300.446	5.533	-2.930	0.000
C ₂	4300.448	0.312	-8.130	6.244
La II	4300.450	0.000	-2.210	0.000
La II	4300.451	0.000	-2.780	0.000
¹³ CH	4300.459	1.016	-1.057	3.466
V II	4300.465	6.096	-4.690	0.000
¹² CH	4300.466	1.291	-3.467	3.466
¹³ CH	4300.471	1.016	-3.553	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4300.479	3.408	-2.530	7.724
Ti I	4300.485	2.159	-0.630	0.000
C ₂	4300.490	0.312	-5.020	6.244
¹³ CH	4300.496	1.244	-1.531	3.466
Cr I	4300.498	3.435	-0.433	0.000
Cr I	4300.502	3.432	-0.430	0.000
¹² CH	4300.519	0.362	-3.356	3.466
Ca I	4300.519	6.024	-4.910	0.000
Fe I	4300.520	2.607	-3.890	0.000
Fe I	4300.526	3.234	-7.140	0.000
¹³ CH	4300.528	0.360	-3.356	3.466
Ti I	4300.554	0.825	0.100	0.000
¹³ CH	4300.555	1.016	-3.599	3.466
¹³ CH	4300.566	1.016	-1.074	3.466
¹² CH	4300.568	0.362	-1.170	3.466
¹³ CH	4300.569	1.439	-0.982	3.466
¹² CH	4300.572	1.021	-1.057	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ti I	4300.573	0.830	0.640	0.000
^{13}CH	4300.580	0.360	-1.170	3.466
Ca I	4300.583	6.041	-4.090	0.000
^{12}CH	4300.585	0.362	-1.142	3.466
^{12}CH	4300.588	1.021	-3.553	3.466
C_2	4300.588	0.312	-5.100	6.244
^{13}CH	4300.597	0.360	-1.142	3.466
^{13}CH	4300.603	0.836	-3.453	3.466
^{13}CH	4300.616	1.244	-1.506	3.466
^{13}CH	4300.618	1.439	-3.691	3.466
^{13}CH	4300.638	1.244	-3.457	3.466
^{12}CH	4300.639	0.362	-3.425	3.466
Ca I	4300.643	6.041	-3.480	0.000
^{13}CH	4300.645	0.360	-3.425	3.466
Ti II	4300.652	5.212	-2.960	0.000
Fe II	4300.656	7.863	-2.550	0.000
^{12}CH	4300.667	0.840	-3.453	3.466
^{12}CH	4300.669	1.021	-3.599	3.466
^{13}CH	4300.675	0.836	-1.134	3.466
C_2	4300.683	0.823	-7.360	6.244
^{12}CH	4300.686	1.021	-1.074	3.466
C_2	4300.697	1.083	-4.010	6.244
^{13}CH	4300.698	1.439	-3.714	3.466
^{13}CH	4300.699	1.534	-1.432	3.466
C_2	4300.708	1.083	-7.150	6.244
^{13}CH	4300.712	0.836	-1.112	3.466
^{13}CH	4300.718	1.677	-3.725	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.721	3.404	-2.600	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4300.744	4.000	-1.700	0.000
^{13}CH	4300.745	1.677	-0.962	3.466
^{12}CH	4300.747	0.840	-1.134	3.466
^{13}CH	4300.747	1.439	-0.992	3.466
C_2	4300.749	0.684	-1.040	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.750	3.404	-4.860	7.724
V I	4300.780	3.313	-4.060	0.000
^{12}CH	4300.782	0.840	-1.112	3.466
^{13}CH	4300.785	0.836	-3.551	3.466
^{12}CH	4300.794	1.248	-1.531	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4300.808	3.404	-2.560	7.724
^{12}CH	4300.811	1.446	-0.982	3.466
Fe I	4300.824	3.981	-1.190	0.000
^{12}CH	4300.846	1.540	-1.432	3.466
^{13}CH	4300.854	1.534	-3.612	3.466
^{12}CH	4300.857	0.840	-3.551	3.466
Sc I	4300.857	2.138	-3.630	0.000
^{13}CH	4300.858	1.677	-0.968	3.466
^{12}CH	4300.860	1.596	-1.429	3.466
Ce II	4300.863	0.811	-1.070	0.000
Co I	4300.865	3.407	-2.130	0.000
^{13}CH	4300.867	1.534	-1.440	3.466
C_2	4300.867	1.083	-4.070	6.244
^{12}CH	4300.873	1.596	-1.434	3.466
^{12}CH	4300.875	1.446	-3.691	3.466
^{13}CH	4300.876	1.749	-5.223	3.466
^{13}CH	4300.886	1.677	-3.796	3.466
^{12}CH	4300.904	1.248	-1.506	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4300.937	1.540	-3.612	3.466
¹² CH	4300.943	1.248	-3.457	3.466
¹² CH	4300.944	1.446	-3.714	3.466
¹² CH	4300.944	1.540	-1.440	3.466
C ₂	4300.948	0.618	-7.100	6.244
C ₂	4300.952	0.823	-4.210	6.244
¹² CH	4300.959	0.314	-3.306	3.466
¹² CH	4300.959	1.596	-3.673	3.466
¹³ CH	4300.973	0.312	-3.306	3.466
C ₂	4300.974	0.618	-4.100	6.244
Nb I	4300.981	0.739	-0.660	0.000
¹² CH	4300.999	0.314	-1.201	3.466
¹² CH	4301.008	1.446	-0.992	3.466
C ₂	4301.009	0.824	-4.240	6.244
¹³ CH	4301.012	0.312	-1.201	3.466
Co I	4301.026	3.620	-1.180	0.000
Ca I	4301.029	5.917	-3.750	0.000
¹³ CH	4301.057	0.954	-1.074	3.466
¹³ CH	4301.059	0.954	-3.527	3.466
Mn I	4301.061	4.329	-0.580	0.000
Ti I	4301.079	0.835	0.210	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4301.091	3.401	-2.640	7.724
C ₂	4301.099	0.450	-7.540	6.244
Ti I	4301.103	0.840	0.940	0.000
V II	4301.103	4.020	0.680	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4301.117	3.401	-4.810	7.724
¹² CH	4301.125	0.314	-1.170	3.466
V II	4301.126	4.017	-1.150	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Cr I	4301.126	3.842	-3.040	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4301.134	3.376	-5.060	7.724
^{13}CH	4301.139	0.312	-1.170	3.466
^{12}CH	4301.143	1.684	-3.725	3.466
C_2	4301.144	0.618	-4.170	6.244
^{13}CH	4301.146	0.954	-3.578	3.466
^{13}CH	4301.147	0.954	-1.092	3.466
C_2	4301.156	0.450	-4.500	6.244
^{12}CH	4301.161	0.958	-1.074	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4301.166	3.401	-2.600	7.724
^{12}CH	4301.167	0.314	-3.411	3.466
^{12}CH	4301.167	0.958	-3.527	3.466
Cr I	4301.174	3.446	-0.190	0.000
Cr I	4301.177	3.449	-0.188	0.000
^{13}CH	4301.178	0.312	-3.411	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4301.189	3.376	-1.930	7.724
Nd I	4301.202	0.293	-0.530	0.000
^{12}CH	4301.204	1.684	-0.962	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4301.215	3.376	-1.940	7.724
V I	4301.246	1.798	-2.780	0.000
^{12}CH	4301.251	0.958	-3.578	3.466
^{12}CH	4301.257	0.958	-1.092	3.466
Er I	4301.259	1.533	0.160	0.000
Mo I	4301.260	3.165	-1.000	0.000
Sm I	4301.270	0.498	-0.630	0.000
C_2	4301.272	0.450	-4.590	6.244
C_2	4301.277	0.838	-7.480	6.244
Ti II	4301.279	4.947	-1.390	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Fe I	4301.280	4.000	-1.870	0.000
¹² C ¹³ C	4301.286	0.397	-8.630	6.244
¹² CH	4301.291	1.684	-0.968	3.466
¹² C ¹³ C	4301.323	0.397	-5.410	6.244
Fe I	4301.328	3.981	-3.340	0.000
¹² CH	4301.352	1.684	-3.796	3.466
¹² CH	4301.361	1.021	-5.350	3.466
C ₂	4301.381	0.838	-4.220	6.244
C ₂	4301.383	0.516	-6.600	6.244
¹² C ¹³ C	4301.397	0.397	-5.490	6.244
¹³ CH	4301.407	1.970	-11.858	3.466
U II	4301.463	0.000	-1.940	0.000
¹² C ¹³ C	4301.478	0.242	-7.700	6.244
Co I	4301.485	3.968	-4.180	0.000
Co I	4301.485	3.971	-4.184	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4301.485	3.398	-2.690	7.724
C ₂	4301.486	0.340	-6.840	6.244
¹² C ¹³ C	4301.486	0.242	-7.970	6.244
C ₂	4301.487	1.226	-6.520	6.244
Fe I	4301.497	4.100	-2.100	0.000
C ₂	4301.497	0.838	-4.210	6.244
Fe I	4301.501	3.000	-3.800	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4301.508	3.398	-4.760	7.724
¹² C ¹³ C	4301.548	0.676	-5.160	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4301.549	3.398	-2.640	7.724
¹² C ¹³ C	4301.551	0.676	-8.180	6.244
C ₂	4301.565	0.838	-0.870	6.244
¹³ CH	4301.585	0.783	-3.425	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4301.588	1.517	-0.974	3.466
Er II	4301.596	0.000	-1.550	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4301.600	0.397	-8.850	6.244
C_2	4301.601	0.838	-0.880	6.244
Ir I	4301.609	2.052	-1.230	0.000
^{13}CH	4301.641	1.517	-3.713	3.466
^{12}CH	4301.648	0.786	-3.425	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4301.648	0.675	-8.500	6.244
^{13}CH	4301.652	0.783	-1.158	3.466
^{13}CH	4301.667	1.245	-1.531	3.466
C_2	4301.671	0.709	-6.530	6.244
^{13}CH	4301.683	1.245	-1.507	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4301.704	0.675	-5.160	6.244
C_2	4301.706	0.839	-0.890	6.244
^{13}CH	4301.708	0.783	-1.134	3.466
^{12}CH	4301.716	0.786	-1.158	3.466
^{13}CH	4301.721	1.517	-3.731	3.466
^{13}CH	4301.739	0.894	-3.501	3.466
^{13}CH	4301.746	1.245	-3.435	3.466
^{13}CH	4301.749	0.894	-1.093	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4301.752	0.676	-1.610	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4301.756	0.676	-5.150	6.244
^{13}CH	4301.769	0.783	-3.525	3.466
^{13}CH	4301.771	0.372	-5.150	3.466
^{13}CH	4301.774	1.517	-0.982	3.466
^{12}CH	4301.775	0.786	-1.134	3.466
^{13}CH	4301.820	0.894	-1.112	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4301.826	0.676	-1.620	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4301.830	0.894	-3.556	3.466
¹² CH	4301.839	0.786	-3.525	3.466
¹² CH	4301.839	0.898	-3.501	3.466
¹² C ¹³ C	4301.841	0.397	-5.470	6.244
Zr II	4301.844	1.758	-1.000	0.000
¹² CH	4301.846	0.898	-1.093	3.466
¹² C ¹³ C	4301.853	0.675	-5.160	6.244
¹² C ¹³ C	4301.861	0.397	-5.480	6.244
¹² CH	4301.877	1.524	-0.974	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4301.902	3.395	-2.750	7.724
¹² CH	4301.904	1.249	-1.531	3.466
¹² C ¹³ C	4301.910	0.675	-1.610	6.244
Ti II	4301.914	1.161	-1.162	0.000
¹² CH	4301.922	0.898	-1.112	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4301.922	3.395	-4.700	7.724
Ti II	4301.923	1.160	-1.210	0.000
¹² CH	4301.928	0.898	-3.555	3.466
Mo I	4301.931	3.031	-1.610	0.000
Ti I	4301.939	3.196	-2.020	0.000
¹² CH	4301.942	1.249	-1.506	3.466
¹² CH	4301.947	1.524	-3.713	3.466
Ti I	4301.951	1.979	-2.460	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4301.956	3.395	-2.690	7.724
Co I	4301.973	2.628	-2.480	0.000
¹² CH	4301.981	1.249	-3.435	3.466
¹² C ¹³ C	4301.990	0.676	-1.620	6.244
¹² CH	4302.015	1.524	-3.731	3.466
Ni I	4302.082	3.480	-1.950	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4302.085	1.524	-0.982	3.466
Ni I	4302.087	3.477	-2.320	0.000
W I	4302.103	0.366	-1.170	0.000
V I	4302.108	1.954	-3.860	0.000
^{12}CH	4302.112	0.897	-2.221	3.466
V I	4302.125	1.798	-1.750	0.000
C_2	4302.128	0.664	-4.400	6.244
C_2	4302.129	0.664	-7.410	6.244
Pr II	4302.150	0.422	-1.200	0.000
^{13}CH	4302.155	1.971	-7.191	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4302.172	3.386	-5.090	7.724
^{13}CH	4302.176	0.998	-3.634	3.466
V I	4302.179	2.580	-2.520	0.000
^{12}CH	4302.182	0.897	-7.120	3.466
Fe I	4302.186	3.045	-1.740	0.000
V I	4302.195	2.576	-0.510	0.000
^{13}CH	4302.202	1.970	-6.937	3.466
^{12}CH	4302.207	0.315	-3.321	3.466
^{13}CH	4302.207	0.313	-3.321	3.466
Cr II	4302.218	7.768	-3.250	0.000
^{13}CH	4302.244	0.313	-1.201	3.466
^{12}CH	4302.247	0.315	-1.201	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4302.251	3.386	-1.930	7.724
C_2	4302.269	0.810	-7.150	6.244
^{13}CH	4302.281	0.998	-3.618	3.466
^{12}CH	4302.286	0.897	-2.354	3.466
Y I	4302.290	1.947	0.450	0.000
^{12}CH	4302.294	0.315	-1.171	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4302.295	0.313	-1.171	3.466
C_2	4302.295	0.930	-6.790	6.244
C_2	4302.322	0.810	-4.160	6.244
^{13}CH	4302.333	0.313	-3.397	3.466
^{12}CH	4302.335	0.315	-3.397	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4302.341	3.393	-2.820	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4302.358	3.393	-4.630	7.724
C_2	4302.365	0.665	-1.040	6.244
C_2	4302.366	0.665	-4.400	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4302.386	3.393	-2.750	7.724
^{12}CH	4302.394	1.001	-3.634	3.466
C_2	4302.465	0.665	-1.050	6.244
C_2	4302.474	0.810	-4.240	6.244
^{13}CH	4302.489	0.838	-3.473	3.466
^{12}CH	4302.502	1.001	-3.618	3.466
^{13}CH	4302.510	0.838	-1.113	3.466
Ti I	4302.523	2.576	-7.000	0.000
Ca I	4302.528	1.897	0.280	0.000
^{13}CH	4302.538	1.205	-1.554	3.466
Co I	4302.560	3.684	-2.790	0.000
V I	4302.566	1.349	-3.630	0.000
^{13}CH	4302.573	0.838	-1.134	3.466
^{12}CH	4302.583	0.841	-3.473	3.466
^{13}CH	4302.584	0.838	-3.533	3.466
^{13}CH	4302.592	0.732	-3.396	3.466
^{12}CH	4302.602	0.841	-1.113	3.466
C_2	4302.639	0.174	-7.670	6.244
Ti I	4302.650	2.343	-3.500	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4302.650	4.000	-1.720	0.000
¹³ CH	4302.651	0.732	-1.183	3.466
¹² CH	4302.654	0.735	-3.396	3.466
Ce II	4302.654	1.318	-0.400	0.000
¹² CH	4302.657	0.841	-1.134	3.466
Fe I	4302.658	4.368	-1.780	0.000
¹² CH	4302.677	0.841	-3.533	3.466
¹³ CH	4302.680	1.205	-1.527	3.466
Fe I	4302.691	2.452	-4.740	0.000
¹³ CH	4302.696	1.205	-3.421	3.466
Ca I	4302.696	4.760	-3.280	0.000
C ₂	4302.702	1.728	-8.490	6.244
¹³ CH	4302.707	1.750	-5.274	3.466
Dy II	4302.714	0.589	-1.660	0.000
¹² CH	4302.716	0.735	-1.183	3.466
¹² CH	4302.719	0.270	-3.269	3.466
¹³ CH	4302.723	0.268	-3.269	3.466
¹³ CH	4302.724	0.732	-1.158	3.466
¹³ CH	4302.744	0.342	-2.419	3.466
¹³ CH	4302.744	0.342	-2.421	3.466
¹² CH	4302.746	0.270	-1.235	3.466
¹³ CH	4302.750	0.268	-1.235	3.466
Cr I	4302.762	4.616	-0.117	0.000
¹³ CH	4302.779	0.732	-3.499	3.466
¹² CH	4302.785	0.343	-2.421	3.466
¹² CH	4302.787	0.343	-2.419	3.466
¹² CH	4302.790	0.735	-1.158	3.466
V II	4302.792	5.845	-4.600	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4302.801	3.391	-2.910	7.724
C ₂	4302.811	0.820	-4.200	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4302.814	3.391	-4.540	7.724
Cr I	4302.824	4.613	-0.120	0.000
C ₂	4302.824	1.069	-7.290	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4302.837	3.391	-2.820	7.724
¹³ CH	4302.839	1.591	-1.429	3.466
¹² CH	4302.843	1.209	-1.554	3.466
¹² CH	4302.847	0.735	-3.499	3.466
C ₂	4302.854	0.820	-7.150	6.244
Zr I	4302.868	0.730	-0.740	0.000
¹² CH	4302.905	0.270	-1.201	3.466
¹³ CH	4302.906	0.268	-1.201	3.466
Fe II	4302.920	7.569	-4.540	0.000
¹² CH	4302.933	0.270	-3.380	3.466
¹³ CH	4302.933	0.268	-3.380	3.466
C ₂	4302.949	0.820	-0.880	6.244
Mn II	4302.951	5.414	-6.140	0.000
Ta I	4302.953	1.146	-1.120	0.000
¹² CH	4302.978	1.209	-1.527	3.466
Ti I	4302.978	1.052	-2.270	0.000
Ni I	4302.982	4.415	-2.070	0.000
Fe II	4302.986	6.802	-3.410	0.000
¹² CH	4303.006	1.209	-3.421	3.466
¹³ CH	4303.011	1.591	-3.640	3.466
C ₂	4303.025	0.296	-8.340	6.244
¹² CH	4303.027	2.114	-6.308	3.466
¹³ CH	4303.037	1.591	-1.434	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4303.040	1.597	-0.968	3.466
^{13}CH	4303.046	1.760	-3.747	3.466
Fe I	4303.049	3.881	-2.130	0.000
^{13}CH	4303.057	0.342	-1.858	3.466
^{13}CH	4303.057	0.342	-1.859	3.466
C_2	4303.058	0.820	-0.890	6.244
C_2	4303.058	1.069	-4.060	6.244
^{12}CH	4303.065	1.598	-1.429	3.466
^{13}CH	4303.069	1.760	-0.959	3.466
^{13}CH	4303.084	1.647	-1.431	3.466
^{13}CH	4303.094	1.597	-3.735	3.466
^{12}CH	4303.099	0.343	-1.858	3.466
^{12}CH	4303.099	0.343	-1.859	3.466
C_2	4303.100	0.820	-4.200	6.244
C_2	4303.103	1.069	-4.080	6.244
C_2	4303.108	0.605	-7.280	6.244
^{13}CH	4303.110	1.647	-1.429	3.466
Ti I	4303.110	2.295	-3.590	0.000
^{12}CH	4303.118	0.373	-5.150	3.466
^{13}CH	4303.146	1.647	-3.703	3.466
^{12}CH	4303.159	2.114	-10.757	3.466
^{12}CH	4303.165	1.598	-3.640	3.466
^{13}CH	4303.176	1.597	-3.749	3.466
Fe II	4303.176	2.702	-2.490	0.000
^{12}CH	4303.180	2.114	-6.305	3.466
^{12}CH	4303.182	1.598	-1.434	3.466
^{13}CH	4303.190	1.760	-0.963	3.466
Er II	4303.208	1.560	-2.080	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4303.209	0.821	-0.890	6.244
¹³ CH	4303.212	1.760	-3.815	3.466
Fe I	4303.221	4.577	-3.120	0.000
Co I	4303.229	0.224	-3.910	0.000
¹³ CH	4303.231	1.597	-0.975	3.466
C ₂	4303.236	1.212	-6.750	6.244
Nd II	4303.250	0.559	-1.780	0.000
Ti I	4303.264	2.290	-4.950	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4303.281	3.389	-3.020	7.724
¹³ CH	4303.287	0.784	-3.444	3.466
C ₂	4303.292	1.744	-6.920	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4303.292	3.389	-4.440	7.724
C ₂	4303.297	0.296	-5.090	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4303.309	3.389	-2.910	7.724
Ni I	4303.310	4.161	-4.040	0.000
C ₂	4303.317	0.297	-5.110	6.244
¹³ CH	4303.324	0.784	-1.134	3.466
¹³ CH	4303.360	0.784	-1.158	3.466
¹² CH	4303.376	0.787	-3.444	3.466
¹² CH	4303.387	1.705	-11.948	3.466
¹³ CH	4303.387	0.784	-3.508	3.466
¹² CH	4303.388	1.605	-0.968	3.466
C ₂	4303.389	0.605	-4.180	6.244
Ni II	4303.407	6.628	-4.940	0.000
¹² CH	4303.410	0.787	-1.134	3.466
V I	4303.416	2.563	-3.010	0.000
C ₂	4303.417	0.436	-7.700	6.244
¹² CH	4303.438	0.787	-1.158	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Gd II	4303.450	1.446	-1.290	0.000
C ₂	4303.453	0.605	-4.210	6.244
¹² CH	4303.463	1.605	-3.735	3.466
Ti I	4303.463	3.158	-2.740	0.000
¹² CH	4303.476	0.787	-3.508	3.466
V I	4303.514	2.579	-0.110	0.000
¹² CH	4303.530	1.605	-3.749	3.466
¹³ CH	4303.543	1.206	-1.554	3.466
Cr II	4303.562	5.867	-2.280	0.000
Nd II	4303.570	0.000	0.080	0.000
Ti I	4303.571	1.967	-2.080	0.000
¹² CH	4303.585	1.768	-3.747	3.466
¹³ CH	4303.591	0.679	-1.886	3.466
¹³ CH	4303.594	1.206	-1.527	3.466
Nd II	4303.595	0.000	0.850	0.000
¹² CH	4303.605	1.605	-0.974	3.466
¹³ CH	4303.605	0.004	-2.390	3.466
¹³ CH	4303.605	0.004	-2.392	3.466
¹³ CH	4303.606	0.683	-3.364	3.466
¹² CH	4303.614	0.004	-2.390	3.466
¹² CH	4303.614	0.004	-2.392	3.466
¹³ CH	4303.643	1.206	-3.400	3.466
¹² CH	4303.646	1.768	-0.959	3.466
¹³ CH	4303.651	0.683	-1.212	3.466
¹² CH	4303.669	0.686	-3.364	3.466
¹³ CH	4303.673	0.679	-1.886	3.466
¹² C ¹³ C	4303.685	0.380	-8.600	6.244
C ₂	4303.687	0.436	-4.560	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4303.689	0.653	-5.150	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4303.689	0.653	-8.180	6.244
^{12}CH	4303.697	0.681	-1.886	3.466
Ti I	4303.704	2.304	-5.670	0.000
^{12}CH	4303.715	0.686	-1.212	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4303.726	0.380	-5.400	6.244
C_2	4303.734	0.506	-6.920	6.244
^{12}CH	4303.737	1.768	-0.962	3.466
C_2	4303.743	0.436	-4.580	6.244
^{13}CH	4303.751	0.683	-1.184	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4303.780	0.653	-8.500	6.244
^{12}CH	4303.781	0.681	-1.886	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4303.782	3.388	-3.170	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4303.789	3.388	-4.310	7.724
^{13}CH	4303.793	0.269	-3.284	3.466
Er II	4303.794	0.636	-2.210	0.000
^{13}CH	4303.797	0.683	-3.472	3.466
^{12}CH	4303.798	1.768	-3.815	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4303.802	0.380	-5.490	6.244
^{12}CH	4303.803	0.270	-3.284	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4303.803	3.388	-3.020	7.724
^{12}CH	4303.807	1.210	-1.554	3.466
^{12}CH	4303.817	0.686	-1.184	3.466
^{13}CH	4303.825	0.269	-1.235	3.466
^{12}CH	4303.828	0.270	-1.235	3.466
Cr I	4303.832	4.532	-3.450	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4303.839	0.653	-5.150	6.244
^{12}CH	4303.843	1.656	-1.429	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4303.857	0.700	-6.760	6.244
¹² CH	4303.864	0.686	-3.472	3.466
¹² CH	4303.869	1.656	-1.431	3.466
¹² C ¹³ C	4303.871	0.653	-1.610	6.244
Nb I	4303.872	1.079	-1.620	0.000
¹² CH	4303.875	1.210	-1.527	3.466
Ti I	4303.877	0.835	-3.470	0.000
¹² C ¹³ C	4303.896	0.654	-1.620	6.244
¹² C ¹³ C	4303.897	0.654	-5.140	6.244
¹² CH	4303.903	1.210	-3.400	3.466
¹³ CH	4303.904	0.269	-1.202	3.466
¹² CH	4303.914	0.271	-1.202	3.466
¹³ CH	4303.927	0.004	-1.812	3.466
¹³ CH	4303.927	0.004	-1.813	3.466
¹³ CH	4303.931	0.269	-3.368	3.466
Fe I	4303.931	4.188	-3.380	0.000
¹² CH	4303.937	0.004	-1.812	3.466
¹² CH	4303.937	0.004	-1.813	3.466
¹² CH	4303.942	0.271	-3.368	3.466
C ₂	4303.946	1.054	-4.010	6.244
C ₂	4303.947	1.054	-7.100	6.244
¹² CH	4303.950	1.656	-3.703	3.466
¹² C ¹³ C	4303.970	0.654	-1.620	6.244
C ₂	4303.976	0.329	-7.120	6.244
C ₂	4303.982	0.645	-7.800	6.244
¹² C ¹³ C	4303.982	0.380	-8.820	6.244
¹² C ¹³ C	4303.988	0.653	-5.150	6.244
V II	4303.994	6.160	-4.530	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Mo I	4304.011	3.300	-1.000	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.047	0.653	-1.620	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.056	0.653	-1.610	6.244
C_2	4304.080	0.646	-4.400	6.244
^{13}CH	4304.116	0.733	-3.414	3.466
C_2	4304.120	1.054	-4.080	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.128	0.653	-1.620	6.244
Fe I	4304.145	3.300	-3.190	0.000
V II	4304.151	3.796	-2.970	0.000
Fe I	4304.151	3.298	-4.940	0.000
Ti I	4304.165	3.196	-1.270	0.000
^{13}CH	4304.168	0.733	-1.158	3.466
^{13}CH	4304.181	0.733	-1.183	3.466
^{12}CH	4304.201	0.736	-3.414	3.466
C_2	4304.202	0.645	-4.390	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.215	0.229	-7.690	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.220	0.229	-7.960	6.244
^{13}CH	4304.221	0.733	-3.483	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.226	0.380	-5.460	6.244
C_2	4304.233	0.798	-7.290	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4304.248	0.380	-5.470	6.244
^{12}CH	4304.252	0.736	-1.158	3.466
^{12}CH	4304.254	0.736	-1.183	3.466
Ce II	4304.278	1.194	-0.410	0.000
C_2	4304.291	0.645	-1.040	6.244
C_2	4304.300	0.646	-1.050	6.244
^{13}CH	4304.302	0.680	-2.803	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4304.303	3.387	-3.420	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Cr I	4304.305	4.201	-1.540	0.000
^{12}CH	4304.307	0.736	-3.483	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4304.307	3.387	-4.120	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4304.317	3.387	-3.170	7.724
C_2	4304.322	0.919	-6.400	6.244
^{13}CH	4304.364	0.227	-3.230	3.466
^{13}CH	4304.365	0.680	-2.797	3.466
^{12}CH	4304.371	0.229	-3.230	3.466
^{13}CH	4304.378	0.227	-1.273	3.466
^{12}CH	4304.386	0.229	-1.273	3.466
C_2	4304.402	0.646	-1.060	6.244
Re I	4304.407	2.059	-0.730	0.000
^{12}CH	4304.408	0.682	-2.803	3.466
Ca I	4304.420	4.677	-4.010	0.000
Nd II	4304.434	1.519	0.440	0.000
^{13}CH	4304.445	0.680	-1.783	3.466
^{12}CH	4304.472	0.682	-2.797	3.466
C_2	4304.502	0.802	-7.510	6.244
^{13}CH	4304.510	0.680	-1.783	3.466
C_2	4304.513	0.798	-4.200	6.244
Ti I	4304.520	2.304	-2.910	0.000
Fe I	4304.540	2.947	-2.010	0.000
Mo I	4304.553	3.300	-1.510	0.000
^{12}CH	4304.555	0.682	-1.783	3.466
^{13}CH	4304.568	0.228	-1.236	3.466
Fe I	4304.571	2.950	-1.940	0.000
^{12}CH	4304.577	0.229	-1.236	3.466
C_2	4304.579	0.798	-4.220	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4304.583	0.228	-3.348	3.466
Cr I	4304.589	4.693	-4.380	0.000
^{12}CH	4304.592	0.229	-3.348	3.466
^{13}CH	4304.612	0.638	-3.330	3.466
C_2	4304.615	0.802	-4.200	6.244
^{12}CH	4304.616	0.682	-1.783	3.466
Fe I	4304.642	4.073	-4.380	0.000
^{13}CH	4304.648	0.638	-1.242	3.466
^{12}CH	4304.676	0.641	-3.330	3.466
Zr I	4304.693	1.821	0.120	0.000
Cr I	4304.694	3.844	-2.450	0.000
^{12}CH	4304.711	0.641	-1.242	3.466
Ce II	4304.717	0.736	-0.690	0.000
C_2	4304.729	0.802	-4.200	6.244
Ti I	4304.749	3.176	-2.120	0.000
^{13}CH	4304.771	0.638	-1.212	3.466
Cr I	4304.778	4.614	-0.920	0.000
V II	4304.800	6.491	-2.580	0.000
C_2	4304.804	0.802	-0.890	6.244
V I	4304.806	1.182	-1.660	0.000
^{13}CH	4304.807	0.638	-3.442	3.466
Fe I	4304.820	3.544	-5.400	0.000
Co I	4304.833	4.392	-1.600	0.000
^{12}CH	4304.836	0.641	-1.212	3.466
C_2	4304.841	0.593	-7.050	6.244
C_2	4304.842	0.802	-0.900	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4304.846	3.387	-3.720	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4304.851	3.387	-3.420	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4304.852	3.300	-2.650	0.000
Fe I	4304.869	3.299	-1.890	0.000
¹² CH	4304.876	0.641	-3.442	3.466
C ₂	4304.882	0.593	-4.110	6.244
Gd II	4304.892	1.526	-0.370	0.000
Fe I	4304.902	3.544	-4.810	0.000
Mo I	4304.913	2.068	-1.840	0.000
¹³ CH	4304.937	1.169	-1.580	3.466
C ₂	4304.949	0.803	-0.900	6.244
Sm II	4304.950	0.659	-0.870	0.000
Fe I	4304.952	4.470	-4.110	0.000
¹³ CH	4304.958	0.684	-3.381	3.466
P I	4304.988	6.980	-2.300	0.000
¹³ CH	4304.995	1.679	-0.963	3.466
¹³ CH	4305.016	0.684	-1.212	3.466
¹³ CH	4305.022	0.684	-1.184	3.466
Ti I	4305.039	2.316	-4.080	0.000
¹² CH	4305.041	0.687	-3.381	3.466
¹³ CH	4305.051	1.679	-3.757	3.466
C ₂	4305.057	0.593	-4.180	6.244
V I	4305.063	2.357	-5.000	0.000
¹³ CH	4305.071	0.684	-3.457	3.466
C	4305.084	7.679	-3.850	0.000
¹² CH	4305.085	0.687	-1.212	3.466
C ₂	4305.090	0.281	-8.070	6.244
Ca I	4305.100	4.677	-2.220	0.000
¹² CH	4305.103	0.687	-1.184	3.466
¹³ CH	4305.105	1.169	-1.549	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4305.113	1.169	-3.381	3.466
Fe I	4305.131	2.730	-2.560	0.000
Fe I	4305.134	2.725	-3.380	0.000
^{13}CH	4305.135	1.679	-3.767	3.466
Ce II	4305.140	0.857	-0.170	0.000
C_2	4305.142	0.281	-5.010	6.244
^{12}CH	4305.155	0.687	-3.457	3.466
C_2	4305.191	1.199	-6.490	6.244
^{13}CH	4305.192	1.679	-0.968	3.466
Fe I	4305.206	3.544	-2.070	0.000
C_2	4305.244	0.281	-5.090	6.244
^{12}CH	4305.247	1.173	-1.579	3.466
^{13}CH	4305.281	0.228	-3.243	3.466
V I	4305.293	2.573	-1.930	0.000
^{13}CH	4305.296	0.228	-1.273	3.466
^{12}CH	4305.299	0.229	-3.243	3.466
^{12}CH	4305.314	0.229	-1.273	3.466
C_2	4305.328	0.423	-7.480	6.244
C_2	4305.330	0.163	-7.370	6.244
Ni I	4305.364	3.844	-1.580	0.000
Cr I	4305.388	3.963	-2.360	0.000
V I	4305.393	1.871	-2.000	0.000
C_2	4305.397	0.423	-4.500	6.244
^{12}CH	4305.410	1.173	-1.549	3.466
^{13}CH	4305.417	0.228	-1.236	3.466
^{12}CH	4305.421	1.687	-0.963	3.466
Mn I	4305.423	4.675	-2.950	0.000
^{12}CH	4305.428	1.173	-3.381	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4305.432	0.228	-3.336	3.466
^{12}CH	4305.436	0.229	-1.236	3.466
^{12}CH	4305.441	0.958	-5.889	3.466
Sr II	4305.443	3.037	-0.140	0.000
^{12}CH	4305.449	0.958	-2.343	3.466
V I	4305.449	2.636	-1.510	0.000
Cr I	4305.450	2.887	-0.970	0.000
Fe I	4305.450	3.015	-1.300	0.000
Er II	4305.450	1.561	-1.990	0.000
^{12}CH	4305.451	0.229	-3.336	3.466
Fe I	4305.451	3.017	-1.301	0.000
Cr I	4305.453	2.889	-0.976	0.000
Sr II	4305.456	3.040	-0.620	0.000
Ti I	4305.463	1.748	-1.270	0.000
Fe I	4305.464	4.151	-2.380	0.000
V I	4305.475	1.858	-1.130	0.000
^{12}CH	4305.477	1.979	-6.937	3.466
Fe I	4305.495	4.412	-4.130	0.000
^{12}CH	4305.499	1.687	-3.757	3.466
Fe I	4305.511	4.309	-2.040	0.000
^{12}CH	4305.519	0.958	-2.546	3.466
C_2	4305.519	0.423	-4.580	6.244
^{12}CH	4305.527	0.958	-6.198	3.466
^{12}CH	4305.567	1.687	-3.767	3.466
V I	4305.584	2.357	-4.420	0.000
^{13}CH	4305.596	0.596	-3.293	3.466
Ce II	4305.605	0.634	-1.310	0.000
Cr I	4305.609	4.096	-3.460	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4305.617	1.979	-11.858	3.466
^{13}CH	4305.620	0.596	-1.276	3.466
^{12}CH	4305.645	1.687	-0.968	3.466
^{12}CH	4305.654	1.979	-7.190	3.466
^{12}CH	4305.663	0.598	-3.293	3.466
Mn I	4305.670	4.675	-1.020	0.000
^{12}CH	4305.685	0.598	-1.276	3.466
Sc II	4305.713	0.600	-0.990	0.000
C_2	4305.734	0.627	-7.410	6.244
Ti I	4305.742	2.235	-1.150	0.000
C_2	4305.742	0.627	-4.390	6.244
V I	4305.749	1.891	-3.540	0.000
Pr II	4305.760	0.055	-0.120	0.000
^{13}CH	4305.775	0.596	-1.243	3.466
^{13}CH	4305.789	1.170	-1.580	3.466
^{13}CH	4305.797	0.596	-3.411	3.466
^{13}CH	4305.799	0.639	-3.346	3.466
Nd I	4305.805	0.000	-1.180	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4305.808	0.632	-8.170	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4305.810	0.632	-5.140	6.244
^{13}CH	4305.829	0.639	-1.242	3.466
C_2	4305.832	0.785	-7.080	6.244
^{13}CH	4305.836	1.649	-1.430	3.466
^{12}CH	4305.840	0.599	-1.243	3.466
^{12}CH	4305.867	0.599	-3.411	3.466
^{13}CH	4305.877	1.170	-1.550	3.466
^{12}CH	4305.881	0.642	-3.346	3.466
^{13}CH	4305.885	0.639	-1.212	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4305.890	0.190	-3.186	3.466
^{13}CH	4305.891	0.190	-1.315	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4305.893	0.631	-8.500	6.244
C_2	4305.897	0.785	-4.150	6.244
^{12}CH	4305.907	0.191	-3.186	3.466
Ti I	4305.907	0.848	0.490	0.000
^{12}CH	4305.910	0.191	-1.315	3.466
^{13}CH	4305.911	1.170	-3.363	3.466
^{12}CH	4305.917	0.642	-1.242	3.466
Ti I	4305.918	0.850	0.950	0.000
^{13}CH	4305.921	0.639	-3.429	3.466
C_2	4305.930	0.627	-1.050	6.244
Ti II	4305.935	5.203	-2.790	0.000
Mn I	4305.953	5.345	-3.370	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4305.955	0.631	-5.150	6.244
70.00	4305.963	3.131	0.350	0.000
Mn I	4305.965	4.709	-1.160	0.000
^{12}CH	4305.970	0.642	-1.212	3.466
C_2	4305.981	0.627	-4.380	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4305.984	3.387	-3.720	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4305.988	3.387	-3.420	7.724
C_2	4305.989	0.627	-1.060	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4305.995	0.632	-1.620	6.244
^{12}CH	4306.003	0.642	-3.429	3.466
Mn I	4306.005	4.709	-1.590	0.000
C_2	4306.006	1.040	-7.250	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.019	0.632	-5.140	6.244
C_2	4306.020	0.785	-4.180	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.021	0.632	-1.620	6.244
^{13}CH	4306.026	1.649	-3.669	3.466
Fe I	4306.026	4.214	-2.450	0.000
^{13}CH	4306.051	1.846	-3.771	3.466
C_2	4306.053	0.785	-7.170	6.244
Fe I	4306.057	3.394	-2.770	0.000
C_2	4306.057	0.785	-4.230	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.064	0.363	-8.580	6.244
^{13}CH	4306.065	1.649	-1.431	3.466
^{13}CH	4306.070	1.846	-0.958	3.466
^{12}CH	4306.073	1.173	-1.579	3.466
C_2	4306.077	0.497	-6.560	6.244
C_2	4306.089	0.627	-1.070	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.095	0.632	-1.630	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.103	0.631	-5.140	6.244
C_2	4306.109	0.691	-6.490	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.109	0.363	-5.400	6.244
^{13}CH	4306.119	0.190	-1.274	3.466
^{13}CH	4306.119	0.190	-3.313	3.466
^{12}CH	4306.137	0.191	-1.274	3.466
^{12}CH	4306.137	0.191	-3.313	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.166	0.631	-1.620	6.244
C_2	4306.168	0.785	-0.900	6.244
^{12}CH	4306.174	1.174	-1.550	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.174	0.631	-1.620	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.186	0.363	-5.480	6.244
^{12}CH	4306.192	1.174	-3.363	3.466
^{13}CH	4306.197	1.846	-0.959	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
V I	4306.215	0.017	-1.560	0.000
V I	4306.215	0.017	-1.573	0.000
^{13}CH	4306.216	1.846	-3.834	3.466
^{12}CH	4306.235	1.657	-1.430	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.247	0.632	-1.630	6.244
C_2	4306.249	1.040	-4.070	6.244
Nb I	4306.274	1.169	-1.110	0.000
Co I	4306.276	3.407	-2.040	0.000
C_2	4306.277	0.785	-0.910	6.244
Ca I	4306.281	4.128	-6.230	0.000
C_2	4306.301	1.040	-4.090	6.244
Cr I	4306.303	3.447	-4.410	0.000
V I	4306.306	2.706	-5.220	0.000
C_2	4306.310	0.785	-4.180	6.244
Ti I	4306.340	3.184	-1.420	0.000
C II	4306.341	20.150	-1.684	0.000
^{12}CH	4306.342	1.657	-3.669	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.343	0.363	-8.800	6.244
Gd I	4306.343	0.000	-0.330	0.000
Er I	4306.355	1.462	0.090	0.000
V I	4306.361	2.377	-4.920	0.000
^{12}CH	4306.368	1.657	-1.431	3.466
C_2	4306.428	0.785	-0.910	6.244
C_2	4306.455	1.011	-7.160	6.244
C_2	4306.477	0.909	-6.780	6.244
C_2	4306.482	0.319	-6.800	6.244
^{13}CH	4306.546	0.557	-3.254	3.466
^{13}CH	4306.560	0.557	-1.314	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
V I	4306.567	1.847	-1.620	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4306.578	3.388	-3.420	7.724
Fe I	4306.579	3.430	-2.270	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4306.584	3.388	-4.120	7.724
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.591	0.363	-5.450	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4306.591	3.388	-3.160	7.724
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.615	0.363	-5.470	6.244
^{12}CH	4306.616	0.559	-3.254	3.466
^{12}CH	4306.627	0.559	-1.314	3.466
^{13}CH	4306.627	0.597	-3.308	3.466
^{12}CH	4306.657	1.847	-5.477	3.466
^{13}CH	4306.659	0.597	-1.276	3.466
^{13}CH	4306.663	0.190	-1.315	3.466
^{13}CH	4306.663	0.190	-3.199	3.466
Fe I	4306.667	4.151	-3.680	0.000
Fe I	4306.679	4.412	-3.290	0.000
Fe I	4306.681	4.206	-3.750	0.000
^{12}CH	4306.690	0.192	-1.315	3.466
^{12}CH	4306.690	0.192	-3.199	3.466
C_2	4306.700	1.011	-4.120	6.244
V I	4306.702	2.357	-5.330	0.000
^{12}CH	4306.708	0.599	-3.308	3.466
Ce II	4306.726	0.516	-0.090	0.000
^{12}CH	4306.729	0.599	-1.276	3.466
^{12}CH	4306.731	1.978	-4.164	3.466
Nd II	4306.734	1.741	0.210	0.000
^{12}CH	4306.735	1.854	-3.771	3.466
^{13}CH	4306.736	0.597	-1.243	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4306.744	0.557	-1.277	3.466
Fe I	4306.745	4.383	-2.540	0.000
^{13}CH	4306.755	0.557	-3.379	3.466
^{13}CH	4306.758	0.597	-3.399	3.466
^{13}CH	4306.770	1.708	-1.431	3.466
^{13}CH	4306.791	1.708	-1.434	3.466
^{12}CH	4306.796	1.854	-0.957	3.466
C_2	4306.798	1.011	-0.810	6.244
^{12}CH	4306.802	1.978	-1.703	3.466
U I	4306.813	0.000	-1.700	0.000
^{12}CH	4306.814	0.559	-1.277	3.466
^{12}CH	4306.814	0.599	-1.243	3.466
^{13}CH	4306.824	1.708	-3.734	3.466
^{12}CH	4306.826	1.978	-1.732	3.466
^{12}CH	4306.827	0.559	-3.379	3.466
^{13}CH	4306.829	0.191	-1.274	3.466
^{13}CH	4306.829	0.191	-3.302	3.466
^{12}CH	4306.841	0.599	-3.399	3.466
^{12}CH	4306.856	0.192	-1.274	3.466
^{12}CH	4306.856	0.192	-3.302	3.466
W I	4306.877	3.068	0.460	0.000
^{12}CH	4306.891	1.854	-0.959	3.466
^{12}CH	4306.897	1.978	-4.343	3.466
Fe I	4306.906	4.383	-1.960	0.000
Cr II	4306.916	5.869	-1.190	0.000
C_2	4306.927	0.580	-7.230	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.931	0.216	-7.670	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4306.933	0.216	-7.950	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ti I	4306.934	0.812	-2.520	0.000
Ca I	4306.940	4.765	-1.870	0.000
^{12}CH	4306.951	1.854	-3.834	3.466
C_2	4306.956	1.186	-6.720	6.244
V I	4306.972	3.284	-4.620	0.000
Ni I	4306.999	4.161	-1.640	0.000
V I	4307.016	2.553	-2.220	0.000
Fe I	4307.058	3.370	-3.990	0.000
Fe I	4307.074	3.366	-3.670	0.000
V I	4307.154	2.576	-1.680	0.000
C_2	4307.169	1.026	-7.050	6.244
V I	4307.176	0.000	-1.730	0.000
Th I	4307.176	1.387	-0.150	0.000
C_2	4307.179	1.026	-4.010	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4307.195	3.389	-3.160	7.724
V I	4307.204	2.136	-0.910	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4307.204	3.389	-4.310	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4307.215	3.389	-3.010	7.724
C_2	4307.222	0.580	-4.190	6.244
V I	4307.223	2.357	-5.650	0.000
Ni I	4307.258	4.085	-2.670	0.000
Ni I	4307.270	4.150	-1.110	0.000
^{13}CH	4307.279	0.156	-1.362	3.466
^{13}CH	4307.294	0.156	-3.138	3.466
C_2	4307.294	0.581	-4.220	6.244
^{12}CH	4307.306	0.157	-1.362	3.466
V I	4307.315	1.194	-3.550	0.000
^{12}CH	4307.320	0.157	-3.138	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4307.358	1.026	-4.080	6.244
V II	4307.376	5.875	-4.670	0.000
¹³ CH	4307.427	1.607	-4.361	3.466
V II	4307.428	6.517	-3.950	0.000
¹³ CH	4307.429	0.557	-3.267	3.466
Co I	4307.438	3.663	-0.740	0.000
¹³ CH	4307.442	0.557	-1.314	3.466
¹³ CH	4307.444	0.521	-1.356	3.466
¹³ CH	4307.451	0.521	-3.210	3.466
Cr I	4307.461	3.077	-1.450	0.000
¹³ CH	4307.493	1.652	-4.405	3.466
V I	4307.506	2.121	-2.890	0.000
¹² CH	4307.510	0.560	-3.267	3.466
¹² CH	4307.523	0.523	-1.356	3.466
¹² CH	4307.523	0.523	-3.210	3.466
¹² CH	4307.523	0.560	-1.314	3.466
¹³ CH	4307.536	0.156	-3.275	3.466
¹³ CH	4307.536	1.763	-0.959	3.466
C ₂	4307.539	0.609	-7.810	6.244
¹³ CH	4307.551	0.156	-1.316	3.466
V I	4307.551	2.503	-4.380	0.000
¹³ CH	4307.561	0.557	-1.277	3.466
¹² CH	4307.564	0.157	-3.275	3.466
C ₂	4307.568	0.410	-7.640	6.244
¹³ CH	4307.573	0.557	-3.367	3.466
¹² CH	4307.579	0.157	-1.316	3.466
C ₂	4307.583	0.266	-8.280	6.244
Ti I	4307.584	2.316	-2.880	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4307.593	1.763	-3.780	3.466
Ru I	4307.594	1.138	-0.610	0.000
Fe I	4307.604	4.590	-2.100	0.000
Fe I	4307.618	3.249	-3.850	0.000
Pr II	4307.623	1.297	-0.560	0.000
W I	4307.636	2.456	-0.310	0.000
^{12}CH	4307.644	0.560	-1.277	3.466
C_2	4307.647	0.609	-4.380	6.244
^{13}CH	4307.655	1.136	-1.608	3.466
^{12}CH	4307.656	0.560	-3.367	3.466
C_2	4307.661	0.768	-7.540	6.244
Cr I	4307.662	4.616	-0.528	0.000
^{13}CH	4307.669	0.521	-1.315	3.466
^{13}CH	4307.669	0.521	-3.343	3.466
^{13}CH	4307.680	1.763	-3.784	3.466
Cr I	4307.693	4.613	-0.530	0.000
Fe I	4307.704	3.265	-6.070	0.000
Co I	4307.712	2.326	-3.790	0.000
C_2	4307.733	0.773	-7.230	6.244
^{13}CH	4307.737	1.763	-0.963	3.466
^{12}CH	4307.744	0.523	-3.343	3.466
Ca I	4307.744	1.884	-0.260	0.000
Ca I	4307.744	1.886	-0.257	0.000
^{12}CH	4307.746	0.523	-1.315	3.466
C_2	4307.766	0.609	-4.380	6.244
Nd II	4307.770	0.380	-0.920	0.000
C_2	4307.785	0.768	-4.190	6.244
C_2	4307.826	0.993	-7.470	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4307.832	3.391	-3.010	7.724
Cr I	4307.837	4.204	-2.810	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4307.845	3.391	-4.440	7.724
C_2	4307.850	0.410	-4.550	6.244
^{13}CH	4307.853	1.136	-3.339	3.466
^{13}CH	4307.854	1.136	-1.574	3.466
Fe I	4307.854	4.280	-3.810	0.000
Gd II	4307.855	1.710	-0.820	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4307.859	3.391	-2.890	7.724
Ti II	4307.863	1.165	-1.291	0.000
C_2	4307.863	0.609	-1.060	6.244
C_2	4307.865	0.266	-5.080	6.244
Ti II	4307.866	1.164	-1.080	0.000
C_2	4307.875	0.609	-1.070	6.244
C_2	4307.890	0.267	-5.100	6.244
C_2	4307.895	0.768	-4.180	6.244
Fe I	4307.902	1.556	-0.070	0.000
P I	4307.907	6.949	-2.300	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4307.907	0.610	-8.170	6.244
Ti II	4307.912	1.160	-3.380	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4307.912	0.610	-5.130	6.244
C_2	4307.913	0.410	-4.570	6.244
^{12}CH	4307.914	1.717	-1.433	3.466
^{13}CH	4307.918	0.156	-1.362	3.466
^{13}CH	4307.934	0.156	-3.149	3.466
Cr I	4307.950	4.204	-1.820	0.000
C_2	4307.951	0.993	-4.130	6.244
^{12}CH	4307.952	1.717	-1.431	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4307.953	0.157	-1.362	3.466
¹² CH	4307.968	0.157	-3.149	3.466
¹² CH	4307.969	1.139	-1.608	3.466
C ₂	4307.971	0.151	-7.640	6.244
C ₂	4307.978	0.609	-1.080	6.244
C ₂	4307.979	0.768	-0.900	6.244
¹² C ¹³ C	4307.986	0.610	-8.500	6.244
Ni I	4308.001	3.844	-1.780	0.000
Ti II	4308.004	5.212	-2.720	0.000
C ₂	4308.019	0.768	-0.910	6.244
C ₂	4308.026	0.773	-4.180	6.244
¹² CH	4308.028	1.717	-3.734	3.466
¹² C ¹³ C	4308.052	0.610	-5.140	6.244
C ₂	4308.056	0.993	-4.120	6.244
¹² CH	4308.061	1.771	-0.959	3.466
V I	4308.071	1.847	-4.090	0.000
C ₂	4308.100	0.773	-4.210	6.244
¹² C ¹³ C	4308.100	0.610	-1.620	6.244
Nb I	4308.102	1.120	-1.460	0.000
¹³ CH	4308.119	0.156	-3.266	3.466
¹² C ¹³ C	4308.122	0.610	-5.130	6.244
Th I	4308.122	1.393	-0.700	0.000
Ca I	4308.126	5.951	-3.230	0.000
C ₂	4308.127	0.768	-0.920	6.244
¹² C ¹³ C	4308.127	0.610	-1.630	6.244
¹³ CH	4308.134	0.156	-1.316	3.466
¹² CH	4308.143	1.771	-3.780	3.466
¹² CH	4308.153	0.157	-3.266	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Mn II	4308.158	5.414	-1.720	0.000
^{12}CH	4308.164	1.140	-1.574	3.466
^{12}CH	4308.169	0.157	-1.316	3.466
^{12}CH	4308.170	1.140	-3.339	3.466
C_2	4308.181	0.993	-0.810	6.244
Ca I	4308.194	4.760	-2.000	0.000
^{13}CH	4308.195	0.521	-3.222	3.466
^{13}CH	4308.199	0.521	-1.356	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4308.199	0.610	-5.130	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4308.201	0.610	-1.640	6.244
^{12}CH	4308.210	1.771	-3.784	3.466
^{13}CH	4308.214	0.669	-1.991	3.466
^{13}CH	4308.253	0.670	-1.990	3.466
C_2	4308.257	0.682	-6.710	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4308.265	0.610	-1.630	6.244
^{13}CH	4308.272	1.913	-4.258	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4308.273	0.610	-1.620	6.244
^{12}CH	4308.277	0.523	-3.222	3.466
^{12}CH	4308.278	0.523	-1.356	3.466
^{13}CH	4308.282	0.488	-1.403	3.466
Fe I	4308.289	4.000	-1.750	0.000
^{12}CH	4308.292	1.771	-0.963	3.466
C_2	4308.292	0.993	-0.820	6.244
^{13}CH	4308.300	0.488	-3.161	3.466
^{13}CH	4308.312	1.564	-4.318	3.466
^{12}CH	4308.313	1.862	-4.263	3.466
^{13}CH	4308.323	1.913	-2.249	3.466
^{13}CH	4308.336	1.913	-2.195	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4308.343	0.671	-1.991	3.466
¹² C ¹³ C	4308.347	0.610	-1.640	6.244
¹³ CH	4308.353	0.521	-3.333	3.466
¹³ CH	4308.356	0.521	-1.315	3.466
¹² CH	4308.357	0.490	-1.403	3.466
¹³ CH	4308.366	1.136	-1.608	3.466
¹² CH	4308.376	0.490	-3.161	3.466
¹² CH	4308.379	0.671	-1.990	3.466
C ₂	4308.380	0.489	-6.880	6.244
¹² CH	4308.386	1.862	-2.299	3.466
¹² CH	4308.394	1.862	-2.243	3.466
¹² C ¹³ C	4308.421	0.347	-8.550	6.244
Ca I	4308.433	5.951	-3.210	0.000
¹² CH	4308.437	0.523	-3.333	3.466
V I	4308.438	1.802	-1.580	0.000
¹² CH	4308.442	0.523	-1.315	3.466
C ₂	4308.470	0.900	-6.350	6.244
¹² C ¹³ C	4308.471	0.347	-5.390	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4308.489	3.393	-2.890	7.724
Fe I	4308.493	2.452	-3.590	0.000
¹³ CH	4308.495	1.136	-1.575	3.466
Cr I	4308.496	3.847	-2.740	0.000
Ti I	4308.500	1.066	-1.440	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4308.506	3.393	-4.540	7.724
¹³ CH	4308.515	1.136	-3.322	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4308.523	3.393	-2.810	7.724
¹³ CH	4308.531	0.488	-3.306	3.466
Fe I	4308.536	2.221	-4.200	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4308.538	0.125	-1.416	3.466
Ti I	4308.540	1.070	-1.560	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4308.550	0.347	-5.480	6.244
^{13}CH	4308.556	0.488	-1.357	3.466
^{13}CH	4308.569	0.125	-3.084	3.466
^{12}CH	4308.571	0.125	-1.416	3.466
^{13}CH	4308.588	1.699	-4.449	3.466
^{12}CH	4308.604	0.125	-3.084	3.466
^{12}CH	4308.609	0.490	-3.306	3.466
Fe I	4308.616	4.188	-3.570	0.000
^{12}CH	4308.623	0.490	-1.357	3.466
Mn I	4308.626	4.709	-1.420	0.000
Dy II	4308.630	0.000	-0.910	0.000
Mo I	4308.646	3.196	-1.490	0.000
Sc I	4308.652	1.952	-2.000	0.000
C_2	4308.658	0.569	-7.000	6.244
^{12}CH	4308.665	1.140	-1.608	3.466
Tb II	4308.680	0.731	-0.570	0.000
Nb I	4308.683	1.079	-1.200	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4308.683	0.347	-8.770	6.244
^{13}CH	4308.699	1.608	-4.315	3.466
C_2	4308.714	0.569	-4.110	6.244
Cr II	4308.777	4.000	-2.750	0.000
^{12}CH	4308.804	1.140	-1.575	3.466
Mn I	4308.808	4.675	-2.700	0.000
^{12}CH	4308.810	1.140	-3.322	3.466
^{13}CH	4308.829	0.125	-3.235	3.466
^{13}CH	4308.831	1.902	-5.425	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4308.863	0.125	-1.364	3.466
¹² CH	4308.865	0.126	-3.235	3.466
Mn I	4308.877	4.265	-0.890	0.000
Os I	4308.877	2.367	-1.090	0.000
C ₂	4308.897	0.569	-4.180	6.244
¹² CH	4308.898	0.126	-1.364	3.466
¹³ CH	4308.902	0.488	-1.403	3.466
Zr II	4308.914	1.485	-0.800	0.000
¹³ CH	4308.916	0.488	-3.173	3.466
¹³ CH	4308.917	1.653	-4.356	3.466
C ₂	4308.919	1.174	-6.460	6.244
C ₂	4308.920	0.310	-7.080	6.244
¹² C ¹³ C	4308.935	0.347	-5.450	6.244
¹² C ¹³ C	4308.961	0.347	-5.460	6.244
¹² CH	4308.984	0.490	-1.403	3.466
¹² CH	4308.999	0.490	-3.173	3.466
Sm II	4309.010	0.184	-0.740	0.000
Fe I	4309.031	3.632	-1.100	0.000
Fe I	4309.035	4.545	-3.840	0.000
¹³ CH	4309.050	0.458	-1.457	3.466
¹³ CH	4309.053	0.125	-1.416	3.466
Ti I	4309.081	2.248	-0.760	0.000
¹³ CH	4309.084	0.458	-3.107	3.466
¹³ CH	4309.087	0.125	-3.094	3.466
¹³ CH	4309.091	0.488	-3.296	3.466
¹² CH	4309.095	0.126	-1.416	3.466
¹³ CH	4309.113	0.488	-1.357	3.466
Mn I	4309.122	4.265	-1.880	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4309.128	0.126	-3.094	3.466
^{12}CH	4309.129	0.460	-1.457	3.466
Ti I	4309.146	3.145	-3.960	0.000
C_2	4309.162	0.751	-4.170	6.244
^{12}CH	4309.163	0.460	-3.107	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4309.166	3.395	-2.810	7.724
C_2	4309.170	0.976	-7.170	6.244
C_2	4309.171	0.976	-4.110	6.244
C_2	4309.171	1.013	-7.200	6.244
^{12}CH	4309.177	0.490	-3.296	3.466
Fe I	4309.178	4.253	-3.060	0.000
C_2	4309.185	0.751	-7.180	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4309.189	3.395	-4.630	7.724
^{12}CH	4309.193	0.490	-1.357	3.466
Ru I	4309.209	3.226	0.010	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4309.209	3.395	-2.730	7.724
Mn I	4309.239	4.341	-1.590	0.000
C_2	4309.260	0.592	-7.420	6.244
Ni I	4309.265	4.085	-3.870	0.000
^{13}CH	4309.267	0.670	-2.656	3.466
^{12}CH	4309.270	1.979	-1.703	3.466
C_2	4309.276	0.592	-4.370	6.244
V I	4309.280	2.576	-1.390	0.000
Gd I	4309.288	0.985	0.200	0.000
^{13}CH	4309.294	0.670	-2.653	3.466
^{13}CH	4309.295	0.125	-3.226	3.466
^{12}CH	4309.306	1.979	-4.190	3.466
Sc I	4309.306	1.942	-1.960	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C II	4309.313	18.046	-3.849	0.000
C ₂	4309.322	0.751	-0.910	6.244
¹³ CH	4309.329	0.125	-1.364	3.466
¹³ CH	4309.332	0.458	-3.265	3.466
¹² CH	4309.337	0.126	-3.226	3.466
C ₂	4309.340	0.762	-7.020	6.244
¹³ CH	4309.356	0.358	-5.076	3.466
¹² CH	4309.365	1.979	-4.318	3.466
C ₂	4309.365	0.976	-0.810	6.244
¹³ CH	4309.366	0.458	-1.405	3.466
Fe I	4309.366	4.227	-3.500	0.000
¹² CH	4309.370	0.126	-1.364	3.466
V II	4309.374	6.537	-1.540	0.000
Fe I	4309.374	2.947	-1.180	0.000
C ₂	4309.389	1.763	-8.490	6.244
¹² CH	4309.400	1.979	-1.733	3.466
¹² CH	4309.401	0.672	-2.656	3.466
Co II	4309.406	7.605	-2.070	0.000
Fe I	4309.411	4.281	-4.130	0.000
¹² CH	4309.413	0.460	-3.265	3.466
C ₂	4309.420	0.762	-4.130	6.244
C ₂	4309.424	1.013	-4.070	6.244
C ₂	4309.427	0.976	-0.820	6.244
C ₂	4309.427	0.976	-4.110	6.244
¹² CH	4309.428	0.672	-2.653	3.466
C ₂	4309.431	0.751	-0.930	6.244
¹³ CH	4309.437	1.565	-4.275	3.466
Co I	4309.437	3.014	-1.670	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Co I	4309.437	3.016	-1.669	0.000
^{12}CH	4309.445	0.460	-1.405	3.466
Fe I	4309.454	3.109	-3.060	0.000
C ₂	4309.454	0.751	-4.160	6.244
C ₂	4309.471	0.397	-7.420	6.244
^{13}CH	4309.472	0.670	-1.840	3.466
C ₂	4309.472	0.469	-8.000	6.244
C ₂	4309.474	0.592	-1.070	6.244
Sc I	4309.482	2.108	-3.440	0.000
C ₂	4309.484	1.013	-4.090	6.244
^{13}CH	4309.497	0.670	-1.841	3.466
Mn I	4309.506	4.329	-4.090	0.000
V I	4309.517	2.121	-0.890	0.000
C ₂	4309.518	0.592	-4.360	6.244
C ₂	4309.534	0.592	-1.080	6.244
C ₂	4309.534	0.976	-0.830	6.244
^{13}CH	4309.549	0.458	-1.457	3.466
Nb I	4309.551	1.608	-0.500	0.000
C ₂	4309.554	0.397	-4.480	6.244
Fe I	4309.558	4.431	-2.020	0.000
Lu I	4309.571	0.247	-1.660	0.000
C II	4309.579	18.046	-2.896	0.000
Ce II	4309.580	0.740	-0.880	0.000
^{13}CH	4309.582	0.458	-3.117	3.466
C ₂	4309.582	0.752	-0.940	6.244
C ₂	4309.588	0.762	-4.220	6.244
^{12}CH	4309.603	0.672	-1.840	3.466
Mn I	4309.610	4.341	-3.830	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Y II	4309.622	0.180	-0.750	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4309.624	0.203	-7.930	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4309.626	0.203	-7.660	6.244
^{12}CH	4309.633	0.460	-1.457	3.466
^{12}CH	4309.633	0.672	-1.841	3.466
Y II	4309.634	0.180	-0.220	0.000
C_2	4309.635	0.592	-1.090	6.244
C_2	4309.639	0.252	-8.020	6.244
^{13}CH	4309.656	0.097	-1.480	3.466
Cr I	4309.658	4.204	-0.850	0.000
V I	4309.659	2.357	-0.210	0.000
^{12}CH	4309.667	0.460	-3.117	3.466
Fe I	4309.673	2.996	-5.720	0.000
C_2	4309.682	0.397	-4.580	6.244
^{12}CH	4309.699	0.098	-1.480	3.466
Cr I	4309.701	4.207	-0.847	0.000
C_2	4309.704	0.252	-5.000	6.244
C_2	4309.706	0.469	-4.760	6.244
^{13}CH	4309.710	0.097	-3.022	3.466
Co I	4309.712	3.927	-3.410	0.000
Fe I	4309.714	4.581	-0.730	0.000
Fe I	4309.720	3.957	-4.240	0.000
^{12}CH	4309.725	1.849	-5.542	3.466
Ce II	4309.735	0.459	-0.460	0.000
V I	4309.738	2.129	-0.780	0.000
^{13}CH	4309.739	0.431	-1.521	3.466
^{12}CH	4309.752	0.098	-3.022	3.466
V II	4309.759	6.524	-2.200	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4309.780	0.458	-3.257	3.466
^{13}CH	4309.781	1.710	-1.434	3.466
^{13}CH	4309.794	0.431	-3.045	3.466
Ti I	4309.796	1.995	-2.440	0.000
V I	4309.800	0.040	-1.580	0.000
C_2	4309.805	0.469	-1.410	6.244
C_2	4309.809	0.252	-5.080	6.244
^{13}CH	4309.814	0.458	-1.405	3.466
^{12}CH	4309.822	0.433	-1.521	3.466
Zr I	4309.831	0.542	-1.830	0.000
^{13}CH	4309.838	1.933	-3.796	3.466
Ti I	4309.838	0.848	-2.960	0.000
^{13}CH	4309.852	1.933	-0.959	3.466
C_2	4309.862	1.779	-6.940	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4309.864	3.398	-2.730	7.724
^{12}CH	4309.867	0.460	-3.257	3.466
Ti I	4309.875	3.177	-2.120	0.000
^{12}CH	4309.876	0.433	-3.045	3.466
Sc I	4309.891	3.187	-3.360	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4309.892	3.398	-4.700	7.724
^{12}CH	4309.903	0.460	-1.405	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4309.915	3.398	-2.670	7.724
Ca I	4309.942	4.776	-2.580	0.000
Co I	4309.943	3.968	-3.120	0.000
V II	4309.963	3.800	-4.420	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4309.986	0.589	-8.170	6.244
^{13}CH	4309.987	1.933	-0.958	3.466
^{13}CH	4309.991	1.710	-3.699	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Th II	4309.992	1.794	-0.310	0.000
^{13}CH	4309.993	0.097	-3.191	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4309.994	0.589	-5.130	6.244
^{13}CH	4310.001	1.933	-3.854	3.466
^{12}CH	4310.037	0.098	-3.191	3.466
^{13}CH	4310.038	0.097	-1.419	3.466
^{13}CH	4310.041	1.710	-1.432	3.466
^{13}CH	4310.053	1.826	-9.154	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.059	0.589	-8.500	6.244
^{13}CH	4310.064	0.432	-3.221	3.466
Fe I	4310.066	3.428	-3.170	0.000
^{13}CH	4310.067	0.097	-1.480	3.466
^{13}CH	4310.073	1.525	-4.274	3.466
Co I	4310.082	2.326	-2.520	0.000
^{12}CH	4310.091	0.098	-1.419	3.466
Ca I	4310.099	5.923	-7.100	0.000
^{12}CH	4310.100	0.098	-1.480	3.466
^{13}CH	4310.117	0.097	-3.031	3.466
^{13}CH	4310.117	0.432	-1.460	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.129	0.589	-5.130	6.244
^{13}CH	4310.135	0.432	-1.520	3.466
^{12}CH	4310.149	0.433	-3.221	3.466
^{12}CH	4310.164	0.098	-3.031	3.466
^{13}CH	4310.171	1.700	-4.398	3.466
^{13}CH	4310.186	0.432	-3.054	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.186	0.589	-1.630	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.205	0.589	-5.120	6.244
V I	4310.210	2.330	-3.000	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4310.211	0.433	-1.460	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.213	0.589	-1.640	6.244
V I	4310.220	2.721	-5.280	0.000
Cr I	4310.222	0.941	-6.810	0.000
^{12}CH	4310.224	0.433	-1.520	3.466
Cr I	4310.229	4.613	-3.110	0.000
Cr I	4310.239	4.201	-3.100	0.000
^{12}CH	4310.272	0.433	-3.054	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.275	0.589	-5.120	6.244
V I	4310.287	3.313	-3.320	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.287	0.589	-1.650	6.244
V I	4310.340	1.182	-2.940	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.344	0.589	-1.640	6.244
^{13}CH	4310.346	0.408	-1.597	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.352	0.589	-1.630	6.244
^{13}CH	4310.354	0.098	-3.183	3.466
Ti I	4310.358	1.052	-1.890	0.000
C_2	4310.369	1.000	-7.000	6.244
Fe I	4310.372	3.926	-1.500	0.000
Fe I	4310.374	3.929	-1.494	0.000
U II	4310.375	0.778	-1.510	0.000
Mo I	4310.390	3.031	-0.830	0.000
C_2	4310.390	1.000	-4.000	6.244
^{12}CH	4310.403	0.098	-3.183	3.466
^{13}CH	4310.409	0.098	-1.419	3.466
^{13}CH	4310.411	0.432	-3.214	3.466
^{13}CH	4310.421	0.408	-2.973	3.466
^{12}CH	4310.428	0.409	-1.597	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² C ¹³ C	4310.428	0.589	-1.650	6.244
¹² CH	4310.456	0.098	-1.419	3.466
¹³ CH	4310.464	0.432	-1.460	3.466
V II	4310.472	6.461	-0.980	0.000
C ₂	4310.483	0.674	-6.430	6.244
Ti III	4310.484	19.763	-0.312	0.000
¹² CH	4310.494	1.719	-1.434	3.466
Nd II	4310.500	0.204	-1.420	0.000
¹² CH	4310.501	0.433	-3.214	3.466
¹² CH	4310.507	0.409	-2.973	3.466
Ca I	4310.511	6.030	-3.410	0.000
¹² CH	4310.513	1.863	-2.243	3.466
C ₂	4310.516	0.959	-7.480	6.244
¹² CH	4310.532	1.863	-4.297	3.466
Ti I	4310.533	2.248	-2.050	0.000
Fe I	4310.533	4.545	-2.590	0.000
Fe I	4310.540	3.632	-2.540	0.000
¹² CH	4310.554	0.433	-1.460	3.466
Ca I	4310.554	6.030	-2.850	0.000
C ₂	4310.575	1.000	-4.080	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4310.583	3.401	-2.670	7.724
Ir I	4310.593	1.514	-1.900	0.000
Ti I	4310.596	3.137	-3.290	0.000
V I	4310.604	3.296	-4.510	0.000
¹² CH	4310.605	1.863	-2.300	3.466
¹² CH	4310.609	1.719	-3.699	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4310.617	3.401	-4.760	7.724
V I	4310.619	2.573	-4.060	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4310.623	0.141	-7.330	6.244
C ₂	4310.625	0.890	-6.760	6.244
¹³ CH	4310.628	1.914	-2.196	3.466
¹³ CH	4310.632	0.073	-1.556	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4310.643	3.401	-2.620	7.724
¹² CH	4310.644	1.719	-1.431	3.466
¹³ CH	4310.648	0.408	-1.596	3.466
C ₂	4310.651	0.959	-4.110	6.244
¹³ CH	4310.658	1.106	-1.639	3.466
Cr I	4310.659	2.965	-1.510	0.000
¹³ CH	4310.663	1.914	-4.293	3.466
C ₂	4310.671	0.557	-7.180	6.244
¹² CH	4310.680	0.073	-1.556	3.466
C ₂	4310.688	0.480	-6.510	6.244
Ce II	4310.696	0.495	-0.940	0.000
C ₂	4310.696	1.162	-6.690	6.244
¹² CH	4310.707	1.941	-3.796	3.466
¹³ CH	4310.709	0.073	-2.950	3.466
¹³ CH	4310.711	1.914	-2.249	3.466
¹³ CH	4310.718	0.408	-2.981	3.466
V II	4310.721	2.034	-3.860	0.000
¹³ CH	4310.723	0.408	-3.174	3.466
¹² CH	4310.729	0.410	-1.596	3.466
C ₂	4310.751	0.735	-7.570	6.244
¹² CH	4310.752	0.359	-5.076	3.466
C ₂	4310.753	0.959	-4.100	6.244
¹³ CH	4310.757	1.849	-0.958	3.466
¹² CH	4310.758	0.073	-2.950	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.758	0.331	-8.530	6.244
Ti I	4310.766	1.732	-3.130	0.000
^{12}CH	4310.767	1.941	-0.959	3.466
^{13}CH	4310.802	0.408	-1.525	3.466
^{13}CH	4310.802	1.749	-4.496	3.466
^{12}CH	4310.807	0.410	-2.981	3.466
^{12}CH	4310.811	0.410	-3.174	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.812	0.331	-5.380	6.244
^{13}CH	4310.814	1.849	-3.805	3.466
^{13}CH	4310.826	0.986	-3.496	3.466
^{13}CH	4310.848	0.388	-1.692	3.466
Ca I	4310.856	5.177	-2.640	0.000
C_2	4310.856	0.959	-0.820	6.244
^{12}CH	4310.866	1.941	-0.958	3.466
^{13}CH	4310.881	1.106	-3.292	3.466
^{13}CH	4310.886	0.986	-3.484	3.466
C_2	4310.887	0.735	-4.170	6.244
C_2	4310.888	0.959	-0.830	6.244
^{12}CH	4310.890	0.410	-1.525	3.466
^{13}CH	4310.892	1.106	-1.601	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4310.893	0.331	-5.470	6.244
^{13}CH	4310.904	1.849	-3.803	3.466
^{12}CH	4310.926	1.941	-3.854	3.466
^{12}CH	4310.937	0.389	-1.692	3.466
^{13}CH	4310.940	0.073	-1.556	3.466
P I	4310.950	6.930	-2.500	0.000
^{13}CH	4310.957	0.388	-2.887	3.466
^{13}CH	4310.960	1.849	-0.960	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4310.974	1.109	-1.639	3.466
C_2	4310.980	0.557	-4.190	6.244
Gd II	4310.980	0.492	-1.240	0.000
^{13}CH	4310.981	0.408	-3.168	3.466
^{12}CH	4310.992	0.074	-1.556	3.466
C_2	4310.994	0.735	-4.160	6.244
^{12}CH	4310.998	1.612	-4.361	3.466
C_2	4311.001	0.959	-0.840	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4311.003	0.331	-8.740	6.244
C_2	4311.016	0.574	-7.820	6.244
^{13}CH	4311.017	0.073	-2.958	3.466
Cr I	4311.022	4.201	-2.370	0.000
^{13}CH	4311.025	0.073	-3.143	3.466
^{13}CH	4311.028	0.662	-2.074	3.466
^{12}CH	4311.045	0.389	-2.887	3.466
^{13}CH	4311.054	0.662	-2.074	3.466
^{13}CH	4311.057	1.525	-4.234	3.466
^{13}CH	4311.062	0.408	-1.525	3.466
C_2	4311.062	0.558	-4.220	6.244
^{12}CH	4311.064	0.074	-2.958	3.466
^{13}CH	4311.071	0.388	-1.692	3.466
^{12}CH	4311.073	0.410	-3.168	3.466
^{12}CH	4311.075	0.074	-3.143	3.466
Mo II	4311.077	4.496	-1.000	0.000
^{12}CH	4311.085	0.989	-3.496	3.466
C_2	4311.087	0.735	-0.920	6.244
^{13}CH	4311.103	0.073	-1.484	3.466
Ti I	4311.112	2.295	-3.530	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4311.130	0.735	-0.940	6.244
C ₂	4311.135	0.574	-4.370	6.244
¹² CH	4311.146	0.989	-3.484	3.466
¹² CH	4311.154	0.074	-1.484	3.466
¹² CH	4311.154	0.389	-1.692	3.466
¹² CH	4311.154	0.410	-1.525	3.466
¹³ CH	4311.171	0.388	-2.894	3.466
Ca I	4311.171	6.031	-3.700	0.000
C ₂	4311.179	0.750	-7.160	6.244
Ti II	4311.181	5.229	-3.040	0.000
¹² CH	4311.192	0.664	-2.074	3.466
¹² CH	4311.201	1.109	-3.292	3.466
¹² CH	4311.208	1.109	-1.601	3.466
¹² CH	4311.215	0.664	-2.074	3.466
Ti I	4311.215	2.290	-8.020	0.000
¹³ CH	4311.238	0.371	-1.821	3.466
¹³ CH	4311.240	1.106	-1.639	3.466
C ₂	4311.240	0.735	-0.940	6.244
Nd I	4311.245	0.293	-0.350	0.000
Ca I	4311.249	5.923	-1.830	0.000
C ₂	4311.251	0.574	-4.360	6.244
¹² C ¹³ C	4311.259	0.331	-5.440	6.244
¹² CH	4311.261	0.389	-2.894	3.466
Nb I	4311.270	1.629	0.040	0.000
¹² C ¹³ C	4311.287	0.331	-5.460	6.244
¹³ CH	4311.294	0.073	-3.137	3.466
¹³ CH	4311.304	0.388	-3.123	3.466
Co II	4311.305	2.727	-6.210	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4311.323	3.404	-2.620	7.724
^{12}CH	4311.328	0.372	-1.821	3.466
^{12}CH	4311.348	0.074	-3.137	3.466
C_2	4311.356	0.574	-1.080	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4311.365	3.404	-4.820	7.724
C_2	4311.370	0.574	-1.090	6.244
^{13}CH	4311.375	0.073	-1.484	3.466
^{13}CH	4311.381	0.371	-1.820	3.466
^{13}CH	4311.386	0.371	-2.781	3.466
C_2	4311.388	0.301	-6.760	6.244
Os I	4311.391	0.637	-1.850	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4311.393	3.404	-2.570	7.724
^{12}CH	4311.395	0.390	-3.123	3.466
C	4311.402	7.679	-4.440	0.000
^{12}CH	4311.408	1.857	-0.958	3.466
^{13}CH	4311.412	0.388	-1.603	3.466
^{13}CH	4311.415	1.106	-1.602	3.466
^{13}CH	4311.419	1.106	-3.277	3.466
Ti I	4311.425	3.164	-2.310	0.000
^{12}CH	4311.427	0.074	-1.484	3.466
V I	4311.434	2.636	-2.620	0.000
^{13}CH	4311.449	0.052	-1.651	3.466
C_2	4311.458	0.450	-8.340	6.244
^{13}CH	4311.462	0.348	-2.440	3.466
Ca I	4311.467	4.765	-2.550	0.000
^{12}CH	4311.471	0.372	-1.820	3.466
C_2	4311.475	0.574	-1.100	6.244
^{12}CH	4311.477	0.372	-2.781	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4311.482	0.358	-2.018	3.466
^{13}CH	4311.485	0.388	-3.118	3.466
C_2	4311.486	0.750	-4.160	6.244
^{13}CH	4311.491	1.771	-1.436	3.466
^{12}CH	4311.493	1.857	-3.805	3.466
Ir I	4311.500	1.224	-1.650	0.000
^{12}CH	4311.503	0.052	-1.651	3.466
^{12}CH	4311.503	0.390	-1.603	3.466
^{12}CH	4311.506	1.569	-4.318	3.466
^{13}CH	4311.506	0.348	-2.438	3.466
^{13}CH	4311.510	1.771	-1.442	3.466
^{13}CH	4311.530	0.371	-2.787	3.466
^{13}CH	4311.539	1.771	-3.767	3.466
^{12}CH	4311.543	0.349	-2.440	3.466
Ti I	4311.546	3.164	-1.940	0.000
^{12}CH	4311.551	1.109	-1.639	3.466
C_2	4311.554	0.450	-4.760	6.244
^{13}CH	4311.558	0.052	-2.865	3.466
^{13}CH	4311.560	0.358	-2.017	3.466
^{12}CH	4311.561	1.857	-3.803	3.466
^{12}CH	4311.565	0.359	-2.018	3.466
C_2	4311.572	0.751	-4.200	6.244
Th I	4311.576	1.462	-0.630	0.000
^{12}CH	4311.579	0.390	-3.118	3.466
Ce II	4311.585	0.875	-0.680	0.000
^{12}CH	4311.592	0.349	-2.438	3.466
^{13}CH	4311.596	0.388	-1.604	3.466
^{12}CH	4311.603	1.657	-4.404	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
V I	4311.612	2.579	-0.640	0.000
^{12}CH	4311.614	0.052	-2.865	3.466
^{12}CH	4311.623	0.372	-2.787	3.466
Ti I	4311.630	2.150	0.070	0.000
C_2	4311.632	0.385	-7.580	6.244
Ti I	4311.645	2.152	-0.800	0.000
^{12}CH	4311.646	1.857	-0.960	3.466
^{12}CH	4311.655	0.359	-2.017	3.466
Mo II	4311.668	3.077	-1.000	0.000
^{13}CH	4311.672	0.052	-1.651	3.466
Ti I	4311.676	3.087	-4.110	0.000
^{13}CH	4311.685	0.358	-2.643	3.466
^{12}CH	4311.688	0.390	-1.604	3.466
C_2	4311.701	0.450	-4.760	6.244
Nb I	4311.711	0.197	-1.730	0.000
^{12}CH	4311.726	1.109	-3.277	3.466
^{12}CH	4311.729	0.053	-1.651	3.466
^{12}CH	4311.732	1.109	-1.602	3.466
^{13}CH	4311.774	0.348	-2.444	3.466
^{13}CH	4311.774	0.358	-2.648	3.466
^{13}CH	4311.776	0.052	-2.872	3.466
^{12}CH	4311.783	0.359	-2.643	3.466
C_2	4311.797	0.450	-1.410	6.244
Th I	4311.800	1.021	-1.060	0.000
^{13}CH	4311.811	0.372	-3.070	3.466
V I	4311.820	2.372	-6.960	0.000
^{13}CH	4311.831	0.348	-2.448	3.466
^{12}CH	4311.841	0.053	-2.872	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4311.848	0.942	-7.170	6.244
C ₂	4311.858	0.942	-4.090	6.244
¹² CH	4311.863	0.349	-2.444	3.466
¹² CH	4311.863	0.359	-2.648	3.466
C ₂	4311.872	0.450	-1.420	6.244
Fe I	4311.888	5.000	-1.270	0.000
¹² CH	4311.898	0.373	-3.070	3.466
V II	4311.900	6.160	-4.170	0.000
¹² CH	4311.904	0.349	-2.448	3.466
¹³ CH	4311.920	0.372	-3.066	3.466
¹³ CH	4311.922	0.052	-3.092	3.466
C ₂	4311.928	0.385	-4.530	6.244
¹³ CH	4311.953	0.372	-1.704	3.466
¹² CH	4311.981	0.053	-3.092	3.466
C ₂	4312.000	0.385	-4.560	6.244
¹² CH	4312.017	0.373	-3.066	3.466
¹³ CH	4312.034	0.052	-1.563	3.466
¹² C ¹³ C	4312.045	0.568	-8.170	6.244
¹² CH	4312.047	0.373	-1.704	3.466
C ₂	4312.049	0.238	-8.220	6.244
V I	4312.055	3.296	-3.810	0.000
¹² C ¹³ C	4312.056	0.568	-5.120	6.244
Ni I	4312.059	3.594	-7.860	0.000
C ₂	4312.063	0.942	-0.830	6.244
¹³ CH	4312.082	0.372	-1.705	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4312.086	3.408	-2.570	7.724
¹² CH	4312.089	0.053	-1.563	3.466
¹³ CH	4312.092	0.035	-1.779	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
V I	4312.101	3.403	-4.520	0.000
¹³ CH	4312.111	0.053	-3.087	3.466
¹² C ¹³ C	4312.113	0.568	-8.500	6.244
C ₂	4312.117	0.942	-4.090	6.244
C ₂	4312.126	0.942	-0.840	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4312.136	3.408	-4.860	7.724
Fe I	4312.153	3.879	-3.940	0.000
¹² CH	4312.156	0.035	-1.779	3.466
¹² CH	4312.163	0.373	-1.705	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4312.167	3.408	-2.530	7.724
¹² CH	4312.171	0.053	-3.087	3.466
¹² C ¹³ C	4312.186	0.568	-5.120	6.244
Cr I	4312.190	4.614	-2.930	0.000
¹³ CH	4312.206	0.053	-1.563	3.466
Zr II	4312.216	1.755	-1.200	0.000
¹³ CH	4312.221	0.358	-3.024	3.466
C ₂	4312.234	0.942	-0.850	6.244
C ₂	4312.235	0.719	-4.140	6.244
¹³ CH	4312.246	0.035	-2.760	3.466
C ₂	4312.246	0.719	-7.200	6.244
¹³ CH	4312.247	0.035	-1.778	3.466
¹² C ¹³ C	4312.251	0.568	-1.640	6.244
¹² C ¹³ C	4312.268	0.568	-5.120	6.244
¹² C ¹³ C	4312.278	0.568	-1.650	6.244
¹² CH	4312.280	0.053	-1.563	3.466
¹³ CH	4312.287	0.358	-3.021	3.466
¹² CH	4312.292	1.613	-4.315	3.466
¹² C ¹³ C	4312.294	0.191	-7.920	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4312.299	0.191	-7.640	6.244
Ca I	4312.302	2.930	-0.800	0.000
^{12}CH	4312.305	0.035	-1.778	3.466
^{12}CH	4312.307	0.035	-2.760	3.466
C_2	4312.315	0.987	-7.160	6.244
^{12}CH	4312.318	0.359	-3.024	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4312.331	0.568	-5.120	6.244
Ca I	4312.339	2.930	-2.210	0.000
C_2	4312.342	0.238	-5.060	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4312.353	0.568	-1.660	6.244
V II	4312.369	1.671	-4.630	0.000
C_2	4312.374	0.238	-5.090	6.244
^{12}CH	4312.384	0.359	-3.021	3.466
^{13}CH	4312.393	0.035	-2.766	3.466
C_2	4312.395	0.546	-6.940	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4312.404	0.568	-1.650	6.244
C_2	4312.406	0.719	-0.940	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4312.411	0.568	-1.640	6.244
^{13}CH	4312.431	0.358	-1.847	3.466
Nb I	4312.451	0.049	-1.440	0.000
^{12}CH	4312.456	0.035	-2.766	3.466
Cr I	4312.467	3.110	-1.370	0.000
C_2	4312.469	0.546	-4.110	6.244
Cr I	4312.473	3.113	-1.370	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4312.488	0.568	-1.660	6.244
^{13}CH	4312.491	0.358	-1.847	3.466
Fe I	4312.495	4.253	-3.440	0.000
C_2	4312.517	0.719	-0.950	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4312.528	0.359	-1.847	3.466
C ₂	4312.528	0.719	-4.140	6.244
Mn I	4312.529	3.370	-4.900	0.000
¹³ CH	4312.533	0.021	-1.974	3.466
Mn I	4312.548	2.939	-1.590	0.000
¹³ CH	4312.549	1.750	-4.443	3.466
Mn I	4312.550	2.939	-2.280	0.000
Mn I	4312.551	2.941	-1.076	0.000
Mn I	4312.553	2.939	-2.080	0.000
Mn I	4312.555	2.939	-2.160	0.000
Mn I	4312.556	2.939	-2.310	0.000
Mn I	4312.557	2.939	-2.630	0.000
¹³ CH	4312.560	0.348	-3.028	3.466
C ₂	4312.562	0.882	-6.290	6.244
Fe I	4312.568	3.298	-6.670	0.000
C ₂	4312.579	0.987	-4.070	6.244
¹³ CH	4312.587	0.348	-3.026	3.466
C ₂	4312.592	0.666	-6.650	6.244
¹² CH	4312.596	0.021	-1.974	3.466
¹² CH	4312.596	0.359	-1.847	3.466
Co I	4312.616	2.040	-3.540	0.000
¹³ CH	4312.625	0.021	-1.973	3.466
Cr I	4312.631	4.201	-2.310	0.000
¹³ CH	4312.641	1.487	-4.229	3.466
C ₂	4312.649	0.987	-4.090	6.244
¹² CH	4312.650	1.570	-4.274	3.466
¹³ CH	4312.658	0.010	-2.389	3.466
¹² CH	4312.659	0.349	-3.028	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4312.661	0.546	-4.180	6.244
C ₂	4312.665	1.150	-6.430	6.244
C ₂	4312.667	0.719	-0.960	6.244
¹³ CH	4312.683	0.035	-3.039	3.466
¹² CH	4312.687	0.021	-1.973	3.466
¹² CH	4312.688	0.349	-3.026	3.466
¹³ CH	4312.698	0.010	-2.387	3.466
C ₂	4312.703	0.557	-7.420	6.244
Mo I	4312.712	2.756	-1.780	0.000
¹² CH	4312.720	0.010	-2.388	3.466
C ₂	4312.728	0.557	-4.350	6.244
Cr I	4312.743	3.077	-3.080	0.000
¹² CH	4312.747	0.035	-3.039	3.466
¹³ CH	4312.749	0.021	-2.623	3.466
¹² CH	4312.766	0.010	-2.387	3.466
Sr II	4312.771	6.612	-0.620	0.000
C ₂	4312.791	0.739	-6.940	6.244
Mo I	4312.800	2.062	-2.030	0.000
C II	4312.802	18.046	-3.153	0.000
¹³ CH	4312.806	0.035	-3.035	3.466
V I	4312.806	1.182	-3.740	0.000
¹² CH	4312.811	0.021	-2.623	3.466
¹³ CH	4312.837	0.035	-1.663	3.466
¹³ CH	4312.838	0.021	-2.628	3.466
Sm I	4312.847	0.282	-0.280	0.000
¹³ CH	4312.850	0.838	-5.132	3.466
Ce II	4312.853	0.932	-1.600	0.000
Fe I	4312.854	4.140	-2.810	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ca I	4312.860	6.049	-1.750	0.000
Ti II	4312.860	1.179	-1.120	0.000
Ti II	4312.864	1.180	-1.163	0.000
^{12}CH	4312.870	0.035	-3.035	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4312.873	3.412	-2.530	7.724
^{13}CH	4312.875	0.348	-2.096	3.466
^{13}CH	4312.878	1.905	-5.492	3.466
C_2	4312.887	0.739	-4.120	6.244
^{12}CH	4312.898	0.035	-1.663	3.466
Ni II	4312.899	6.759	-4.500	0.000
^{12}CH	4312.903	0.021	-2.628	3.466
^{13}CH	4312.905	0.348	-2.097	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4312.932	3.412	-4.910	7.724
C_2	4312.936	0.557	-1.090	6.244
Fe I	4312.941	4.175	-3.020	0.000
C_2	4312.942	0.472	-6.840	6.244
^{13}CH	4312.960	0.035	-1.664	3.466
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4312.967	3.412	-2.490	7.724
C_2	4312.973	0.558	-4.340	6.244
^{12}CH	4312.976	0.349	-2.096	3.466
Fe I	4312.979	4.217	-4.000	0.000
^{13}CH	4312.980	0.010	-2.428	3.466
Th I	4312.984	0.355	-1.020	0.000
Fe II	4312.988	7.798	-1.710	0.000
C_2	4312.998	0.558	-1.100	6.244
^{12}CH	4313.002	1.529	-4.274	3.466
^{12}CH	4313.006	0.349	-2.097	3.466
Ca I	4313.010	4.760	-2.540	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4313.023	0.035	-1.664	3.466
¹³ CH	4313.024	0.010	-2.432	3.466
Fe I	4313.035	2.760	-2.480	0.000
Fe I	4313.042	2.756	-3.140	0.000
¹² CH	4313.043	0.010	-2.428	3.466
¹² CH	4313.054	1.658	-4.355	3.466
C ₂	4313.066	0.740	-4.200	6.244
¹² C ¹³ C	4313.073	0.315	-8.500	6.244
Ni I	4313.074	2.738	-3.960	0.000
¹² CH	4313.088	0.010	-2.432	3.466
Ce II	4313.099	0.634	-1.300	0.000
C ₂	4313.099	0.558	-1.110	6.244
¹² C ¹³ C	4313.132	0.315	-5.380	6.244
U I	4313.139	0.471	-0.490	0.000
C ₂	4313.167	0.926	-7.490	6.244
Ni I	4313.200	4.263	-4.280	0.000
C ₂	4313.209	0.130	-7.600	6.244
¹² C ¹³ C	4313.214	0.315	-5.470	6.244
¹² CH	4313.237	1.781	-1.442	3.466
¹² CH	4313.287	1.781	-1.435	3.466
Fe I	4313.289	3.299	-4.240	0.000
V II	4313.297	1.702	-3.540	0.000
¹² C ¹³ C	4313.301	0.315	-8.720	6.244
¹³ CH	4313.310	0.021	-2.992	3.466
C ₂	4313.314	0.926	-4.090	6.244
Sm II	4313.320	0.000	-2.240	0.000
V II	4313.325	6.161	-3.530	0.000
Nd II	4313.343	1.746	0.060	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4313.354	0.431	-8.000	6.244
¹² CH	4313.360	1.781	-3.766	3.466
C ₂	4313.369	0.431	-4.750	6.244
¹² CH	4313.378	0.021	-2.992	3.466
¹³ CH	4313.380	0.021	-2.989	3.466
Ca I	4313.385	6.050	-4.000	0.000
V II	4313.394	6.473	-2.460	0.000
Co I	4313.398	2.868	-3.790	0.000
Ca I	4313.400	6.050	-7.440	0.000
C ₂	4313.412	0.926	-4.080	6.244
¹² CH	4313.446	0.021	-2.989	3.466
¹² CH	4313.475	1.705	-4.448	3.466
¹³ CH	4313.492	1.488	-4.191	3.466
Co II	4313.500	5.171	-4.220	0.000
C ₂	4313.523	0.926	-0.840	6.244
C ₂	4313.524	0.373	-7.350	6.244
¹³ CH	4313.525	0.021	-1.805	3.466
Cr I	4313.527	5.151	-3.670	0.000
Ni I	4313.527	4.161	-1.520	0.000
C ₂	4313.540	0.975	-6.940	6.244
Mo I	4313.543	2.621	-1.900	0.000
C ₂	4313.558	0.926	-0.850	6.244
¹² C ¹³ C	4313.562	0.315	-5.430	6.244
C ₂	4313.568	0.431	-1.410	6.244
C ₂	4313.574	0.975	-3.990	6.244
¹² CH	4313.591	0.021	-1.805	3.466
Ce II	4313.592	0.521	-1.590	0.000
¹² C ¹³ C	4313.592	0.315	-5.450	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4313.593	0.021	-1.806	3.466
C ₂	4313.599	0.431	-4.740	6.244
Ti II	4313.612	5.688	-4.400	0.000
C ₂	4313.614	0.431	-1.420	6.244
C ₂	4313.621	0.373	-4.470	6.244
¹² CH	4313.661	0.021	-1.806	3.466
C ₂	4313.673	0.926	-0.860	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4313.687	3.417	-2.490	7.724
C ₂	4313.707	0.431	-1.430	6.244
Sm II	4313.720	0.104	-1.720	0.000
Sm II	4313.740	0.248	-1.950	0.000
Mn II	4313.753	7.376	-5.830	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4313.756	3.417	-4.950	7.724
C ₂	4313.758	0.373	-4.570	6.244
C ₂	4313.768	0.975	-4.070	6.244
C ₂	4313.771	0.703	-7.600	6.244
C ₂	4313.772	0.292	-7.030	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4313.794	3.417	-2.460	7.724
¹³ CH	4313.806	0.011	-2.994	3.466
C ₂	4313.823	1.348	-7.450	6.244
¹³ CH	4313.835	0.011	-2.993	3.466
Gd I	4313.845	0.027	-0.080	0.000
Sm I	4313.863	0.101	-1.610	0.000
U II	4313.874	0.217	-1.730	0.000
¹² CH	4313.875	0.011	-2.994	3.466
Nb I	4313.878	2.085	-0.510	0.000
V I	4313.889	1.852	-1.310	0.000
V I	4313.890	1.850	-0.130	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4313.907	0.011	-2.993	3.466
Ca I	4313.909	5.667	-2.920	0.000
^{13}CH	4313.912	1.078	-1.673	3.466
C_2	4313.920	0.703	-4.150	6.244
Dy I	4313.932	0.937	-0.580	0.000
^{12}CH	4314.002	1.530	-4.233	3.466
C_2	4314.022	0.703	-4.140	6.244
Ti I	4314.033	1.979	-1.940	0.000
C_2	4314.061	1.348	-4.130	6.244
Sc II	4314.083	0.618	-0.096	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.084	0.548	-8.170	6.244
C_2	4314.094	0.225	-7.950	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.097	0.548	-5.110	6.244
V I	4314.115	1.349	-3.390	0.000
^{13}CH	4314.119	0.011	-2.054	3.466
C_2	4314.126	0.703	-0.950	6.244
Fe II	4314.127	7.569	-4.600	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.146	0.547	-8.500	6.244
^{13}CH	4314.159	0.011	-2.054	3.466
^{13}CH	4314.167	1.078	-3.240	3.466
C_2	4314.171	0.225	-4.980	6.244
C_2	4314.171	0.703	-0.960	6.244
^{13}CH	4314.190	1.078	-1.631	3.466
V I	4314.197	2.377	-3.870	0.000
^{12}CH	4314.199	0.011	-2.054	3.466
Fe I	4314.218	3.879	-4.030	0.000
Ti I	4314.219	2.316	-2.680	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.223	0.548	-5.120	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4314.230	0.011	-2.054	3.466
^{13}CH	4314.230	1.801	-4.546	3.466
^{12}CH	4314.234	1.081	-1.673	3.466
C_2	4314.282	0.225	-5.070	6.244
C_2	4314.284	0.704	-0.970	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.296	0.548	-1.650	6.244
C_2	4314.297	1.331	-4.110	6.244
Ru I	4314.308	3.124	0.390	0.000
Cr I	4314.309	2.980	-2.820	0.000
Fe II	4314.310	2.674	-3.480	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.310	0.548	-5.110	6.244
Fe I	4314.314	4.000	-2.740	0.000
Fe II	4314.314	2.680	-3.630	0.000
C_2	4314.316	1.331	-7.320	6.244
Sm II	4314.320	0.248	-2.400	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.324	0.548	-1.660	6.244
C_2	4314.335	0.536	-7.120	6.244
Fe I	4314.336	4.470	-3.880	0.000
^{13}CH	4314.339	0.664	-2.454	3.466
^{13}CH	4314.342	0.664	-2.452	3.466
Ti I	4314.343	0.835	-1.580	0.000
Nd II	4314.364	1.528	0.150	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.367	0.547	-5.110	6.244
Mn II	4314.377	7.754	-1.950	0.000
^{13}CH	4314.380	1.078	-1.673	3.466
Mn I	4314.398	3.370	-4.290	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.399	0.548	-1.660	6.244
Gd I	4314.401	0.927	0.440	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4314.409	0.541	-7.830	6.244
Mn I	4314.426	4.329	-1.910	0.000
¹² C ¹³ C	4314.444	0.548	-1.660	6.244
¹² C ¹³ C	4314.449	0.547	-1.650	6.244
C ₂	4314.452	1.139	-6.660	6.244
C ₂	4314.465	1.331	-4.170	6.244
C ₂	4314.485	0.910	-7.170	6.244
¹² CH	4314.492	1.081	-3.240	3.466
¹² CH	4314.501	0.666	-2.452	3.466
¹² CH	4314.501	0.666	-2.454	3.466
C ₂	4314.504	0.910	-4.070	6.244
Nd II	4314.506	0.000	-0.920	0.000
¹² CH	4314.511	1.081	-1.631	3.466
Nd II	4314.512	0.000	-0.490	0.000
Ta I	4314.522	0.249	-2.010	0.000
¹² C ¹³ C	4314.528	0.548	-1.660	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4314.532	3.422	-2.460	7.724
C ₂	4314.540	0.541	-4.350	6.244
C ₂	4314.567	0.729	-7.080	6.244
Re I	4314.578	2.698	-0.920	0.000
¹³ CH	4314.595	1.078	-3.226	3.466
¹³ CH	4314.607	1.078	-1.632	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4314.612	3.422	-4.990	7.724
V I	4314.615	2.576	-3.960	0.000
V I	4314.623	2.113	-3.740	0.000
¹³ CH	4314.645	0.664	-1.908	3.466
¹³ CH	4314.645	0.664	-1.910	3.466
C ₂	4314.652	0.541	-4.340	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4314.653	3.422	-2.430	7.724
C_2	4314.661	0.536	-4.180	6.244
Ti I	4314.696	2.266	-2.770	0.000
^{12}CH	4314.699	1.082	-1.673	3.466
C_2	4314.720	0.910	-0.850	6.244
Ti I	4314.729	0.818	-1.570	0.000
C_2	4314.732	0.873	-6.760	6.244
Cr I	4314.742	3.844	-2.880	0.000
C_2	4314.755	0.536	-4.220	6.244
^{13}CH	4314.764	1.936	-0.959	3.466
C_2	4314.766	0.541	-1.100	6.244
C_2	4314.767	0.910	-4.070	6.244
^{13}CH	4314.778	1.773	-1.442	3.466
C_2	4314.783	0.541	-1.110	6.244
C_2	4314.786	0.910	-0.860	6.244
C_2	4314.789	0.659	-6.380	6.244
Ti I	4314.800	0.835	-0.390	0.000
Ti I	4314.807	0.840	-0.290	0.000
^{12}CH	4314.808	0.666	-1.910	3.466
^{12}CH	4314.809	0.666	-1.908	3.466
^{13}CH	4314.820	1.936	-3.831	3.466
V I	4314.820	2.581	-3.960	0.000
C_2	4314.890	0.729	-4.140	6.244
C_2	4314.891	0.541	-1.120	6.244
C_2	4314.895	0.911	-0.870	6.244
^{12}CH	4314.912	1.082	-3.226	3.466
^{13}CH	4314.913	1.936	-3.822	3.466
^{12}CH	4314.927	1.082	-1.631	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ce II	4314.932	0.822	-1.170	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.942	0.179	-7.900	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4314.950	0.179	-7.630	6.244
^{13}CH	4314.968	1.936	-0.958	3.466
Ti II	4314.971	1.160	-1.150	0.000
Ti II	4314.975	1.161	-1.139	0.000
Fe II	4314.979	4.728	-3.100	0.000
C_2	4314.989	0.729	-4.180	6.244
^{13}CH	4315.008	1.773	-3.730	3.466
Fe I	4315.013	3.881	-3.510	0.000
Er II	4315.021	0.886	-2.460	0.000
^{13}CH	4315.070	1.773	-1.436	3.466
^{12}CH	4315.081	1.833	-9.153	3.466
Fe I	4315.084	2.198	-0.968	0.000
Fe I	4315.085	2.196	-0.970	0.000
^{12}CH	4315.090	1.706	-4.397	3.466
Mo I	4315.098	2.075	-2.320	0.000
Au I	4315.112	5.642	-0.450	0.000
V I	4315.208	2.364	-3.570	0.000
C_2	4315.212	0.465	-6.450	6.244
Mn I	4315.219	4.682	-1.170	0.000
C_2	4315.236	0.688	-4.120	6.244
C_2	4315.236	0.688	-7.220	6.244
Th I	4315.254	0.355	-1.430	0.000
Cr I	4315.258	4.609	-2.760	0.000
C_2	4315.288	0.413	-8.360	6.244
Ti I	4315.350	3.176	-1.550	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4315.366	0.300	-8.470	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Sm II	4315.380	0.543	-1.590	0.000
^{12}CH	4315.381	1.492	-4.229	3.466
Cr I	4315.381	4.102	-2.060	0.000
Cr I	4315.384	2.913	-2.150	0.000
Mo I	4315.387	2.258	-2.170	0.000
C_2	4315.393	0.413	-4.750	6.244
V I	4315.398	1.852	-3.520	0.000
Ce II	4315.406	0.899	-0.740	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4315.410	3.427	-2.430	7.724
C_2	4315.420	0.688	-0.960	6.244
Cr I	4315.426	2.980	-4.270	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4315.429	0.300	-5.370	6.244
C_2	4315.434	0.963	-7.100	6.244
Fe I	4315.454	4.151	-1.820	0.000
Fe I	4315.458	3.000	-3.780	0.000
Cr I	4315.494	4.204	-3.030	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4315.503	3.427	-5.030	7.724
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4315.514	0.300	-5.460	6.244
Fe I	4315.525	4.257	-3.650	0.000
C_2	4315.532	0.688	-0.970	6.244
C_2	4315.532	0.688	-4.120	6.244
Mn I	4315.536	4.675	-2.830	0.000
Co I	4315.536	3.629	-2.930	0.000
C_2	4315.538	0.413	-4.740	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4315.547	3.427	-2.400	7.724
^{12}CH	4315.576	1.945	-0.959	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4315.577	0.300	-8.690	6.244
Cr I	4315.608	2.913	-1.940	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
C ₂	4315.608	0.361	-7.500	6.244
C ₂	4315.640	0.413	-1.420	6.244
C ₂	4315.644	0.413	-1.430	6.244
¹² CH	4315.663	1.945	-3.831	3.466
C ₂	4315.682	0.689	-0.980	6.244
C ₂	4315.710	0.963	-4.070	6.244
C ₂	4315.721	0.413	-1.430	6.244
¹² CH	4315.732	1.945	-3.821	3.466
C ₂	4315.775	0.895	-7.500	6.244
V I	4315.787	1.217	-3.370	0.000
C ₂	4315.790	0.963	-4.090	6.244
¹² CH	4315.818	1.945	-0.958	3.466
C ₂	4315.819	0.120	-7.290	6.244
¹² C ¹³ C	4315.843	0.300	-5.420	6.244
¹² C ¹³ C	4315.876	0.300	-5.440	6.244
La II	4315.877	0.400	-0.850	0.000
La II	4315.893	0.403	-1.770	0.000
Ti I	4315.907	2.304	-3.400	0.000
C ₂	4315.918	0.361	-4.510	6.244
C ₂	4315.934	0.895	-4.070	6.244
¹³ CH	4315.945	1.080	-5.275	3.466
Fe I	4315.951	2.430	-4.000	0.000
Fe I	4315.952	2.431	-3.480	0.000
¹³ CH	4315.953	1.453	-4.182	3.466
C ₂	4316.000	0.362	-4.540	6.244
¹² CH	4316.010	1.783	-1.442	3.466
C ₂	4316.028	0.895	-4.060	6.244
C ₂	4316.049	0.526	-6.870	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Gd II	4316.050	0.662	-0.450	0.000
C ₂	4316.061	0.525	-7.420	6.244
Gd II	4316.083	0.660	-0.100	0.000
C ₂	4316.096	0.525	-4.330	6.244
¹² C ¹³ C	4316.101	0.528	-8.170	6.244
¹² C ¹³ C	4316.118	0.528	-5.100	6.244
Mn II	4316.124	7.752	-3.320	0.000
¹² CH	4316.133	1.783	-3.729	3.466
C ₂	4316.142	0.526	-4.100	6.244
¹³ CH	4316.144	1.803	-4.490	3.466
C ₂	4316.149	0.895	-0.860	6.244
¹² C ¹³ C	4316.159	0.527	-8.500	6.244
¹² CH	4316.175	1.783	-1.436	3.466
Ni I	4316.175	4.102	-2.050	0.000
C ₂	4316.180	0.719	-6.860	6.244
C ₂	4316.187	0.895	-0.870	6.244
C ₂	4316.199	0.284	-6.710	6.244
¹² C ¹³ C	4316.239	0.527	-5.110	6.244
¹² CH	4316.245	1.492	-4.191	3.466
V II	4316.253	1.674	-3.500	0.000
Gd II	4316.270	1.156	-0.760	0.000
C ₂	4316.294	0.719	-4.090	6.244
Y I	4316.302	1.407	-0.940	0.000
C ₂	4316.302	1.315	-7.410	6.244
C ₂	4316.305	0.895	-0.880	6.244
C ₂	4316.315	0.525	-1.110	6.244
¹² C ¹³ C	4316.320	0.528	-1.660	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4316.327	3.433	-2.400	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.332	0.528	-5.100	6.244
Co I	4316.344	3.927	-4.260	0.000
C_2	4316.344	0.525	-4.330	6.244
C_2	4316.346	0.526	-4.180	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.349	0.528	-1.660	6.244
Mo I	4316.366	3.196	-1.660	0.000
C_2	4316.379	0.525	-1.120	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.382	0.527	-5.100	6.244
Er II	4316.391	2.062	-1.260	0.000
Cr I	4316.392	4.204	-3.000	0.000
C_2	4316.422	0.211	-8.150	6.244
C_2	4316.423	1.128	-6.400	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.424	0.528	-1.670	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4316.434	3.433	-5.070	7.724
P I	4316.445	6.930	-2.500	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.463	0.527	-1.660	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.468	0.527	-1.660	6.244
Nb I	4316.469	1.489	-1.100	0.000
C_2	4316.481	0.525	-1.130	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4316.482	3.433	-2.380	7.724
C_2	4316.485	0.719	-4.180	6.244
Nd II	4316.510	0.380	-1.910	0.000
C_2	4316.521	1.315	-4.110	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4316.548	0.528	-1.670	6.244
C_2	4316.553	1.316	-4.130	6.244
C_2	4316.559	0.865	-6.200	6.244
Mn I	4316.583	4.270	-3.500	0.000
Ru I	4316.642	1.138	-1.700	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4316.679	1.453	-4.146	3.466
C_2	4316.679	0.951	-6.870	6.244
Ti I	4316.693	3.184	-1.280	0.000
V I	4316.700	2.563	-2.070	0.000
C_2	4316.717	0.673	-7.640	6.244
C_2	4316.726	0.211	-5.040	6.244
C_2	4316.726	0.951	-3.980	6.244
Ca I	4316.728	6.035	-4.380	0.000
C_2	4316.766	0.212	-5.070	6.244
Ti II	4316.794	2.046	-1.620	0.000
Ti II	4316.799	2.048	-1.420	0.000
^{12}CH	4316.801	1.755	-4.495	3.466
Mn II	4316.810	5.433	-3.350	0.000
Cr I	4316.819	3.887	-1.570	0.000
W I	4316.821	2.906	-0.390	0.000
V I	4316.854	2.364	-3.860	0.000
C_2	4316.854	0.652	-6.580	6.244
C_2	4316.880	0.673	-4.130	6.244
C_2	4316.884	1.299	-4.110	6.244
C_2	4316.893	1.299	-7.280	6.244
C_2	4316.930	0.952	-4.060	6.244
Fe I	4316.952	4.317	-2.280	0.000
Yb II	4316.963	3.786	-0.460	0.000
Mn II	4316.965	5.832	-5.700	0.000
C_2	4316.978	0.673	-4.120	6.244
Ca I	4316.987	4.765	-3.330	0.000
Mn I	4316.997	3.370	-4.610	0.000
V I	4317.006	1.866	-2.930	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4317.047	3.546	-2.740	0.000
Fe I	4317.048	3.544	-2.170	0.000
C ₂	4317.053	1.299	-4.170	6.244
C ₂	4317.077	0.880	-7.180	6.244
Fe I	4317.081	3.881	-4.200	0.000
¹² CH	4317.089	1.755	-5.220	3.466
Ca I	4317.090	5.927	-2.040	0.000
C ₂	4317.093	0.673	-0.970	6.244
C ₂	4317.106	0.880	-4.050	6.244
O II	4317.139	22.966	-0.386	0.000
C ₂	4317.141	0.673	-0.980	6.244
C ₂	4317.146	0.395	-8.000	6.244
C ₂	4317.169	0.395	-4.730	6.244
¹³ CH	4317.203	1.079	-5.362	3.466
C ₂	4317.256	0.674	-0.990	6.244
Ce II	4317.273	0.822	-1.540	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4317.292	3.439	-2.380	7.724
Fe I	4317.300	4.470	-2.520	0.000
Zr II	4317.321	0.710	-1.380	0.000
Ce II	4317.329	1.041	-0.460	0.000
C ₂	4317.334	0.880	-0.870	6.244
¹³ CH	4317.360	1.836	-1.444	3.466
C ₂	4317.373	0.880	-4.040	6.244
Fe I	4317.375	3.637	-3.760	0.000
¹³ CH	4317.377	1.836	-1.456	3.466
C ₂	4317.378	0.395	-1.430	6.244
Co II	4317.384	7.736	-3.190	0.000
¹³ CH	4317.390	1.054	-1.711	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4317.401	1.836	-3.801	3.466
C ₂	4317.402	0.395	-4.720	6.244
C ₂	4317.402	0.880	-0.880	6.244
C ₂	4317.413	0.458	-6.790	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4317.414	3.439	-5.100	7.724
C ₂	4317.425	0.395	-1.440	6.244
Cr II	4317.448	6.681	-3.480	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4317.465	3.439	-2.360	7.724
C ₂	4317.483	0.350	-7.270	6.244
¹³ CH	4317.506	0.348	-4.976	3.466
C ₂	4317.514	0.880	-0.900	6.244
C ₂	4317.518	0.395	-1.440	6.244
¹² CH	4317.547	1.085	-5.362	3.466
Fe I	4317.565	3.692	-3.370	0.000
¹² C ¹³ C	4317.567	0.168	-7.880	6.244
¹² C ¹³ C	4317.579	0.168	-7.610	6.244
V II	4317.597	6.465	-1.480	0.000
C ₂	4317.598	0.350	-4.450	6.244
¹² C ¹³ C	4317.636	0.285	-8.440	6.244
¹³ CH	4317.684	1.054	-3.182	3.466
¹² CH	4317.704	0.841	-5.131	3.466
¹² C ¹³ C	4317.705	0.285	-5.360	6.244
Mn II	4317.713	6.908	-1.920	0.000
C ₂	4317.716	0.509	-7.850	6.244
¹² CH	4317.719	1.057	-1.711	3.466
¹³ CH	4317.720	1.054	-1.664	3.466
Er II	4317.741	1.368	-2.700	0.000
C ₂	4317.745	0.350	-4.550	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4317.746	1.054	-1.711	3.466
Ca I	4317.770	5.957	-4.000	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4317.792	0.285	-5.460	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4317.832	0.285	-8.660	6.244
C_2	4317.860	0.509	-4.330	6.244
Y I	4317.862	1.947	-1.450	0.000
Cr I	4317.892	4.204	-0.810	0.000
C_2	4317.894	0.709	-6.990	6.244
Cr I	4317.914	4.207	-0.813	0.000
C_2	4317.917	0.516	-7.050	6.244
Mo I	4317.922	3.176	-0.270	0.000
C_2	4317.968	0.509	-4.320	6.244
Ce II	4317.985	0.808	-1.090	0.000
Nb I	4318.000	1.268	-1.320	0.000
Cr I	4318.006	4.204	-1.870	0.000
^{13}CH	4318.014	1.054	-3.170	3.466
^{12}CH	4318.015	1.057	-3.182	3.466
^{13}CH	4318.045	1.054	-1.664	3.466
^{12}CH	4318.051	1.057	-1.664	3.466
^{12}CH	4318.084	1.057	-1.711	3.466
C_2	4318.093	0.509	-1.120	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.098	0.508	-8.170	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.102	0.285	-5.420	6.244
C_2	4318.112	0.509	-1.130	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.118	0.508	-5.090	6.244
Hf I	4318.136	0.699	-1.480	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.138	0.285	-5.430	6.244
C_2	4318.150	0.659	-7.230	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.150	0.508	-8.510	6.244
C_2	4318.162	0.659	-4.100	6.244
Fe II	4318.188	7.874	-1.980	0.000
C_2	4318.217	1.117	-6.620	6.244
C_2	4318.223	0.509	-1.140	6.244
C_2	4318.235	0.709	-4.110	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.235	0.508	-5.100	6.244
Mo I	4318.252	3.300	-1.320	0.000
C_2	4318.262	0.516	-4.180	6.244
^{12}CH	4318.291	2.061	-6.306	3.466
Th II	4318.294	1.188	-1.180	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4318.310	3.446	-2.360	7.724
Fe I	4318.321	4.188	-2.330	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.324	0.508	-1.670	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.333	0.508	-5.090	6.244
Ni I	4318.337	4.102	-1.250	0.000
C_2	4318.337	0.865	-7.520	6.244
^{12}CH	4318.341	1.057	-3.170	3.466
C_2	4318.348	0.111	-7.560	6.244
C_2	4318.349	0.709	-4.160	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.353	0.508	-1.670	6.244
C_2	4318.361	0.659	-0.980	6.244
C_2	4318.370	0.516	-4.220	6.244
^{12}CH	4318.375	1.057	-1.664	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.377	0.508	-5.090	6.244
Tm I	4318.396	2.182	0.290	0.000
^{12}CH	4318.418	2.061	-10.624	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.428	0.508	-1.680	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4318.430	2.061	-6.313	3.466
Ti I	4318.432	3.168	-1.890	0.000
Ru I	4318.438	1.122	-1.000	0.000
Ca I	4318.444	6.036	-3.480	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4318.451	3.446	-5.130	7.724
C_2	4318.452	0.199	-7.880	6.244
C_2	4318.461	0.659	-4.100	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.462	0.508	-1.670	6.244
C_2	4318.463	1.180	-7.300	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.466	0.508	-1.670	6.244
C_2	4318.474	0.659	-0.990	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4318.504	3.446	-2.330	7.724
C_2	4318.510	0.865	-4.050	6.244
C_2	4318.522	0.940	-7.040	6.244
C_2	4318.526	0.276	-6.970	6.244
Mn II	4318.530	5.394	-2.520	0.000
C_2	4318.542	0.199	-4.960	6.244
Mo I	4318.545	3.221	-1.610	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4318.548	0.508	-1.680	6.244
^{12}CH	4318.555	1.457	-4.181	3.466
Ti I	4318.560	3.152	-2.330	0.000
Cr I	4318.561	3.847	-2.410	0.000
Cr I	4318.568	4.096	-1.850	0.000
^{12}CH	4318.586	1.756	-4.441	3.466
C_2	4318.588	1.180	-4.100	6.244
Re I	4318.589	3.409	0.090	0.000
C_2	4318.598	0.865	-4.040	6.244
C_2	4318.625	0.659	-1.000	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Ti I	4318.632	2.254	0.340	0.000
S II	4318.643	16.135	-0.085	0.000
Ca I	4318.652	1.897	-0.210	0.000
Ti I	4318.659	2.250	-0.320	0.000
C ₂	4318.660	0.199	-5.050	6.244
¹² C ¹⁴ N	4318.679	3.562	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.680	3.562	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.692	3.553	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.693	3.553	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.695	3.562	-5.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.696	3.571	-2.510	7.724
Cr II	4318.697	3.884	-3.650	0.000
¹² C ¹⁴ N	4318.697	3.571	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.707	3.553	-5.480	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.713	3.571	-5.540	7.724
C ₂	4318.729	0.865	-0.880	6.244
¹² C ¹⁴ N	4318.735	3.544	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.736	3.544	-2.520	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.745	3.581	-2.510	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.750	3.544	-5.450	7.724
Sr I	4318.751	1.769	-0.440	0.000
¹² C ¹⁴ N	4318.762	3.581	-5.580	7.724
C ₂	4318.771	0.865	-0.900	6.244
C ₂	4318.792	0.857	-6.800	6.244
Fe I	4318.801	2.590	-3.570	0.000
Fe I	4318.805	2.586	-5.670	0.000
¹² C ¹⁴ N	4318.807	3.535	-2.520	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.808	3.535	-2.530	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4318.811	0.940	-4.060	6.244
Ta I	4318.813	1.594	-1.240	0.000
¹² C ¹⁴ N	4318.821	3.535	-5.420	7.724
C ₂	4318.822	1.284	-7.360	6.244
Tb I	4318.828	0.000	0.160	0.000
C ₂	4318.892	0.865	-0.910	6.244
C ₂	4318.905	0.941	-4.090	6.244
¹² C ¹⁴ N	4318.908	3.527	-2.530	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.908	3.527	-2.540	7.724
¹² C ¹⁴ N	4318.921	3.527	-5.390	7.724
Sm II	4318.930	0.277	-0.250	0.000
C ₂	4318.933	1.181	-0.800	6.244
Fe I	4318.937	4.175	-2.430	0.000
Sm II	4318.946	0.280	-0.270	0.000
¹² CH	4318.954	0.349	-4.975	3.466
¹² CH	4318.965	1.756	-5.271	3.466
¹³ CH	4318.975	1.856	-4.601	3.466
Mn II	4318.977	7.754	-3.980	0.000
C ₂	4319.020	0.645	-6.310	6.244
C ₂	4319.025	0.378	-8.370	6.244
¹² C ¹⁴ N	4319.036	3.520	-2.540	7.724
¹² C ¹⁴ N	4319.037	3.520	-2.550	7.724
C ₂	4319.047	1.284	-4.110	6.244
¹² C ¹⁴ N	4319.049	3.520	-5.360	7.724
Zr I	4319.059	0.154	-1.920	0.000
C ₂	4319.087	1.284	-4.130	6.244
V I	4319.089	2.579	-2.480	0.000
Ti I	4319.091	2.295	-5.280	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
V II	4319.091	6.161	-4.760	0.000
Th II	4319.097	1.888	-1.080	0.000
C ₂	4319.142	0.378	-4.730	6.244
¹² C ¹⁴ N	4319.192	3.513	-2.550	7.724
¹² C ¹⁴ N	4319.193	3.513	-2.560	7.724
¹² C ¹⁴ N	4319.204	3.513	-5.320	7.724
V I	4319.227	2.357	-5.540	0.000
Cr I	4319.254	3.110	-2.400	0.000
C ₂	4319.283	0.378	-4.720	6.244
¹² CH	4319.292	1.457	-4.146	3.466
Ti I	4319.305	2.015	-2.590	0.000
Cr I	4319.311	3.085	-1.860	0.000
Ti II	4319.321	5.212	-3.600	0.000
C ₂	4319.332	0.494	-7.430	6.244
P I	4319.339	6.980	-3.500	0.000
Ti I	4319.357	2.576	-4.850	0.000
¹² C ¹⁴ N	4319.375	3.506	-2.560	7.724
¹² C ¹⁴ N	4319.376	3.506	-2.570	7.724
C ₂	4319.378	0.494	-4.310	6.244
¹² C ¹⁴ N	4319.386	3.506	-5.290	7.724
C ₂	4319.394	0.378	-1.440	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4319.394	3.453	-2.330	7.724
C ₂	4319.400	0.378	-1.450	6.244
Fe II	4319.413	7.647	-2.120	0.000
Fe I	4319.440	2.607	-3.610	0.000
Fe I	4319.441	2.609	-3.599	0.000
Ti I	4319.457	1.738	-2.430	0.000
C ₂	4319.479	0.378	-1.450	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4319.491	0.340	-7.420	6.244
Mo I	4319.500	2.756	-1.920	0.000
C ₂	4319.503	0.700	-6.760	6.244
C ₂	4319.503	1.269	-7.230	6.244
C ₂	4319.504	1.269	-4.100	6.244
C ₂	4319.510	1.163	-4.080	6.244
Sm I	4319.522	0.185	-0.210	0.000
Re I	4319.524	1.811	-1.670	0.000
C ₂	4319.540	1.163	-6.940	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4319.554	3.453	-5.170	7.724
Nd II	4319.560	0.380	-1.940	0.000
Ti III	4319.563	19.716	0.530	0.000
¹² C ¹⁴ N	4319.584	3.499	-2.570	7.724
¹² C ¹⁴ N	4319.585	3.499	-2.590	7.724
C ₂	4319.586	0.645	-7.690	6.244
¹² C ¹⁴ N	4319.595	3.499	-5.260	7.724
C ₂	4319.609	0.494	-1.130	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4319.610	3.453	-2.320	7.724
C ₂	4319.616	0.506	-6.790	6.244
C ₂	4319.620	0.851	-7.190	6.244
C ₂	4319.628	0.494	-4.300	6.244
Cr I	4319.636	2.889	-1.200	0.000
C ₂	4319.637	0.700	-4.070	6.244
Cr I	4319.640	2.887	-1.140	0.000
C ₂	4319.642	0.451	-6.390	6.244
C ₂	4319.660	0.851	-4.030	6.244
C ₂	4319.674	0.494	-1.140	6.244
C ₂	4319.676	1.269	-4.170	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe II	4319.680	7.839	-1.760	0.000
Cr I	4319.693	3.889	-0.720	0.000
^{13}CH	4319.715	0.977	-3.310	3.466
Ti I	4319.726	2.470	-3.710	0.000
C_2	4319.732	0.506	-4.090	6.244
^{13}CH	4319.734	0.977	-3.301	3.466
C_2	4319.750	1.164	-0.800	6.244
C_2	4319.766	0.645	-4.100	6.244
U II	4319.770	0.284	-2.140	0.000
C_2	4319.778	0.494	-1.150	6.244
C_2	4319.779	0.930	-6.800	6.244
C_2	4319.780	1.164	-4.080	6.244
C_2	4319.818	0.340	-4.490	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4319.819	3.493	-2.590	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4319.820	3.493	-2.610	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4319.829	3.493	-5.220	7.724
C_2	4319.839	0.930	-3.960	6.244
C_2	4319.844	0.700	-4.160	6.244
C_2	4319.858	0.645	-4.090	6.244
O II	4319.866	28.824	-0.502	0.000
Ru I	4319.869	0.997	-0.870	0.000
C_2	4319.885	1.164	-0.810	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4319.885	0.270	-8.410	6.244
C_2	4319.900	0.851	-0.900	6.244
Ti I	4319.906	2.479	-3.040	0.000
C_2	4319.911	0.340	-4.530	6.244
V I	4319.924	1.871	-2.580	0.000
C_2	4319.931	0.851	-4.020	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Er II	4319.937	1.700	-0.280	0.000
Ti II	4319.950	4.959	-3.910	0.000
C ₂	4319.950	0.507	-4.180	6.244
¹³ CH	4319.951	1.421	-4.131	3.466
¹² C ¹³ C	4319.959	0.270	-5.350	6.244
C ₂	4319.972	0.851	-0.910	6.244
C ₂	4319.986	0.645	-0.990	6.244
¹² CH	4320.011	1.847	-1.456	3.466
¹² CH	4320.014	0.979	-3.310	3.466
C ₂	4320.038	0.645	-1.000	6.244
¹² CH	4320.039	0.979	-3.300	3.466
¹² C ¹³ C	4320.048	0.270	-5.450	6.244
C ₂	4320.056	0.930	-4.050	6.244
¹² C ¹³ C	4320.065	0.270	-8.630	6.244
¹² CH	4320.072	1.847	-1.444	3.466
¹² C ¹³ C	4320.073	0.488	-8.170	6.244
¹² C ¹⁴ N	4320.079	3.488	-2.610	7.724
¹² C ¹⁴ N	4320.080	3.488	-2.630	7.724
C ₂	4320.085	0.851	-0.920	6.244
¹² C ¹⁴ N	4320.089	3.488	-5.180	7.724
¹² C ¹³ C	4320.096	0.488	-5.090	6.244
¹² C ¹³ C	4320.120	0.488	-8.510	6.244
Th II	4320.127	0.556	-1.700	0.000
Fe I	4320.128	4.383	-3.080	0.000
¹² CH	4320.142	1.847	-3.800	3.466
Fe I	4320.143	4.390	-2.250	0.000
Mn I	4320.144	4.341	-1.610	0.000
C ₂	4320.156	0.645	-1.010	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
C ₂	4320.158	0.850	-6.030	6.244
Cr I	4320.165	3.077	-2.750	0.000
¹² C ¹³ C	4320.170	0.156	-7.870	6.244
¹² C ¹³ C	4320.185	0.156	-7.590	6.244
C ₂	4320.188	1.107	-6.370	6.244
Mn I	4320.192	4.824	-1.380	0.000
¹³ CH	4320.204	1.651	-14.902	3.466
¹² C ¹³ C	4320.210	0.488	-5.090	6.244
Fe II	4320.226	7.721	-3.540	0.000
Mo I	4320.251	2.932	-2.130	0.000
V I	4320.261	1.891	-1.860	0.000
Ti I	4320.272	3.137	-4.150	0.000
¹² C ¹³ C	4320.306	0.488	-1.670	6.244
¹² C ¹³ C	4320.312	0.489	-5.080	6.244
¹² C ¹³ C	4320.336	0.489	-1.680	6.244
¹² C ¹³ C	4320.340	0.270	-5.410	6.244
¹² C ¹³ C	4320.350	0.488	-5.090	6.244
Ti I	4320.358	3.184	-4.200	0.000
Fe I	4320.361	3.394	-2.260	0.000
¹² C ¹⁴ N	4320.365	3.482	-2.630	7.724
¹² C ¹⁴ N	4320.366	3.482	-2.660	7.724
Fe I	4320.373	3.400	-2.800	0.000
¹² C ¹⁴ N	4320.374	3.482	-5.140	7.724
¹² C ¹³ C	4320.378	0.271	-5.430	6.244
Co I	4320.383	3.663	-1.020	0.000
¹² C ¹³ C	4320.412	0.489	-1.690	6.244
P I	4320.429	6.949	-3.000	0.000
¹² C ¹³ C	4320.439	0.488	-1.680	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4320.442	0.488	-1.670	6.244
Fe I	4320.483	3.420	-2.520	0.000
Fe I	4320.486	3.414	-2.200	0.000
^{13}CH	4320.496	1.912	-12.858	3.466
Fe I	4320.517	4.431	-2.860	0.000
Gd I	4320.517	0.880	0.240	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4320.526	0.489	-1.690	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4320.556	3.460	-2.320	7.724
^{13}CH	4320.560	1.421	-4.098	3.466
Ru I	4320.583	2.118	-1.040	0.000
Cr I	4320.593	2.900	-1.790	0.000
Th II	4320.594	1.598	-0.880	0.000
Cr I	4320.602	2.911	-1.820	0.000
Cr I	4320.610	2.911	-1.990	0.000
Sc I	4320.620	2.108	-1.920	0.000
C_2	4320.627	1.146	-7.320	6.244
Co I	4320.655	3.968	-3.300	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4320.675	3.478	-2.660	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4320.676	3.478	-2.690	7.724
Hf II	4320.682	2.152	-0.640	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4320.683	3.478	-5.100	7.724
C_2	4320.697	0.186	-8.080	6.244
Ce II	4320.719	0.459	-0.390	0.000
Sc II	4320.732	0.605	-0.252	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4320.736	3.460	-5.200	7.724
C_2	4320.763	1.147	-4.080	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4320.796	3.460	-2.300	7.724
C_2	4320.844	0.361	-8.010	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4320.847	0.837	-7.540	6.244
C ₂	4320.847	1.146	-4.070	6.244
C ₂	4320.877	0.361	-4.710	6.244
V I	4320.904	3.313	-3.780	0.000
C ₂	4320.910	0.268	-6.660	6.244
V I	4320.915	2.136	-2.860	0.000
C ₂	4320.915	0.101	-7.250	6.244
C ₂	4320.936	0.479	-7.870	6.244
¹³ CH	4320.938	1.838	-1.456	3.466
C ₂	4320.943	1.146	-0.800	6.244
Ti II	4320.950	1.164	-1.880	0.000
Ti II	4320.960	1.165	-1.871	0.000
C ₂	4320.984	1.147	-0.810	6.244
Mn I	4320.986	4.329	-3.270	0.000
C ₂	4320.986	0.631	-7.250	6.244
¹² C ¹⁴ N	4321.010	3.473	-2.690	7.724
¹² C ¹⁴ N	4321.010	3.473	-2.720	7.724
C ₂	4321.012	0.631	-4.080	6.244
C ₂	4321.015	0.186	-5.020	6.244
¹² C ¹⁴ N	4321.017	3.473	-5.060	7.724
C ₂	4321.036	0.639	-6.510	6.244
C ₂	4321.036	0.837	-4.030	6.244
¹³ CH	4321.059	0.488	-2.867	3.466
¹³ CH	4321.062	1.857	-4.543	3.466
C ₂	4321.064	0.186	-5.050	6.244
¹³ CH	4321.065	1.032	-1.755	3.466
C ₂	4321.094	0.479	-4.310	6.244
C ₂	4321.096	0.361	-1.450	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Gd II	4321.100	0.601	-0.920	0.000
C ₂	4321.112	0.361	-4.710	6.244
C ₂	4321.116	1.147	-0.820	6.244
C ₂	4321.119	0.837	-4.010	6.244
Zr I	4321.141	0.154	-1.920	0.000
C ₂	4321.144	0.361	-1.460	6.244
C ₂	4321.154	0.691	-6.890	6.244
¹³ CH	4321.189	1.838	-3.762	3.466
Mn I	4321.190	3.376	-4.710	0.000
¹³ CH	4321.197	1.912	-7.490	3.466
C ₂	4321.197	0.479	-4.290	6.244
Gd I	4321.201	0.213	-0.280	0.000
¹³ CH	4321.218	0.521	-2.801	3.466
N III	4321.220	38.393	-1.218	0.000
C ₂	4321.226	0.631	-1.000	6.244
Cr I	4321.231	2.872	-1.544	0.000
Cr I	4321.235	2.870	-1.540	0.000
C ₂	4321.238	0.361	-1.470	6.244
¹³ CH	4321.244	1.912	-7.193	3.466
C ₂	4321.262	0.837	-0.910	6.244
¹³ CH	4321.263	1.838	-1.444	3.466
¹³ CH	4321.302	0.488	-7.244	3.466
Ru I	4321.302	1.124	-2.060	0.000
C ₂	4321.308	0.837	-0.920	6.244
Fe II	4321.309	7.863	-1.830	0.000
Ni I	4321.315	3.793	-2.600	0.000
C ₂	4321.315	0.631	-4.080	6.244
C ₂	4321.333	0.479	-1.140	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4321.341	1.032	-1.755	3.466
C_2	4321.341	0.631	-1.020	6.244
^{13}CH	4321.342	0.488	-2.801	3.466
C_2	4321.348	0.329	-7.190	6.244
C_2	4321.356	0.479	-1.150	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4321.368	3.469	-2.720	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4321.369	3.469	-2.750	7.724
C_2	4321.375	1.254	-7.320	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4321.375	3.469	-5.010	7.724
Na I	4321.401	2.101	-2.210	0.000
^{12}CH	4321.403	1.035	-1.755	3.466
^{13}CH	4321.410	1.032	-3.116	3.466
C_2	4321.413	0.497	-6.970	6.244
C_2	4321.432	0.837	-0.930	6.244
^{13}CH	4321.442	0.521	-7.289	3.466
Cr I	4321.451	2.980	-1.290	0.000
^{13}CH	4321.460	1.032	-1.700	3.466
C_2	4321.469	0.479	-1.160	6.244
Cr I	4321.471	4.613	-1.430	0.000
C_2	4321.481	0.329	-4.430	6.244
C_2	4321.492	0.632	-1.030	6.244
^{13}CH	4321.496	0.521	-2.739	3.466
Cr I	4321.510	3.963	-0.840	0.000
C_2	4321.516	0.691	-4.080	6.244
Ti I	4321.518	2.332	-2.240	0.000
^{13}CH	4321.520	0.458	-2.938	3.466
C_2	4321.575	0.919	-6.980	6.244
C_2	4321.608	1.254	-4.100	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Cr I	4321.614	3.119	-1.280	0.000
Ca I	4321.617	5.960	-4.060	0.000
Ni I	4321.618	3.895	-2.100	0.000
C ₂	4321.641	0.330	-4.540	6.244
V I	4321.647	2.129	-2.710	0.000
C ₂	4321.649	0.691	-4.130	6.244
Ti I	4321.652	2.235	0.090	0.000
¹³ CH	4321.654	1.032	-3.105	3.466
C ₂	4321.655	1.255	-4.120	6.244
Ti I	4321.658	2.240	0.050	0.000
C ₂	4321.676	1.130	-4.060	6.244
¹² CH	4321.680	1.035	-1.755	3.466
C ₂	4321.697	1.130	-6.940	6.244
¹³ CH	4321.705	1.032	-1.700	3.466
¹² CH	4321.749	1.035	-3.116	3.466
¹² C ¹⁴ N	4321.750	3.466	-2.750	7.724
¹² C ¹⁴ N	4321.751	3.466	-2.800	7.724
¹² C ¹⁴ N	4321.756	3.466	-4.960	7.724
Mo I	4321.762	3.263	-0.910	0.000
Ti I	4321.771	2.159	-1.380	0.000
C ₂	4321.780	0.497	-4.170	6.244
C ₂	4321.786	0.445	-6.730	6.244
Fe I	4321.798	4.000	-1.320	0.000
¹² CH	4321.805	1.035	-1.700	3.466
¹³ CH	4321.805	0.458	-7.179	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4321.809	3.468	-2.300	7.724
¹² CH	4321.815	1.807	-4.544	3.466
Ca I	4321.822	4.765	-1.810	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4321.831	1.130	-0.810	6.244
¹³ CH	4321.850	0.458	-2.867	3.466
C ₂	4321.879	0.919	-4.050	6.244
C ₂	4321.905	0.498	-4.210	6.244
C	4321.924	7.940	-2.850	0.000
C ₂	4321.929	1.130	-0.820	6.244
C ₂	4321.950	1.130	-4.060	6.244
Mo I	4321.965	2.079	-1.650	0.000
C ₂	4321.985	1.097	-6.580	6.244
C ₂	4321.988	0.920	-4.090	6.244
¹² CH	4321.991	1.035	-3.105	3.466
V I	4322.002	1.194	-5.660	0.000
Fe I	4322.004	4.206	-4.510	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4322.013	3.468	-5.230	7.724
V II	4322.023	1.678	-2.820	0.000
¹² C ¹³ C	4322.026	0.469	-8.170	6.244
V II	4322.043	1.680	-2.210	0.000
¹² CH	4322.045	1.035	-1.700	3.466
¹² C ¹³ C	4322.053	0.469	-5.080	6.244
C ₂	4322.066	1.131	-0.830	6.244
¹³ CH	4322.067	0.557	-2.739	3.466
¹² C ¹³ C	4322.069	0.469	-8.510	6.244
¹³ C ¹⁴ N	4322.075	3.468	-2.290	7.724
C ₂	4322.110	0.823	-7.200	6.244
¹² C ¹³ C	4322.110	0.256	-8.380	6.244
Ti I	4322.114	2.173	-1.520	0.000
C ₂	4322.142	1.240	-7.180	6.244
V I	4322.148	2.563	-1.970	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4322.153	1.240	-4.090	6.244
¹² C ¹⁴ N	4322.156	3.462	-2.800	7.724
¹² C ¹⁴ N	4322.156	3.462	-2.850	7.724
¹² C ¹⁴ N	4322.161	3.462	-4.910	7.724
C ₂	4322.162	0.823	-4.000	6.244
¹² C ¹³ C	4322.163	0.469	-5.080	6.244
¹² C ¹³ C	4322.189	0.256	-5.340	6.244
Gd II	4322.190	0.382	-1.360	0.000
¹² C ¹³ C	4322.267	0.469	-1.680	6.244
¹² C ¹³ C	4322.270	0.470	-5.080	6.244
¹² C ¹³ C	4322.275	0.256	-8.600	6.244
¹³ CH	4322.276	0.557	-7.317	3.466
¹² C ¹³ C	4322.282	0.256	-5.440	6.244
¹² C ¹³ C	4322.297	0.470	-1.690	6.244
¹² C ¹³ C	4322.302	0.469	-5.080	6.244
Co I	4322.318	3.684	-3.270	0.000
¹³ CH	4322.324	0.557	-2.680	3.466
V I	4322.325	2.377	-1.120	0.000
C ₂	4322.329	1.240	-4.170	6.244
¹² C ¹³ C	4322.374	0.470	-1.700	6.244
C ₂	4322.377	0.618	-7.740	6.244
¹² C ¹³ C	4322.396	0.469	-1.690	6.244
¹² C ¹³ C	4322.398	0.469	-1.680	6.244
C ₂	4322.416	0.823	-0.920	6.244
C ₂	4322.439	0.824	-4.000	6.244
¹² CH	4322.451	1.425	-4.130	3.466
La II	4322.460	0.173	-2.600	0.000
La II	4322.462	0.173	-2.300	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Mo I	4322.464	2.068	-2.220	0.000
La II	4322.464	0.173	-2.380	0.000
La II	4322.471	0.173	-2.180	0.000
La II	4322.474	0.173	-2.120	0.000
La II	4322.477	0.173	-2.470	0.000
¹² C ¹³ C	4322.483	0.470	-1.700	6.244
La II	4322.487	0.173	-1.910	0.000
La II	4322.491	0.173	-2.060	0.000
C ₂	4322.492	0.824	-0.930	6.244
La II	4322.495	0.173	-2.620	0.000
La II	4322.505	0.170	-0.950	0.000
La II	4322.508	0.173	-1.700	0.000
La II	4322.513	0.173	-2.090	0.000
C ₂	4322.513	0.464	-7.440	6.244
La II	4322.518	0.173	-2.850	0.000
Ti I	4322.526	0.848	-4.360	0.000
Dy II	4322.530	1.650	-0.820	0.000
¹² CH	4322.532	0.490	-2.867	3.466
Ti I	4322.534	2.316	-4.580	0.000
La II	4322.534	0.173	-1.530	0.000
La II	4322.540	0.173	-2.270	0.000
La II	4322.546	0.173	-3.270	0.000
¹² C ¹³ C	4322.555	0.256	-5.400	6.244
C ₂	4322.570	0.464	-4.290	6.244
¹³ CH	4322.573	0.431	-3.017	3.466
C ₂	4322.574	0.618	-4.080	6.244
¹² C ¹⁴ N	4322.584	3.460	-2.850	7.724
¹² C ¹⁴ N	4322.585	3.460	-2.900	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4322.589	3.460	-4.850	7.724
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4322.596	0.256	-5.420	6.244
C_2	4322.608	0.824	-0.940	6.244
C_2	4322.661	0.618	-4.070	6.244
C_2	4322.669	0.344	-8.390	6.244
C	4322.676	7.940	-3.900	0.000
Fe I	4322.694	2.607	-5.130	0.000
Mn I	4322.701	4.350	-2.490	0.000
Fe I	4322.701	2.610	-4.300	0.000
^{12}CH	4322.703	0.523	-2.801	3.466
C_2	4322.709	0.174	-7.810	6.244
^{13}CH	4322.732	0.836	-1.401	3.466
^{13}CH	4322.734	0.871	-3.283	3.466
^{13}CH	4322.740	0.836	-3.238	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4322.749	0.146	-7.850	6.244
^{13}CH	4322.751	0.871	-1.360	3.466
C_2	4322.755	0.682	-6.670	6.244
^{13}CH	4322.765	1.801	-5.202	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4322.767	0.146	-7.580	6.244
^{13}CH	4322.770	0.669	-2.498	3.466
^{13}CH	4322.770	0.804	-1.448	3.466
C_2	4322.780	1.114	-7.340	6.244
^{12}CH	4322.781	0.490	-7.243	3.466
^{13}CH	4322.787	0.908	-3.323	3.466
Ce II	4322.788	1.091	-0.4145	0.000
^{13}CH	4322.789	0.804	-3.189	3.466
C_2	4322.794	0.843	-7.040	6.244
C_2	4322.797	0.344	-4.710	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4322.802	0.618	-1.010	6.244
Fe I	4322.803	2.829	-4.0857	0.000
¹³ CH	4322.809	0.908	-1.323	3.466
C ₂	4322.815	0.174	-4.940	6.244
C ₂	4322.815	0.464	-1.150	6.244
¹³ CH	4322.816	0.670	-2.496	3.466
Fe I	4322.823	4.590	-2.220	0.000
C ₂	4322.825	0.464	-4.280	6.244
¹³ CH	4322.828	0.776	-1.502	3.466
Fe I	4322.828	3.500	-3.400	0.000
C ₂	4322.831	0.909	-6.710	6.244
¹² CH	4322.834	0.490	-2.800	3.466
Ca I	4322.846	4.760	-1.550	0.000
C ₂	4322.858	0.618	-1.030	6.244
¹³ CH	4322.867	0.776	-3.134	3.466
C ₂	4322.882	0.464	-1.160	6.244
¹³ CH	4322.902	0.432	-7.092	3.466
C ₂	4322.904	0.909	-3.940	6.244
C ₂	4322.904	0.976	-4.140	6.244
¹³ CH	4322.908	0.750	-1.565	3.466
C ₂	4322.912	0.682	-4.040	6.244
¹³ CH	4322.918	0.949	-3.360	3.466
¹³ CH	4322.924	0.871	-1.323	3.466
¹² CH	4322.926	0.523	-7.288	3.466
C ₂	4322.927	1.114	-4.060	6.244
¹³ CH	4322.934	0.871	-3.412	3.466
¹³ CH	4322.935	0.432	-2.938	3.466
C ₂	4322.935	0.344	-4.700	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ni I	4322.941	3.417	-4.720	0.000
C ₂	4322.941	0.174	-5.040	6.244
¹³ CH	4322.949	0.836	-1.361	3.466
¹³ CH	4322.949	0.836	-3.376	3.466
¹³ CH	4322.951	0.949	-1.289	3.466
Mn I	4322.955	4.350	-4.130	0.000
¹³ CH	4322.958	0.908	-1.290	3.466
¹³ CH	4322.959	0.750	-3.071	3.466
Ti I	4322.962	2.331	-2.480	0.000
Ru I	4322.967	3.122	-0.140	0.000
¹³ CH	4322.977	0.728	-1.641	3.466
¹² CH	4322.979	1.849	-1.456	3.466
C ₂	4322.979	0.618	-1.040	6.244
¹³ CH	4322.980	0.908	-3.445	3.466
¹² CH	4322.982	0.671	-2.498	3.466
¹² CH	4322.982	0.839	-1.401	3.466
C ₂	4322.983	0.976	-4.070	6.244
¹² CH	4322.984	0.523	-2.738	3.466
¹² CH	4322.984	0.839	-3.238	3.466
Ni I	4322.9841	4.088999999999995	-1.3861581781239307	0.000
C ₂	4322.987	0.464	-1.180	6.244
¹² CH	4322.988	0.874	-3.283	3.466
Ba I	4322.997	1.566	-0.670	0.000
¹² CH	4322.999	0.460	-2.938	3.466
¹² CH	4322.999	0.874	-1.360	3.466
¹³ CH	4323.002	0.679	-2.066	3.466
¹² CH	4323.008	0.807	-1.448	3.466
C ₂	4323.008	1.114	-4.050	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4323.011	0.804	-3.339	3.466
^{12}CH	4323.019	0.671	-2.496	3.466
^{12}CH	4323.024	0.807	-3.189	3.466
^{13}CH	4323.028	0.804	-1.402	3.466
^{13}CH	4323.030	0.708	-1.737	3.466
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4323.036	3.457	-2.900	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4323.036	3.457	-2.970	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4323.040	3.457	-4.780	7.724
^{12}CH	4323.052	0.912	-3.323	3.466
^{13}CH	4323.054	0.692	-1.867	3.466
^{13}CH	4323.054	0.728	-2.999	3.466
C_2	4323.054	0.344	-1.460	6.244
^{12}CH	4323.057	0.778	-1.501	3.466
C_2	4323.063	0.344	-1.470	6.244
Mn I	4323.066	3.376	-5.230	0.000
^{12}CH	4323.068	1.425	-4.098	3.466
^{13}CH	4323.073	0.949	-1.259	3.466
^{12}CH	4323.075	0.912	-1.323	3.466
^{13}CH	4323.080	0.669	-2.465	3.466
^{13}CH	4323.085	0.679	-2.065	3.466
C_2	4323.093	0.955	-4.080	6.244
C_2	4323.094	0.489	-6.700	6.244
^{12}CH	4323.095	0.778	-3.134	3.466
Ca I	4323.097	4.776	-1.880	0.000
^{13}CH	4323.104	0.776	-3.298	3.466
^{13}CH	4323.106	0.949	-3.476	3.466
^{12}CH	4323.110	1.849	-3.762	3.466
C_2	4323.112	1.114	-0.820	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4323.113	0.952	-1.259	3.466
^{13}CH	4323.130	0.670	-2.469	3.466
^{12}CH	4323.132	0.752	-1.565	3.466
Fe I	4323.135	4.470	-2.340	0.000
^{13}CH	4323.139	0.708	-2.913	3.466
^{13}CH	4323.139	0.776	-1.449	3.466
C_2	4323.140	0.683	-4.140	6.244
C_2	4323.140	0.909	-4.030	6.244
C_2	4323.145	0.344	-1.480	6.244
^{13}CH	4323.147	0.992	-3.395	3.466
C_2	4323.155	1.114	-0.830	6.244
^{12}CH	4323.159	1.849	-1.444	3.466
C_2	4323.167	0.633	-6.240	6.244
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4323.172	3.476	-2.290	7.724
C_2	4323.173	0.955	-3.990	6.244
C_2	4323.177	0.261	-6.910	6.244
^{12}CH	4323.180	0.874	-1.323	3.466
^{12}CH	4323.182	0.752	-3.071	3.466
^{12}CH	4323.191	0.874	-3.412	3.466
^{13}CH	4323.191	0.992	-1.259	3.466
^{13}CH	4323.192	0.692	-1.866	3.466
^{12}CH	4323.195	0.952	-3.360	3.466
^{12}CH	4323.196	0.839	-3.376	3.466
^{12}CH	4323.198	0.839	-1.360	3.466
^{13}CH	4323.198	0.692	-2.806	3.466
^{13}CH	4323.204	0.679	-2.667	3.466
^{12}CH	4323.209	0.996	-1.231	3.466
^{12}CH	4323.210	0.681	-2.066	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4323.210	0.730	-1.641	3.466
¹³ CH	4323.218	0.750	-3.254	3.466
¹² CH	4323.226	0.912	-1.289	3.466
¹² CH	4323.228	0.952	-1.289	3.466
C ₂	4323.234	0.489	-4.070	6.244
¹³ CH	4323.236	0.709	-1.736	3.466
C ₂	4323.243	0.955	-4.120	6.244
¹² CH	4323.248	0.912	-3.445	3.466
¹² CH	4323.249	0.807	-3.339	3.466
¹² CH	4323.255	0.711	-1.737	3.466
¹³ CH	4323.262	0.728	-1.641	3.466
¹² CH	4323.265	0.807	-1.402	3.466
¹² CH	4323.267	0.694	-1.867	3.466
¹² CH	4323.273	0.730	-2.999	3.466
¹³ CH	4323.277	0.750	-1.504	3.466
C ₂	4323.278	0.319	-7.340	6.244
¹² CH	4323.284	0.460	-7.179	3.466
¹² CH	4323.286	0.671	-2.465	3.466
¹³ CH	4323.287	0.679	-2.672	3.466
¹³ CH	4323.288	0.992	-1.231	3.466
Sm II	4323.290	0.104	-0.920	0.000
¹³ CH	4323.291	0.750	-1.564	3.466
C ₂	4323.291	1.114	-0.840	6.244
¹² CH	4323.293	0.681	-2.065	3.466
C ₂	4323.304	0.810	-7.560	6.244
¹³ CH	4323.319	0.776	-1.501	3.466
¹² CH	4323.330	0.671	-2.468	3.466
¹³ CH	4323.332	0.992	-3.505	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4323.333	0.460	-2.867	3.466
^{12}CH	4323.335	0.778	-3.298	3.466
^{13}CH	4323.336	0.692	-2.812	3.466
^{13}CH	4323.338	0.750	-3.081	3.466
^{13}CH	4323.341	0.728	-3.007	3.466
^{13}CH	4323.343	0.728	-3.207	3.466
^{13}CH	4323.346	0.709	-2.920	3.466
^{13}CH	4323.349	0.776	-3.145	3.466
^{12}CH	4323.355	0.711	-2.913	3.466
Ti I	4323.356	2.316	-3.980	0.000
Fe I	4323.358	2.452	-3.960	0.000
^{13}CH	4323.361	0.805	-1.448	3.466
Fe I	4323.367	2.450	-3.850	0.000
^{12}CH	4323.368	0.778	-1.449	3.466
C_2	4323.384	0.093	-7.510	6.244
^{12}CH	4323.386	0.952	-3.476	3.466
^{13}CH	4323.386	0.805	-3.201	3.466
W II	4323.398	3.123	-1.090	0.000
Fe I	4323.401	4.206	-4.160	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4323.401	3.476	-5.260	7.724
V I	4323.404	2.330	-2.060	0.000
^{12}CH	4323.409	0.694	-1.866	3.466
^{12}CH	4323.412	0.681	-2.667	3.466
^{12}CH	4323.412	0.694	-2.806	3.466
^{13}CH	4323.421	0.728	-1.568	3.466
Ti I	4323.434	1.066	-1.780	0.000
^{12}CH	4323.437	0.996	-3.395	3.466
Cr I	4323.443	4.614	-1.190	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4323.444	0.753	-3.254	3.466
¹³ CH	4323.461	0.836	-1.401	3.466
¹³ CH	4323.461	0.836	-3.251	3.466
Nb I	4323.462	1.156	-1.550	0.000
¹² CH	4323.463	0.711	-1.736	3.466
¹³ C ¹⁴ N	4323.467	3.476	-2.270	7.724
¹³ CH	4323.471	0.709	-3.156	3.466
C ₂	4323.471	0.489	-4.170	6.244
¹² CH	4323.479	0.996	-1.258	3.466
C ₂	4323.480	0.956	-4.030	6.244
¹² CH	4323.497	0.753	-1.504	3.466
¹² CH	4323.498	0.730	-1.640	3.466
¹³ CH	4323.499	1.039	-3.427	3.466
¹² CH	4323.506	0.681	-2.672	3.466
C ₂	4323.510	0.810	-4.000	6.244
¹² C ¹⁴ N	4323.510	3.455	-2.970	7.724
¹² C ¹⁴ N	4323.510	3.455	-3.060	7.724
V I	4323.511	1.858	-2.560	0.000
¹² C ¹⁴ N	4323.513	3.455	-4.690	7.724
¹² CH	4323.515	0.753	-1.564	3.466
¹³ CH	4323.540	0.776	-3.289	3.466
Pr II	4323.550	0.629	-0.610	0.000
C ₂	4323.550	0.956	-4.060	6.244
¹² CH	4323.551	0.778	-1.501	3.466
¹³ CH	4323.552	1.039	-1.231	3.466
¹² CH	4323.553	0.694	-2.812	3.466
Er II	4323.554	0.891	-3.120	0.000
¹³ CH	4323.556	0.751	-3.246	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4323.556	0.805	-3.329	3.466
¹² CH	4323.563	0.730	-3.007	3.466
¹² CH	4323.565	0.730	-3.207	3.466
¹² CH	4323.565	0.753	-3.081	3.466
¹² CH	4323.569	0.711	-2.920	3.466
¹³ CH	4323.569	0.776	-1.450	3.466
¹³ CH	4323.571	0.805	-1.402	3.466
¹² CH	4323.573	0.559	-2.739	3.466
¹³ CH	4323.578	0.709	-1.647	3.466
¹² CH	4323.583	0.778	-3.144	3.466
C ₂	4323.587	0.810	-3.990	6.244
¹³ CH	4323.589	0.871	-3.297	3.466
¹³ CH	4323.594	0.728	-3.200	3.466
¹³ CH	4323.597	0.693	-3.104	3.466
¹³ CH	4323.603	0.871	-1.360	3.466
¹³ CH	4323.607	0.751	-1.504	3.466
¹² CH	4323.612	0.807	-1.448	3.466
¹³ CH	4323.614	0.837	-1.361	3.466
¹³ CH	4323.614	0.837	-3.366	3.466
¹² CH	4323.623	0.996	-3.505	3.466
C ₂	4323.625	0.319	-4.470	6.244
¹³ CH	4323.626	1.039	-1.205	3.466
¹² CH	4323.628	0.807	-3.201	3.466
¹² CH	4323.641	0.730	-1.568	3.466
Zr II	4323.641	2.488	-1.500	0.000
¹³ CH	4323.647	0.709	-3.151	3.466
¹³ CH	4323.671	0.728	-1.569	3.466
¹³ CH	4323.680	1.039	-3.533	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4323.686	4.253	-3.830	0.000
^{12}CH	4323.690	0.711	-3.156	3.466
^{13}CH	4323.690	0.596	-2.680	3.466
^{13}CH	4323.694	1.016	-6.140	3.466
Co I	4323.694	2.875	-4.120	0.000
Ni I	4323.698	3.396	-4.400	0.000
^{13}CH	4323.705	1.016	-2.560	3.466
^{13}CH	4323.709	0.680	-3.059	3.466
^{13}CH	4323.710	0.693	-3.100	3.466
Ni I	4323.711	3.400	-1.600	0.000
^{12}CH	4323.712	0.839	-1.401	3.466
^{12}CH	4323.714	0.839	-3.251	3.466
^{13}CH	4323.715	0.871	-1.323	3.466
^{13}CH	4323.728	0.871	-3.400	3.466
C_2	4323.732	0.320	-4.510	6.244
C_2	4323.741	0.605	-7.280	6.244
^{13}CH	4323.742	0.693	-1.749	3.466
C_2	4323.742	0.810	-0.930	6.244
^{13}CH	4323.754	0.709	-1.648	3.466
Co I	4323.763	3.684	-3.140	0.000
Cr I	4323.765	2.965	-3.780	0.000
Dy II	4323.770	2.110	-0.940	0.000
^{12}CH	4323.773	0.559	-7.317	3.466
^{12}CH	4323.774	1.809	-4.489	3.466
^{12}CH	4323.775	0.779	-3.289	3.466
^{13}CH	4323.779	1.016	-2.664	3.466
^{13}CH	4323.781	0.680	-3.056	3.466
C_2	4323.782	0.605	-4.050	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4323.784	0.753	-3.246	3.466
^{13}CH	4323.786	0.909	-3.338	3.466
^{13}CH	4323.790	1.016	-6.301	3.466
C_2	4323.793	0.810	-0.940	6.244
^{12}CH	4323.799	0.711	-1.647	3.466
^{12}CH	4323.799	0.779	-1.450	3.466
^{12}CH	4323.799	0.807	-3.329	3.466
Sc I	4323.800	2.134	-3.730	0.000
^{12}CH	4323.801	1.042	-3.427	3.466
^{13}CH	4323.812	0.909	-1.323	3.466
^{12}CH	4323.815	0.695	-3.104	3.466
^{12}CH	4323.815	0.807	-1.402	3.466
^{12}CH	4323.818	0.730	-3.200	3.466
C_2	4323.829	1.099	-4.040	6.244
^{13}CH	4323.833	0.670	-3.065	3.466
^{12}CH	4323.834	0.559	-2.679	3.466
^{12}CH	4323.834	0.753	-1.504	3.466
C_2	4323.840	1.099	-6.950	6.244
Ca I	4323.841	4.677	-2.020	0.000
Cr I	4323.847	2.965	-1.940	0.000
^{12}CH	4323.851	1.042	-1.231	3.466
^{13}CH	4323.854	0.693	-1.749	3.466
^{12}CH	4323.855	0.874	-3.297	3.466
^{12}CH	4323.857	0.839	-1.361	3.466
^{13}CH	4323.859	0.670	-3.063	3.466
^{12}CH	4323.866	0.874	-1.360	3.466
^{12}CH	4323.867	0.839	-3.366	3.466
^{12}CH	4323.868	0.711	-3.151	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{13}CH	4323.869	0.596	-7.330	3.466
^{13}CH	4323.887	0.909	-1.290	3.466
^{12}CH	4323.899	0.730	-1.569	3.466
Pr II	4323.900	0.422	-1.350	0.000
^{13}CH	4323.913	0.909	-3.432	3.466
^{13}CH	4323.920	0.680	-1.892	3.466
C_2	4323.921	0.811	-0.960	6.244
Fe I	4323.927	4.217	-2.390	0.000
^{12}CH	4323.929	0.695	-3.100	3.466
^{13}CH	4323.931	0.596	-2.623	3.466
^{12}CH	4323.933	1.043	-1.205	3.466
^{12}CH	4323.934	0.682	-3.059	3.466
C_2	4323.953	1.087	-6.330	6.244
C_2	4323.956	1.226	-7.270	6.244
Ti I	4323.957	2.304	-4.050	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4323.958	0.451	-8.170	6.244
^{12}CH	4323.964	0.695	-1.749	3.466
C_2	4323.971	0.439	-6.310	6.244
^{12}CH	4323.982	0.711	-1.647	3.466
^{12}CH	4323.982	0.874	-1.323	3.466
^{13}CH	4323.982	0.680	-1.892	3.466
^{12}CH	4323.983	1.043	-3.533	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4323.988	0.451	-5.070	6.244
^{12}CH	4323.993	0.874	-3.400	3.466
C_2	4323.994	1.099	-0.830	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4323.996	0.451	-8.510	6.244
^{13}CH	4323.997	1.088	-3.457	3.466
^{12}CH	4324.001	0.682	-3.056	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4324.006	3.454	-3.060	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4324.007	3.454	-3.170	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4324.009	3.454	-4.590	7.724
C_2	4324.012	0.605	-1.030	6.244
Zr I	4324.027	1.778	-0.160	0.000
Cr I	4324.032	4.609	-3.230	0.000
Fe I	4324.042	4.581	-0.690	0.000
^{12}CH	4324.049	0.672	-3.065	3.466
^{12}CH	4324.058	0.433	-3.017	3.466
^{13}CH	4324.060	1.088	-1.205	3.466
C_2	4324.064	0.450	-7.890	6.244
^{12}CH	4324.065	0.912	-3.338	3.466
^{13}CH	4324.069	0.950	-3.377	3.466
Gd II	4324.070	1.133	-0.690	0.000
^{12}CH	4324.074	0.695	-1.749	3.466
^{12}CH	4324.077	0.672	-3.063	3.466
^{12}CH	4324.088	0.912	-1.322	3.466
C_2	4324.090	0.605	-4.050	6.244
Fe I	4324.093	4.555	-1.490	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4324.094	0.451	-5.080	6.244
C_2	4324.095	1.099	-0.840	6.244
C_2	4324.107	1.099	-4.040	6.244
^{13}CH	4324.108	0.950	-1.289	3.466
^{13}CH	4324.114	1.088	-1.182	3.466
Cr I	4324.114	4.798	-3.060	0.000
C_2	4324.131	0.605	-1.040	6.244
^{12}CH	4324.137	0.682	-1.892	3.466
^{13}CH	4324.137	0.670	-2.143	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4324.148	0.950	-1.259	3.466
¹³ CH	4324.167	0.670	-2.143	3.466
¹² CH	4324.169	0.912	-1.290	3.466
¹³ CH	4324.171	0.408	-3.105	3.466
¹³ CH	4324.177	1.088	-3.559	3.466
¹³ CH	4324.186	0.950	-3.462	3.466
Fe II	4324.191	7.689	-2.710	0.000
¹² CH	4324.192	0.912	-3.432	3.466
C ₂	4324.197	1.226	-4.090	6.244
¹² CH	4324.203	0.682	-1.892	3.466
¹² C ¹³ C	4324.206	0.451	-1.690	6.244
¹² C ¹³ C	4324.206	0.451	-5.070	6.244
¹² C ¹³ C	4324.233	0.451	-5.070	6.244
C ₂	4324.234	1.099	-0.850	6.244
¹² C ¹³ C	4324.237	0.451	-1.700	6.244
C ₂	4324.239	0.450	-4.280	6.244
V I	4324.242	2.573	-3.650	0.000
C ₂	4324.253	1.226	-4.120	6.244
Fe II	4324.276	7.647	-2.820	0.000
C ₂	4324.283	0.605	-1.050	6.244
Fe I	4324.309	3.045	-3.850	0.000
¹² CH	4324.311	1.092	-3.457	3.466
¹² C ¹³ C	4324.312	0.242	-8.350	6.244
¹² C ¹³ C	4324.314	0.451	-1.710	6.244
Co II	4324.328	5.462	-3.710	0.000
Co I	4324.330	3.949	-3.520	0.000
¹² C ¹³ C	4324.331	0.451	-1.690	6.244
¹² C ¹³ C	4324.331	0.451	-1.700	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4324.336	3.632	-3.940	0.000
C ₂	4324.337	0.450	-4.270	6.244
C ₂	4324.344	0.674	-6.790	6.244
Mn I	4324.350	4.341	-3.960	0.000
¹² CH	4324.356	0.672	-2.143	3.466
¹² CH	4324.363	0.953	-3.376	3.466
¹² CH	4324.369	1.092	-1.205	3.466
Fe II	4324.370	4.734	-4.890	0.000
¹² CH	4324.383	0.672	-2.143	3.466
¹² CH	4324.386	0.433	-7.091	3.466
¹² CH	4324.396	0.953	-1.289	3.466
¹² C ¹³ C	4324.397	0.242	-5.330	6.244
Ti I	4324.398	2.332	-2.120	0.000
¹² C ¹³ C	4324.419	0.451	-1.710	6.244
¹² CH	4324.430	0.433	-2.938	3.466
¹² CH	4324.433	1.092	-1.182	3.466
¹² CH	4324.446	0.953	-1.259	3.466
C ₂	4324.446	0.328	-8.020	6.244
Sm I	4324.451	0.282	-0.220	0.000
¹³ CH	4324.458	0.993	-3.412	3.466
¹² C ¹³ C	4324.462	0.242	-8.560	6.244
¹² CH	4324.479	0.953	-3.462	3.466
C ₂	4324.484	0.450	-1.160	6.244
C ₂	4324.489	0.328	-4.690	6.244
¹² CH	4324.491	1.092	-3.559	3.466
¹² C ¹³ C	4324.493	0.243	-5.430	6.244
¹³ CH	4324.499	1.902	-1.459	3.466
¹³ CH	4324.508	0.993	-1.258	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4324.511	0.450	-1.180	6.244
¹³ CH	4324.516	1.902	-1.478	3.466
¹³ CH	4324.517	0.993	-1.231	3.466
Ti I	4324.523	3.196	-1.470	0.000
¹² C ¹⁴ N	4324.526	3.452	-3.170	7.724
¹² C ¹⁴ N	4324.526	3.452	-3.320	7.724
Ca I	4324.527	4.677	-1.580	0.000
¹² C ¹⁴ N	4324.528	3.452	-4.460	7.724
Mo I	4324.533	2.644	-2.020	0.000
¹³ CH	4324.535	1.902	-3.838	3.466
C ₂	4324.543	0.798	-7.210	6.244
¹³ CH	4324.556	0.408	-6.978	3.466
Gd II	4324.560	1.133	-1.280	0.000
¹³ CH	4324.567	0.993	-3.490	3.466
¹³ CH	4324.582	1.392	-4.076	3.466
C ₂	4324.589	0.900	-6.910	6.244
¹³ CH	4324.592	0.408	-3.017	3.466
58.00	4324.594	0.000	-0.490	0.000
C ₂	4324.609	0.798	-3.980	6.244
Na I	4324.616	2.103	-1.960	0.000
Cr I	4324.622	3.085	-2.960	0.000
C ₂	4324.627	0.450	-1.190	6.244
V I	4324.629	1.871	-1.720	0.000
Fe I	4324.665	3.412	-9.170	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4324.666	3.484	-2.270	7.724
¹³ CH	4324.672	1.139	-3.486	3.466
¹² CH	4324.697	1.657	-14.901	3.466
Cr I	4324.711	4.436	-1.190	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4324.719	0.328	-1.470	6.244
C ₂	4324.727	0.328	-4.690	6.244
Fe I	4324.728	4.217	-2.650	0.000
C ₂	4324.730	0.674	-4.050	6.244
¹³ CH	4324.744	1.139	-1.182	3.466
¹² CH	4324.745	2.301	-10.234	3.466
¹² C ¹³ C	4324.748	0.242	-5.390	6.244
¹² CH	4324.768	0.997	-3.412	3.466
C ₂	4324.770	0.328	-1.480	6.244
¹² CH	4324.774	1.920	-7.192	3.466
¹³ CH	4324.778	1.139	-1.160	3.466
Ce II	4324.785	0.956	-0.430	0.000
¹³ CH	4324.786	1.803	-5.255	3.466
¹² C ¹³ C	4324.792	0.243	-5.410	6.244
¹² CH	4324.796	2.301	-6.299	3.466
C ₂	4324.801	1.212	-7.120	6.244
¹² CH	4324.810	0.997	-1.258	3.466
C ₂	4324.818	0.480	-6.890	6.244
C ₂	4324.824	1.212	-4.080	6.244
¹² CH	4324.832	0.997	-1.231	3.466
¹³ CH	4324.850	1.139	-3.585	3.466
C ₂	4324.864	0.328	-1.490	6.244
C ₂	4324.873	0.163	-8.000	6.244
¹² CH	4324.874	0.997	-3.490	3.466
C ₂	4324.879	0.798	-0.940	6.244
C ₂	4324.884	0.675	-4.100	6.244
¹² CH	4324.892	2.301	-6.463	3.466
C ₂	4324.893	0.798	-3.970	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4324.905	0.900	-4.040	6.244
¹³ CH	4324.908	1.013	-1.805	3.466
Sc I	4324.910	2.108	-3.690	0.000
¹² CH	4324.913	1.920	-12.857	3.466
C ₂	4324.917	1.083	-7.360	6.244
¹² CH	4324.942	1.920	-7.489	3.466
¹² CH	4324.943	2.301	-12.359	3.466
Fe I	4324.948	2.196	-3.420	0.000
C ₂	4324.959	0.798	-0.960	6.244
Sc I	4324.964	1.952	-2.820	0.000
Cr I	4324.971	4.093	-1.830	0.000
¹³ CH	4324.975	1.039	-3.445	3.466
Sc II	4324.996	0.595	-0.440	0.000
¹² CH	4324.998	1.144	-3.486	3.466
Cr I	4324.998	2.970	-0.630	0.000
Fe I	4324.998	2.200	-2.880	0.000
C ₂	4325.004	1.212	-4.160	6.244
¹³ CH	4325.020	1.040	-1.205	3.466
¹³ CH	4325.032	1.039	-1.231	3.466
Cr I	4325.036	3.963	-1.250	0.000
C ₂	4325.036	0.900	-4.080	6.244
Mn II	4325.041	5.393	-2.300	0.000
Ru I	4325.056	1.691	-0.760	0.000
Cr I	4325.058	2.967	-0.561	0.000
Cr I	4325.061	2.965	-0.560	0.000
¹² CH	4325.063	1.144	-1.182	3.466
¹² C ¹⁴ N	4325.067	3.452	-3.320	7.724
¹² C ¹⁴ N	4325.068	3.452	-3.570	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4325.068	3.452	-4.270	7.724
^{13}CH	4325.077	1.040	-3.517	3.466
C_2	4325.077	0.798	-0.970	6.244
C_2	4325.077	1.083	-4.040	6.244
^{13}CH	4325.082	1.392	-4.046	3.466
C_2	4325.086	0.593	-7.800	6.244
^{13}CH	4325.107	1.014	-1.805	3.466
^{12}CH	4325.111	1.144	-1.160	3.466
C_2	4325.113	0.310	-7.100	6.244
Dy II	4325.114	1.661	-0.340	0.000
Ti I	4325.126	2.248	0.250	0.000
C_2	4325.128	0.628	-6.420	6.244
Co I	4325.136	3.407	-5.550	0.000
Ti I	4325.141	2.250	0.330	0.000
Ba I	4325.141	1.674	-0.860	0.000
^{13}CH	4325.153	1.913	-4.663	3.466
C_2	4325.153	1.083	-4.030	6.244
^{12}CH	4325.176	1.144	-3.585	3.466
Fe I	4325.176	3.015	-1.980	0.000
C_2	4325.206	0.163	-5.000	6.244
C_2	4325.210	0.480	-4.150	6.244
^{12}CH	4325.211	0.598	-2.680	3.466
V II	4325.215	4.241	-1.530	0.000
C_2	4325.220	0.935	-4.160	6.244
C_2	4325.231	0.935	-4.170	6.244
^{12}CH	4325.256	1.016	-1.805	3.466
C_2	4325.264	0.163	-5.030	6.244
C_2	4325.267	0.310	-4.400	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4325.267	1.083	-0.840	6.244
C ₂	4325.275	0.935	-3.910	6.244
C ₂	4325.279	0.837	-6.480	6.244
V II	4325.291	6.529	-2.420	0.000
¹² CH	4325.301	1.043	-3.445	3.466
C ₂	4325.304	0.593	-4.060	6.244
¹² C ¹³ C	4325.305	0.135	-7.830	6.244
C ₂	4325.314	1.083	-0.850	6.244
Fe II	4325.316	6.204	-4.370	0.000
C ₂	4325.317	0.935	-4.050	6.244
¹³ CH	4325.323	1.014	-3.039	3.466
¹² C ¹³ C	4325.326	0.135	-7.560	6.244
Fe I	4325.348	4.383	-1.860	0.000
¹² CH	4325.349	1.043	-1.205	3.466
¹² CH	4325.352	1.043	-1.231	3.466
Ni I	4325.352	3.603	-2.150	0.000
C ₂	4325.357	0.481	-4.200	6.244
Mn I	4325.378	4.682	-2.860	0.000
Fe I	4325.378	4.175	-3.140	0.000
C ₂	4325.383	0.593	-4.040	6.244
¹² CH	4325.387	0.599	-7.329	3.466
¹² CH	4325.399	1.043	-3.516	3.466
¹³ CH	4325.400	1.014	-1.740	3.466
Cr II	4325.406	5.666	-4.450	0.000
Zr I	4325.406	0.730	-0.990	0.000
Fe II	4325.436	6.133	-2.340	0.000
C ₂	4325.442	0.310	-4.520	6.244
C ₂	4325.442	0.935	-3.980	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4325.447	0.915	-4.110	6.244
C ₂	4325.451	1.084	-0.860	6.244
¹² CH	4325.457	0.599	-2.623	3.466
¹² CH	4325.458	1.016	-1.805	3.466
Fe I	4325.487	4.000	-2.590	0.000
Co I	4325.490	2.135	-3.960	0.000
¹³ CH	4325.494	1.014	-3.030	3.466
C ₂	4325.497	0.935	-3.970	6.244
C ₂	4325.515	0.254	-6.600	6.244
Ca I	4325.517	2.707	-6.150	0.000
C ₂	4325.528	0.935	-4.010	6.244
C ₂	4325.535	0.915	-3.970	6.244
Fe II	4325.540	6.083	-2.310	0.000
C ₂	4325.540	0.593	-1.040	6.244
¹³ CH	4325.556	1.194	-3.513	3.466
Gd II	4325.560	1.371	-0.250	0.000
C ₂	4325.567	0.915	-3.900	6.244
¹³ CH	4325.568	1.014	-1.740	3.466
V I	4325.591	2.357	-3.250	0.000
C ₂	4325.596	0.915	-4.140	6.244
Ni I	4325.600	3.304	-1.030	0.000
Fe I	4325.601	4.555	-2.020	0.000
C ₂	4325.601	0.593	-1.050	6.244
C ₂	4325.602	0.436	-7.450	6.244
Fe I	4325.614	4.100	-1.830	0.000
Ni I	4325.618	3.310	-1.570	0.000
Cr I	4325.625	3.110	-1.410	0.000
¹² C ¹⁴ N	4325.630	3.451	-3.570	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4325.631	3.451	-3.870	7.724
^{13}CH	4325.636	1.194	-1.160	3.466
Cr I	4325.636	3.113	-1.406	0.000
Zr II	4325.641	1.742	-1.200	0.000
^{13}CH	4325.645	1.089	-3.476	3.466
^{13}CH	4325.652	1.194	-1.141	3.466
C_2	4325.655	0.915	-4.030	6.244
Fe II	4325.658	6.204	-3.900	0.000
^{12}CH	4325.667	0.409	-3.105	3.466
^{13}CH	4325.669	1.089	-1.182	3.466
C_2	4325.672	0.436	-4.260	6.244
^{12}CH	4325.674	1.017	-3.039	3.466
Gd I	4325.694	0.066	0.100	0.000
C_2	4325.702	0.785	-7.590	6.244
^{13}CH	4325.718	1.089	-1.205	3.466
Ba II	4325.726	6.196	-1.000	0.000
C_2	4325.726	0.593	-1.070	6.244
Cr I	4325.727	3.119	-2.310	0.000
^{13}CH	4325.733	1.194	-3.609	3.466
Fe I	4325.739	0.000	-5.180	0.000
^{13}CH	4325.741	1.089	-3.542	3.466
C_2	4325.750	1.078	-6.540	6.244
^{12}CH	4325.752	1.017	-1.740	3.466
Nd II	4325.760	0.471	-0.020	0.000
Fe I	4325.762	1.607	-0.010	0.000
Fe I	4325.775	0.000	-6.290	0.000
Mo I	4325.802	2.593	-0.810	0.000
C_2	4325.821	0.890	-6.610	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4325.844	1.017	-3.030	3.466
C_2	4325.849	0.915	-4.050	6.244
Cr I	4325.851	4.437	-0.540	0.000
Sc I	4325.866	2.567	-3.740	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4325.867	0.433	-8.170	6.244
U II	4325.889	0.685	-1.500	0.000
^{12}CH	4325.896	1.198	-3.513	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4325.901	0.433	-5.060	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4325.901	0.433	-8.510	6.244
C_2	4325.904	0.890	-3.900	6.244
C_2	4325.905	0.084	-7.200	6.244
C_2	4325.910	0.915	-4.050	6.244
^{12}CH	4325.921	1.017	-1.740	3.466
C_2	4325.929	0.785	-3.980	6.244
C_2	4325.931	0.436	-1.180	6.244
C_2	4325.931	0.436	-4.260	6.244
C_2	4325.931	0.666	-6.550	6.244
Fe I	4325.941	3.265	-1.830	0.000
Fe I	4325.950	3.270	-1.870	0.000
Fe I	4325.953	3.270	-1.870	0.000
Ti III	4325.958	19.701	-0.691	0.000
C_2	4325.963	1.069	-4.020	6.244
C_2	4325.964	1.069	-6.950	6.244
^{12}CH	4325.967	1.198	-1.160	3.466
Fe II	4325.967	7.577	-4.410	0.000
Ti I	4325.985	3.212	-0.640	0.000
^{12}CH	4325.989	1.093	-3.476	3.466
C_2	4325.998	0.785	-3.960	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4326.000	1.198	-1.141	3.466
C_2	4326.001	0.436	-1.190	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.004	0.433	-5.070	6.244
^{12}CH	4326.021	1.093	-1.182	3.466
^{12}CH	4326.047	1.093	-1.205	3.466
^{12}CH	4326.049	0.410	-6.977	3.466
C_2	4326.052	0.433	-6.670	6.244
^{12}CH	4326.071	1.198	-3.609	3.466
^{12}CH	4326.079	1.093	-3.542	3.466
^{12}CH	4326.090	0.410	-3.016	3.466
C_2	4326.108	0.437	-1.200	6.244
C_2	4326.115	0.666	-4.000	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.121	0.433	-5.060	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.124	0.433	-1.700	6.244
^{13}CH	4326.132	0.638	-2.624	3.466
Mo I	4326.136	2.062	-0.300	0.000
Mn I	4326.139	4.662	-1.600	0.000
C_2	4326.140	1.069	-0.850	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.141	0.433	-5.060	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.155	0.433	-1.710	6.244
Mn I	4326.162	4.191	-1.820	0.000
Fe I	4326.162	4.206	-3.840	0.000
C_2	4326.166	0.891	-4.000	6.244
C_2	4326.168	0.785	-0.960	6.244
Ti I	4326.170	1.732	-4.680	0.000
C_2	4326.215	0.312	-8.420	6.244
C_2	4326.225	0.785	-0.970	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.232	0.433	-1.720	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ti I	4326.236	1.995	-1.810	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.244	0.433	-1.700	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.244	0.433	-1.710	6.244
C ₂	4326.245	1.069	-0.860	6.244
C ₂	4326.246	1.069	-4.020	6.244
Os I	4326.255	1.886	-1.270	0.000
^{13}CH	4326.274	0.388	-3.206	3.466
^{13}CH	4326.283	0.342	-4.823	3.466
Ca I	4326.285	2.707	-5.650	0.000
^{13}CH	4326.294	0.638	-7.329	3.466
Nb I	4326.313	1.177	-0.460	0.000
Ca I	4326.315	6.041	-1.820	0.000
V II	4326.319	6.161	-3.850	0.000
Gd II	4326.326	2.207	-0.160	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.333	0.433	-1.720	6.244
V I	4326.342	2.573	-4.640	0.000
Ti I	4326.351	0.825	-1.260	0.000
C ₂	4326.356	0.312	-4.690	6.244
C ₂	4326.356	0.786	-0.980	6.244
Ti I	4326.357	0.830	-1.340	0.000
^{13}CH	4326.359	0.638	-2.568	3.466
C ₂	4326.368	0.667	-4.110	6.244
Dy I	4326.377	1.929	0.620	0.000
C ₂	4326.386	1.069	-0.870	6.244
Co I	4326.392	2.868	-4.530	0.000
C ₂	4326.414	0.580	-7.310	6.244
Tb I	4326.430	0.000	0.310	0.000
Ca I	4326.454	6.041	-2.620	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4326.471	0.580	-4.030	6.244
C ₂	4326.476	0.472	-6.600	6.244
Ce II	4326.479	0.875	-1.770	0.000
C ₂	4326.490	0.312	-4.680	6.244
¹² C ¹³ C	4326.491	0.229	-8.310	6.244
¹³ CH	4326.497	1.140	-3.506	3.466
¹³ CH	4326.505	1.140	-1.161	3.466
Ca I	4326.514	6.041	-2.150	0.000
V I	4326.551	2.503	-4.670	0.000
C ₂	4326.560	1.199	-7.210	6.244
¹³ CH	4326.580	1.140	-1.182	3.466
¹² C ¹³ C	4326.582	0.229	-5.330	6.244
¹³ CH	4326.587	1.140	-3.566	3.466
C ₂	4326.614	0.830	-5.640	6.244
Mn II	4326.616	5.400	-1.500	0.000
Ca I	4326.617	5.963	-3.970	0.000
C ₂	4326.619	0.312	-1.480	6.244
¹² C ¹³ C	4326.626	0.229	-8.530	6.244
C ₂	4326.631	0.312	-1.490	6.244
V II	4326.634	6.141	-4.450	0.000
Mn II	4326.639	5.394	-1.250	0.000
V I	4326.641	2.573	-3.170	0.000
C ₂	4326.644	0.472	-4.050	6.244
Ti I	4326.661	3.110	-4.040	0.000
Ti I	4326.677	2.493	-2.600	0.000
¹² C ¹³ C	4326.680	0.229	-5.420	6.244
¹³ CH	4326.683	1.250	-3.540	3.466
C ₂	4326.716	0.312	-1.500	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4326.719	0.580	-1.050	6.244
Ti II	4326.723	5.229	-3.420	0.000
¹³ CH	4326.733	0.388	-6.831	3.466
Mn I	4326.740	4.723	-1.810	0.000
Mo I	4326.744	1.380	-1.440	0.000
Ba II	4326.744	5.718	-3.040	0.000
Fe I	4326.753	2.947	-1.910	0.000
¹³ CH	4326.765	0.388	-3.105	3.466
¹³ CH	4326.771	1.250	-1.141	3.466
¹³ CH	4326.771	1.251	-1.124	3.466
C ₂	4326.784	0.581	-4.030	6.244
C ₂	4326.809	1.199	-4.080	6.244
Mo I	4326.820	3.161	-0.700	0.000
Ce II	4326.823	0.734	-1.060	0.000
¹² C ¹⁴ N	4326.823	3.452	-3.870	7.724
¹² C ¹⁴ N	4326.824	3.452	-3.560	7.724
Ru I	4326.826	1.316	-1.230	0.000
C ₂	4326.841	0.581	-1.070	6.244
¹² CH	4326.859	1.145	-3.506	3.466
¹³ CH	4326.859	0.358	-3.041	3.466
¹³ CH	4326.859	1.251	-3.633	3.466
C ₂	4326.863	0.151	-7.730	6.244
C ₂	4326.875	1.199	-4.110	6.244
¹² CH	4326.877	1.145	-1.161	3.466
C ₂	4326.907	0.473	-4.150	6.244
C ₂	4326.917	0.773	-7.230	6.244
¹² C ¹³ C	4326.918	0.229	-5.380	6.244
¹² CH	4326.924	1.145	-1.182	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4326.942	1.145	-3.566	3.466
^{13}CH	4326.945	0.358	-3.039	3.466
Cr I	4326.955	3.844	-4.300	0.000
Ti I	4326.960	0.812	-2.280	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4326.965	0.229	-5.400	6.244
C_2	4326.967	0.301	-7.240	6.244
Ti I	4326.970	0.810	-2.000	0.000
C_2	4326.986	0.151	-4.920	6.244
C_2	4326.995	0.581	-1.080	6.244
C_2	4326.998	0.773	-3.950	6.244
^{12}CH	4327.005	1.396	-4.075	3.466
C_2	4327.033	1.054	-7.390	6.244
Fe II	4327.039	2.542	-9.440	0.000
^{12}CH	4327.041	0.359	-3.041	3.466
^{12}CH	4327.042	1.255	-3.540	3.466
Pt I	4327.053	4.173	0.190	0.000
Th II	4327.093	0.556	-2.240	0.000
Fe I	4327.096	3.544	-0.960	0.000
C_2	4327.100	0.423	-7.920	6.244
Gd I	4327.102	0.000	-0.360	0.000
^{12}CH	4327.118	1.255	-1.141	3.466
C_2	4327.122	0.152	-5.020	6.244
^{12}CH	4327.132	0.359	-3.039	3.466
^{12}CH	4327.139	1.256	-1.124	3.466
Gd II	4327.150	0.354	-0.690	0.000
^{12}CH	4327.175	0.995	-4.644	3.466
^{13}CH	4327.177	0.358	-3.150	3.466
Ca I	4327.193	5.386	-4.480	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4327.208	1.054	-4.020	6.244
¹² CH	4327.216	1.256	-3.633	3.466
C ₂	4327.219	0.623	-6.160	6.244
Sc I	4327.227	2.109	-3.930	0.000
Th II	4327.231	0.514	-2.290	0.000
¹² CH	4327.236	0.995	-0.795	3.466
¹³ CH	4327.265	0.358	-3.157	3.466
Ti I	4327.273	2.332	-1.430	0.000
¹² CH	4327.274	0.995	-0.397	3.466
C ₂	4327.279	1.054	-4.010	6.244
C ₂	4327.284	0.773	-0.970	6.244
C ₂	4327.288	0.773	-3.950	6.244
C ₂	4327.292	0.423	-4.260	6.244
¹² CH	4327.335	0.995	-3.920	3.466
C ₂	4327.335	0.301	-4.440	6.244
¹² CH	4327.359	0.359	-3.150	3.466
C ₂	4327.369	0.773	-0.980	6.244
Nb I	4327.370	1.079	-1.030	0.000
C ₂	4327.384	0.423	-4.250	6.244
C ₂	4327.403	1.054	-0.860	6.244
¹³ CH	4327.416	1.914	-4.603	3.466
Ru I	4327.430	1.002	-1.570	0.000
¹² CH	4327.447	0.359	-3.157	3.466
¹² C ¹⁴ N	4327.452	3.452	-4.270	7.724
¹² C ¹⁴ N	4327.453	3.452	-3.560	7.724
C ₂	4327.454	1.054	-0.870	6.244
¹² C ¹⁴ N	4327.454	3.452	-3.310	7.724
C ₂	4327.457	0.659	-6.670	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4327.459	0.301	-4.480	6.244
O II	4327.460	28.510	0.057	0.000
C ₂	4327.476	1.186	-7.060	6.244
C ₂	4327.479	0.895	-4.190	6.244
Fe II	4327.483	7.691	-4.030	0.000
C ₂	4327.491	0.774	-1.000	6.244
C ₂	4327.493	0.896	-4.210	6.244
Ti I	4327.510	3.111	-3.580	0.000
Sm II	4327.510	0.333	-1.760	0.000
C ₂	4327.511	1.186	-4.070	6.244
¹² CH	4327.512	1.396	-4.046	3.466
Hf II	4327.520	1.869	-2.380	0.000
Mn I	4327.521	3.380	-5.800	0.000
V II	4327.527	3.970	-3.730	0.000
C ₂	4327.539	0.423	-1.190	6.244
C ₂	4327.541	0.895	-3.890	6.244
¹³ CH	4327.553	1.195	-1.141	3.466
C ₂	4327.558	0.882	-6.840	6.244
¹³ CH	4327.561	1.195	-3.535	3.466
C ₂	4327.577	0.423	-1.200	6.244
V I	4327.579	2.614	-5.550	0.000
V I	4327.581	1.194	-4.250	0.000
C ₂	4327.586	0.896	-4.040	6.244
C ₂	4327.594	1.054	-0.890	6.244
Fe II	4327.616	7.511	-4.180	0.000
¹³ CH	4327.646	1.195	-3.590	3.466
¹³ CH	4327.654	1.195	-1.160	3.466
¹² CH	4327.658	1.021	-5.784	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Ca I	4327.658	4.776	-2.570	0.000
^{12}CH	4327.681	0.641	-2.623	3.466
N III	4327.690	38.405	-1.163	0.000
C_2	4327.696	0.423	-1.210	6.244
C_2	4327.696	1.186	-4.150	6.244
C_2	4327.710	0.896	-3.970	6.244
C_2	4327.711	0.569	-7.890	6.244
C_2	4327.713	1.069	-6.280	6.244
C_2	4327.719	0.248	-6.840	6.244
C_2	4327.731	0.876	-4.140	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4327.754	0.415	-8.170	6.244
^{13}CH	4327.759	1.788	-9.136	3.466
C_2	4327.771	0.896	-3.980	6.244
Fe I	4327.776	3.692	-2.830	0.000
^{12}CH	4327.781	0.389	-3.206	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4327.784	0.415	-8.510	6.244
^{12}CH	4327.789	0.343	-4.823	3.466
Ni I	4327.792	4.164	-2.050	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4327.792	0.415	-5.050	6.244
C_2	4327.803	0.896	-4.030	6.244
C_2	4327.828	0.876	-3.960	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4327.837	0.125	-7.810	6.244
^{12}CH	4327.845	0.641	-7.329	3.466
O II	4327.849	28.510	-1.090	0.000
Nd II	4327.850	0.182	-2.000	0.000
C_2	4327.855	0.882	-4.040	6.244
C_2	4327.861	0.876	-3.880	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4327.861	0.125	-7.540	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
C ₂	4327.871	0.659	-4.010	6.244
C ₂	4327.880	0.876	-4.170	6.244
¹² C ¹³ C	4327.891	0.415	-5.060	6.244
Fe I	4327.903	3.301	-1.699	0.000
¹² CH	4327.913	0.641	-2.568	3.466
¹³ CH	4327.928	0.358	-2.769	3.466
Nd II	4327.930	0.559	-0.400	0.000
¹² CH	4327.944	1.200	-3.535	3.466
¹² CH	4327.950	1.200	-1.141	3.466
C ₂	4327.950	0.296	-8.030	6.244
C ₂	4327.952	0.569	-4.030	6.244
Mn I	4327.956	4.824	-1.210	0.000
C ₂	4327.958	0.876	-4.050	6.244
¹³ CH	4327.995	0.358	-2.769	3.466
C ₂	4328.004	0.296	-4.670	6.244
¹² C ¹³ C	4328.012	0.415	-5.050	6.244
Cr I	4328.013	4.204	-1.170	0.000
¹² CH	4328.016	1.200	-1.160	3.466
¹² C ¹³ C	4328.018	0.415	-1.710	6.244
Fe I	4328.020	4.298	-4.400	0.000
¹² CH	4328.021	1.200	-3.589	3.466
C ₂	4328.023	0.569	-4.020	6.244
¹² C ¹³ C	4328.027	0.415	-5.050	6.244
C ₂	4328.039	0.762	-7.630	6.244
C ₂	4328.045	0.882	-4.070	6.244
¹² C ¹³ C	4328.051	0.415	-1.720	6.244
C ₂	4328.053	0.659	-4.070	6.244
V I	4328.059	2.113	-1.430	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4328.065	1.040	-6.960	6.244
C ₂	4328.075	1.040	-4.000	6.244
Fe I	4328.083	4.412	-4.130	0.000
¹³ CH	4328.093	1.310	-3.566	3.466
¹² C ¹⁴ N	4328.103	3.454	-4.460	7.724
¹² C ¹⁴ N	4328.105	3.454	-3.310	7.724
¹² C ¹⁴ N	4328.106	3.454	-3.150	7.724
¹² CH	4328.114	0.359	-2.769	3.466
C ₂	4328.129	0.465	-6.790	6.244
¹² C ¹³ C	4328.129	0.415	-1.730	6.244
¹² C ¹³ C	4328.133	0.415	-1.710	6.244
¹² C ¹³ C	4328.135	0.415	-1.720	6.244
V I	4328.149	2.676	-2.530	0.000
C ₂	4328.149	0.876	-4.070	6.244
¹³ CH	4328.173	1.310	-1.109	3.466
¹² CH	4328.184	0.359	-2.769	3.466
C ₂	4328.187	0.428	-6.220	6.244
¹³ CH	4328.190	1.310	-1.124	3.466
C ₂	4328.198	0.569	-1.070	6.244
C ₂	4328.201	0.876	-4.030	6.244
¹² C ¹³ C	4328.225	0.415	-1.730	6.244
Ti I	4328.236	3.212	-1.260	0.000
¹² CH	4328.239	0.390	-6.831	3.466
Ti III	4328.241	18.295	-0.960	0.000
C ₂	4328.245	0.297	-4.670	6.244
C ₂	4328.246	0.296	-1.490	6.244
Ti I	4328.263	2.152	-2.590	0.000
C ₂	4328.263	1.040	-0.880	6.244

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
V I	4328.264	2.576	-2.360	0.000
C ₂	4328.264	0.569	-1.080	6.244
¹³ CH	4328.270	1.310	-3.656	3.466
¹² CH	4328.274	0.390	-3.104	3.466
C ₂	4328.289	0.762	-3.950	6.244
Co II	4328.293	5.042	-4.890	0.000
C ₂	4328.299	0.297	-1.500	6.244
C ₂	4328.313	0.076	-7.450	6.244
C ₂	4328.349	0.762	-3.940	6.244
C ₂	4328.364	1.040	-4.000	6.244
C ₂	4328.374	1.040	-0.890	6.244
¹³ CH	4328.386	1.905	-1.478	3.466
C ₂	4328.393	0.569	-1.100	6.244
C ₂	4328.394	0.297	-1.510	6.244
Cr I	4328.399	4.102	-3.010	0.000
Nb I	4328.417	1.120	-1.070	0.000
¹² CH	4328.470	1.915	-1.477	3.466
¹² CH	4328.481	1.315	-3.566	3.466
Sc I	4328.494	2.138	-2.560	0.000
¹³ CH	4328.518	2.003	-10.532	3.466
C ₂	4328.518	1.040	-0.900	6.244
¹³ CH	4328.521	0.952	-2.362	3.466
Ti I	4328.521	2.470	-3.100	0.000
C ₂	4328.535	0.762	-0.980	6.244
¹² CH	4328.541	1.915	-1.458	3.466
Ca I	4328.541	2.930	-6.670	0.000
C ₂	4328.549	0.465	-4.120	6.244
¹² CH	4328.562	1.315	-1.124	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4328.572	1.315	-1.108	3.466
C_2	4328.596	0.410	-7.470	6.244
^{13}CH	4328.598	0.952	-7.275	3.466
C_2	4328.599	0.762	-1.000	6.244
^{12}CH	4328.609	1.915	-3.837	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4328.646	0.216	-8.280	6.244
^{12}CH	4328.653	1.315	-3.656	3.466
^{13}CH	4328.660	1.905	-3.798	3.466
Mn I	4328.664	4.341	-2.190	0.000
^{13}CH	4328.668	0.021	-2.994	3.466
C_2	4328.680	0.410	-4.240	6.244
Th II	4328.688	2.140	-0.540	0.000
^{13}CH	4328.690	0.952	-2.533	3.466
C_2	4328.706	0.873	-6.490	6.244
C_2	4328.723	0.465	-4.180	6.244
C_2	4328.735	0.762	-1.010	6.244
Cu I	4328.742	5.149	-1.990	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4328.743	0.216	-5.310	6.244
^{13}CH	4328.744	1.905	-1.459	3.466
Os I	4328.758	1.367	-1.310	0.000
^{13}CH	4328.759	0.021	-2.992	3.466
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4328.767	0.216	-8.490	6.244
C_2	4328.774	0.292	-7.000	6.244
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4328.777	3.455	-4.590	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4328.779	3.455	-3.150	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4328.780	3.455	-3.040	7.724
C_2	4328.787	0.873	-3.850	6.244
^{12}CH	4328.799	1.862	-4.599	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Er I	4328.814	1.332	0.290	0.000
Ti II	4328.818	4.965	-2.310	0.000
Cr I	4328.821	4.096	-2.780	0.000
¹² CH	4328.829	0.021	-2.994	3.466
¹³ CH	4328.830	0.371	-3.328	3.466
Cr II	4328.841	3.906	-5.050	0.000
¹² C ¹³ C	4328.845	0.216	-5.420	6.244
V I	4328.847	2.357	-4.160	0.000
¹³ CH	4328.849	1.252	-1.124	3.466
¹³ CH	4328.871	1.252	-3.563	3.466
Co II	4328.876	5.051	-2.470	0.000
¹³ CH	4328.878	0.971	-3.027	3.466
¹³ CH	4328.881	0.971	-3.021	3.466
¹³ CH	4328.890	0.998	-1.864	3.466
Ti I	4328.898	2.776	-1.970	0.000
Dy II	4328.910	0.540	-1.600	0.000
V I	4328.911	2.364	-5.330	0.000
¹² CH	4328.921	0.021	-2.992	3.466
C ₂	4328.932	0.825	-6.110	6.244
Gd I	4328.935	0.880	-0.250	0.000
C ₂	4328.945	0.410	-4.230	6.244
C ₂	4328.946	0.141	-7.920	6.244
¹³ CH	4328.953	1.252	-3.612	3.466
C ₂	4328.953	0.292	-4.370	6.244
C ₂	4328.955	0.410	-1.200	6.244
¹³ CH	4328.975	1.252	-1.141	3.466
Pr II	4328.990	0.629	-0.780	0.000
¹³ CH	4328.993	0.021	-3.135	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
V II	4328.996	6.474	-2.200	0.000
C ₂	4329.000	0.557	-7.340	6.244
Sm II	4329.020	0.184	-0.510	0.000
¹³ CH	4329.021	0.998	-1.864	3.466
C ₂	4329.026	0.652	-6.430	6.244
C ₂	4329.029	0.410	-1.220	6.244
Fe I	4329.035	4.183	-1.990	0.000
¹³ CH	4329.037	2.003	-6.331	3.466
Sm II	4329.038	0.180	-0.360	0.000
V I	4329.062	2.721	-3.780	0.000
¹² C ¹³ C	4329.065	0.216	-5.360	6.244
C ₂	4329.075	0.557	-4.000	6.244
¹³ CH	4329.085	0.021	-3.141	3.466
¹³ CH	4329.090	2.003	-6.315	3.466
C ₂	4329.095	0.873	-3.960	6.244
¹² C ¹³ C	4329.115	0.216	-5.390	6.244
C ₂	4329.118	0.618	-6.330	6.244
C ₂	4329.125	1.026	-7.420	6.244
C ₂	4329.137	0.410	-1.230	6.244
C ₂	4329.148	0.292	-4.490	6.244
¹² CH	4329.152	0.021	-3.135	3.466
C ₂	4329.179	1.174	-7.150	6.244
C ₂	4329.228	0.750	-7.260	6.244
¹² CH	4329.231	0.973	-3.027	3.466
¹² CH	4329.233	0.973	-3.021	3.466
Sc I	4329.236	2.138	-3.260	0.000
C ₂	4329.240	0.652	-3.960	6.244
¹² CH	4329.246	0.021	-3.141	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
^{12}CH	4329.252	1.001	-1.864	3.466
Fe I	4329.261	4.227	-3.040	0.000
^{12}CH	4329.277	1.257	-1.124	3.466
^{12}CH	4329.283	1.257	-3.563	3.466
C_2	4329.296	0.141	-4.970	6.244
C_2	4329.316	1.026	-4.000	6.244
C_2	4329.324	0.750	-3.920	6.244
Mo I	4329.335	3.154	-1.250	0.000
C_2	4329.344	0.557	-1.080	6.244
Eu I	4329.348	1.667	-0.040	0.000
^{12}CH	4329.354	1.257	-3.612	3.466
^{12}CH	4329.360	1.257	-1.141	3.466
C_2	4329.366	0.141	-5.010	6.244
Pr II	4329.369	0.216	-1.500	0.000
C_2	4329.380	1.026	-3.990	6.244
^{12}CH	4329.387	1.001	-1.864	3.466
Sc I	4329.394	2.108	-3.840	0.000
Pr II	4329.394	0.216	-2.800	0.000
C_2	4329.395	0.558	-4.000	6.244
Pr II	4329.396	0.216	-1.570	0.000
^{13}CH	4329.407	0.372	-6.642	3.466
^{13}CH	4329.408	0.998	-2.948	3.466
Pr II	4329.416	0.216	-4.450	0.000
Pr II	4329.418	0.216	-2.610	0.000
Pr II	4329.419	0.216	-1.650	0.000
Mn I	4329.427	4.723	-1.880	0.000
^{13}CH	4329.435	0.372	-3.206	3.466
Pr II	4329.437	0.216	-4.130	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Pr II	4329.438	0.216	-2.560	0.000
C ₂	4329.438	1.174	-4.070	6.244
Pr II	4329.440	0.216	-1.740	0.000
Pr II	4329.454	0.216	-4.060	0.000
Pr II	4329.456	0.216	-2.620	0.000
Pr II	4329.457	0.216	-1.820	0.000
Pr II	4329.469	0.216	-4.230	0.000
Pr II	4329.470	0.216	-2.810	0.000
C ₂	4329.470	0.558	-1.100	6.244
Pr II	4329.471	0.216	-1.900	0.000
¹² C ¹⁴ N	4329.472	3.457	-4.690	7.724
¹² C ¹⁴ N	4329.475	3.457	-3.040	7.724
¹² C ¹⁴ N	4329.476	3.457	-2.950	7.724
Th II	4329.491	1.794	-0.880	0.000
¹³ CH	4329.496	0.683	-2.569	3.466
C ₂	4329.506	1.061	-6.480	6.244
¹³ CH	4329.511	0.998	-1.785	3.466
C ₂	4329.515	1.174	-4.100	6.244
C ₂	4329.517	1.026	-0.890	6.244
¹³ CH	4329.518	0.998	-2.940	3.466
C ₂	4329.527	0.652	-4.070	6.244
Ba II	4329.534	6.196	-2.010	0.000
Fe I	4329.537	2.220	-4.450	0.000
Cr I	4329.544	4.782	-3.980	0.000
Zr I	4329.557	0.071	-2.310	0.000
Ta I	4329.557	1.970	-0.760	0.000
C ₂	4329.571	1.026	-0.900	6.244
Gd I	4329.580	0.841	0.200	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4329.618	0.397	-8.170	6.244
^{13}CH	4329.620	0.998	-1.785	3.466
C_2	4329.624	0.751	-3.920	6.244
C_2	4329.626	0.558	-1.110	6.244
Mo I	4329.629	2.596	-2.120	0.000
C_2	4329.629	0.750	-1.000	6.244
^{13}CH	4329.643	0.683	-7.316	3.466
V I	4329.643	2.580	-3.570	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4329.643	0.397	-8.520	6.244
V II	4329.660	6.473	-2.560	0.000
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4329.660	0.397	-5.040	6.244
C_2	4329.662	0.281	-8.450	6.244
C_2	4329.670	0.857	-4.220	6.244
C_2	4329.687	0.857	-4.240	6.244
^{13}CH	4329.710	0.683	-2.515	3.466
C_2	4329.715	1.026	-0.910	6.244
C_2	4329.721	0.751	-1.010	6.244
Nb I	4329.722	0.019	-1.690	0.000
C_2	4329.739	0.857	-3.870	6.244
$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	4329.756	0.397	-5.050	6.244
C_2	4329.758	0.458	-6.490	6.244
^{13}CH	4329.775	0.021	-2.727	3.466
^{12}CH	4329.776	1.001	-2.948	3.466
C_2	4329.788	0.857	-4.030	6.244
^{13}CH	4329.796	1.365	-4.015	3.466
C_2	4329.818	0.281	-4.670	6.244
^{13}CH	4329.830	1.372	-3.592	3.466
^{13}CH	4329.846	0.021	-2.728	3.466

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
C ₂	4329.846	0.751	-1.030	6.244
¹² CH	4329.874	1.001	-1.785	3.466
¹² C ¹³ C	4329.882	0.397	-5.040	6.244
¹² CH	4329.883	1.001	-2.940	3.466
¹² C ¹³ C	4329.890	0.397	-5.040	6.244
¹² C ¹³ C	4329.891	0.397	-1.720	6.244
¹³ CH	4329.903	1.372	-1.095	3.466
C ₂	4329.910	0.857	-3.950	6.244
¹² C ¹³ C	4329.924	0.397	-1.730	6.244
Ti I	4329.929	3.176	-3.750	0.000
¹³ CH	4329.935	1.372	-1.109	3.466
¹² CH	4329.941	0.021	-2.727	3.466
C ₂	4329.945	0.838	-4.160	6.244
C ₂	4329.947	0.281	-4.660	6.244
C ₂	4329.958	0.458	-4.020	6.244
Eu I	4329.969	1.707	-0.080	0.000
Cr I	4329.975	3.085	-4.770	0.000
C ₂	4329.978	0.857	-4.000	6.244
¹² CH	4329.987	1.001	-1.785	3.466
V I	4330.026	0.000	-1.233	0.000
Ti II	4330.245	2.048	-1.800	0.000
Fe I	4330.451	3.000	-3.400	0.000
Fe II	4330.460	5.569	-4.010	0.000
Ti II	4330.695	1.180	-2.040	0.000
Ni I	4330.708	3.800	-1.350	0.000
Cr I	4330.774	3.079	-1.706	0.000
Fe I	4330.820	3.020	-3.200	0.000
Fe I	4330.952	3.270	-2.430	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Co I	4331.243	3.410	-1.150	0.000
O II	4331.466	28.513	-1.089	0.000
Ni I	4331.642	1.676	-2.103	0.000
O II	4331.857	28.513	-0.136	0.000
Cr I	4332.566	3.122	-1.383	0.000
S III	4332.653	18.188	-0.267	0.000
V I	4332.822	0.017	-1.109	0.000
Fe I	4333.051	4.290	-2.190	0.000
Ni I	4333.206	3.000	-2.350	0.000
La II	4333.760	0.170	-0.160	0.000
S II	4333.830	16.135	-1.034	0.000
Mn II	4334.056	5.548	-3.341	0.000
Fe I	4334.067	3.000	-3.180	0.000
Sm II	4334.166	0.280	-2.200	0.000
Ti I	4334.800	0.820	-1.680	0.000
Fe I	4335.452	3.070	-3.450	0.000
Fe I	4335.913	3.880	-2.880	0.000
Ce II	4336.273	0.700	-0.410	0.000
Fe I	4336.614	3.880	-3.200	0.000
Fe I	4336.873	3.420	-2.950	0.000
Fe I	4337.046	1.557	-1.696	0.000
Cr I	4337.172	4.207	-0.403	0.000
Fe I	4337.252	3.000	-2.720	0.000
Mn I	4337.418	4.273	-1.109	0.000
Cr I	4337.552	0.968	-1.112	0.000
Ce II	4337.792	0.330	-0.200	0.000
Ti II	4337.915	1.080	-1.128	0.000
Fe I	4338.248	2.176	-2.782	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Fe I	4338.271	2.180	-3.100	0.000
Ti I	4338.445	2.160	-0.400	0.000
Nd II	4338.445	3.000	-4.000	0.000
Si III	4338.500	19.025	-0.905	0.000
Fe II	4338.694	2.690	-4.250	0.000
Cr I	4338.789	3.375	-0.859	0.000
Fe I	4338.829	2.480	-3.980	0.000
Cr I	4339.436	0.983	-0.864	0.000
Cr I	4339.713	0.961	-1.428	0.000

A lista de linhas utilizada para a análise isotópica de Mg foi retirada do trabalho de [Meléndez e Cohen \(2007\)](#), e é mostrada na Tabela [A.3](#).

Tabela A.3 - Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias isotópicas de Mg.

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D_0 (eV)
²⁴ MgH	5100.942	0.2136	0.185	0.00	1.270
²⁵ MgH	5101.076	0.2132	0.185	0.00	1.270
²⁴ MgH	5101.082	0.0043	-0.394	0.00	1.270
²⁶ MgH	5101.206	0.2129	0.185	0.00	1.270
²⁵ MgH	5101.218	0.0043	-0.394	0.00	1.270
²⁴ MgH	5101.307	0.5581	-0.040	0.00	1.270
²⁶ MgH	5101.343	0.0043	-0.394	0.00	1.270
²⁵ MgH	5101.377	0.5576	-0.040	0.00	1.270
²⁴ MgH	5101.412	0.2136	0.185	0.00	1.270
²⁴ MgH	5101.439	0.6249	0.665	0.00	1.270
²⁶ MgH	5101.447	0.5572	-0.040	0.00	1.270
²⁵ MgH	5101.546	0.2132	0.185	0.00	1.270

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
²⁵ MgH	5101.574	0.6240	0.665	0.00	1.270
²⁶ MgH	5101.677	0.2129	0.185	0.00	1.270
²⁶ MgH	5101.697	0.6231	0.665	0.00	1.270
²⁴ MgH	5101.988	0.5581	-0.040	0.00	1.270
²⁴ MgH	5106.237	0.5867	0.653	0.00	1.270
²⁵ MgH	5106.366	0.5859	0.653	0.00	1.270
²⁶ MgH	5106.485	0.5850	0.653	0.00	1.270
²⁴ MgH	5106.553	0.5250	-0.315	0.00	1.270
²⁴ MgH	5106.593	0.5867	0.653	0.00	1.270
²⁵ MgH	5106.613	0.5246	-0.315	0.00	1.270
²⁶ MgH	5106.667	0.5242	-0.315	0.00	1.270
²⁵ MgH	5106.722	0.5859	0.653	0.00	1.270
²⁶ MgH	5106.841	0.5850	0.653	0.00	1.270
²⁴ MgH	5106.871	0.1902	0.162	0.00	1.270
²⁵ MgH	5106.997	0.1899	0.162	0.00	1.270
²⁶ MgH	5107.114	0.1897	0.162	0.00	1.270
²⁴ MgH	5111.257	0.5496	0.640	0.00	1.270
²⁴ MgH	5111.281	0.3684	-0.356	0.00	1.270
²⁵ MgH	5111.360	0.3681	-0.356	0.00	1.270
²⁵ MgH	5111.380	0.5487	0.640	0.00	1.270
²⁴ MgH	5111.402	0.5057	0.277	0.00	1.270
²⁶ MgH	5111.431	0.3678	-0.356	0.00	1.270
²⁵ MgH	5111.481	0.5052	0.277	0.00	1.270
²⁶ MgH	5111.492	0.5479	0.640	0.00	1.270
²⁶ MgH	5111.552	0.5047	0.277	0.00	1.270
²⁴ MgH	5111.612	0.5496	0.640	0.00	1.270
²⁵ MgH	5111.734	0.5487	0.640	0.00	1.270
²⁶ MgH	5111.846	0.5479	0.640	0.00	1.270

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
²⁴ MgH	5112.094	0.3684	-0.356	0.00	1.270
Ni I	5115.390	3.8340	-0.110	0.328E-30	0.000
C ₂	5115.770	0.6570	0.191	0.00	6.297
C ₂	5115.770	0.6790	0.200	0.00	6.297
Fe I	5115.780	3.5730	-2.740	0.137E-31	0.000
C ₂	5115.870	0.6360	0.183	0.00	6.297
²⁴ MgH	5115.954	0.3618	-0.423	0.00	1.270
²⁵ MgH	5115.994	0.3615	-0.423	0.00	1.270
²⁶ MgH	5116.017	0.3612	-0.423	0.00	1.270
²⁴ MgH	5115.954	0.4681	0.219	0.00	1.270
²⁵ MgH	5115.992	0.4677	0.219	0.00	1.270
²⁶ MgH	5116.025	0.4673	0.219	0.00	1.270
²⁴ MgH	5116.124	0.5134	0.626	0.00	1.270
²⁵ MgH	5116.245	0.5126	0.626	0.00	1.270
²⁶ MgH	5116.350	0.5119	0.626	0.00	1.270
C ₂	5116.644	0.2050	-0.123	0.00	6.297
C ₂	5116.747	0.1950	-0.141	0.00	6.297
C ₂	5116.889	0.1860	-0.159	0.00	6.297
C ₂	5117.940	0.6350	0.183	0.00	6.297
C ₂	5118.057	0.6570	0.191	0.00	6.297
C ₂	5118.173	0.6140	0.175	0.00	6.297
²⁴ MgH	5118.756	0.3565	-0.503	0.00	1.270
²⁵ MgH	5118.789	0.3562	-0.503	0.00	1.270
²⁶ MgH	5118.808	0.3559	-0.503	0.00	1.270
C ₂	5119.121	0.1950	-0.141	0.00	6.297
C ₂	5119.205	0.1860	-0.159	0.00	6.297
C ₂	5119.373	0.1770	-0.179	0.00	6.297
C ₂	5120.626	0.6140	0.175	0.00	6.297

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
C ₂	5120.626	0.6350	0.183	0.00	6.297
C ₂	5120.713	0.5930	0.166	0.00	6.297
²⁴ MgH	5120.840	0.4356	0.151	0.00	1.270
²⁴ MgH	5120.877	0.4783	0.612	0.00	1.270
²⁵ MgH	5120.903	0.4352	0.151	0.00	1.270
²⁶ MgH	5120.964	0.4348	0.151	0.00	1.270
²⁵ MgH	5120.984	0.4776	0.612	0.00	1.270
²⁶ MgH	5121.082	0.4769	0.612	0.00	1.270
²⁴ MgH	5121.233	0.4783	0.612	0.00	1.270
²⁵ MgH	5121.340	0.4776	0.612	0.00	1.270
C ₂	5121.427	0.1860	-0.159	0.00	6.297
²⁶ MgH	5121.439	0.4769	0.612	0.00	1.270
C ₂	5121.541	0.1760	-0.179	0.00	6.297
C ₂	5121.688	0.1680	-0.199	0.00	6.297
C ₂	5122.795	0.6140	0.175	0.00	6.297
C ₂	5122.836	0.5930	0.166	0.00	6.297
C ₂	5122.871	0.5730	0.157	0.00	6.297
Y II	5123.211	0.9920	-0.830	2.80	0.000
C ₂	5123.775	0.1760	-0.179	0.00	6.297
C ₂	5123.872	0.1670	-0.199	0.00	6.297
C ₂	5124.050	0.1590	-0.220	0.00	6.297
C ₂	5125.227	0.5720	0.157	0.00	6.297
C ₂	5125.227	0.5930	0.166	0.00	6.297
C ₂	5125.327	0.5530	0.148	0.00	6.297
²⁴ MgH	5125.812	0.4443	0.597	0.00	1.270
²⁵ MgH	5125.918	0.4436	0.597	0.00	1.270
C ₂	5125.967	0.1670	-0.199	0.00	6.297
²⁶ MgH	5126.010	0.4429	0.597	0.00	1.270

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
C ₂	5126.088	0.1590	-0.220	0.00	6.297
²⁴ MgH	5126.158	0.3962	0.022	0.00	1.270
²⁵ MgH	5126.180	0.3958	0.022	0.00	1.270
Fe I	5126.193	4.2560	-1.080	0.499E-30	0.000
²⁶ MgH	5126.199	0.3955	0.022	0.00	1.270
C ₂	5126.256	0.1510	-0.243	0.00	6.297
²⁴ MgH	5126.929	0.3856	-0.032	0.00	1.270
²⁴ MgH	5126.929	0.4083	0.409	0.00	1.270
²⁵ MgH	5126.948	0.3853	-0.032	0.00	1.270
²⁶ MgH	5126.965	0.3850	-0.032	0.00	1.270
C ₂	5126.987	0.5720	0.157	0.00	6.297
²⁵ MgH	5126.990	0.4078	0.409	0.00	1.270
²⁶ MgH	5127.043	0.4074	0.409	0.00	1.270
C ₂	5127.092	0.5520	0.148	0.00	6.297
C ₂	5127.223	0.5330	0.138	0.00	6.297
²⁴ MgH	5127.323	0.4083	0.409	0.00	1.270
Fe I	5127.359	0.9150	-3.310	0.184E-31	0.000
²⁵ MgH	5127.384	0.4078	0.409	0.00	1.270
²⁶ MgH	5127.437	0.4074	0.409	0.00	1.270
²⁴ MgH	5127.604	0.3856	-0.032	0.00	1.270
²⁵ MgH	5127.623	0.3853	-0.032	0.00	1.270
²⁶ MgH	5127.640	0.3850	-0.032	0.00	1.270
Fe I	5127.679	0.0520	-6.130	2.80	0.000
²⁴ MgH	5127.828	0.2162	-0.190	0.00	1.270
²⁵ MgH	5127.888	0.2160	-0.190	0.00	1.270
²⁶ MgH	5127.925	0.2158	-0.190	0.00	1.270
²⁴ MgH	5128.075	0.3763	-0.094	0.00	1.270
Ni I	5128.082	3.6990	-2.461	2.80	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
²⁵ MgH	5128.092	0.3760	-0.094	0.00	1.270
²⁶ MgH	5128.108	0.3758	-0.094	0.00	1.270
C ₂	5128.186	0.1590	-0.220	0.00	6.297
C ₂	5128.303	0.1510	-0.243	0.00	6.297
²⁴ MgH	5128.459	0.2162	-0.190	0.00	1.270
C ₂	5128.490	0.1440	-0.266	0.00	6.297
²⁵ MgH	5128.519	0.2160	-0.190	0.00	1.270
²⁶ MgH	5128.556	0.2158	-0.190	0.00	1.270
²⁴ MgH	5128.883	0.3763	-0.094	0.00	1.270
²⁵ MgH	5128.900	0.3760	-0.094	0.00	1.270
²⁶ MgH	5128.916	0.3758	-0.094	0.00	1.270
²⁴ MgH	5129.072	0.3684	-0.166	0.00	1.270
²⁵ MgH	5129.088	0.3681	-0.166	0.00	1.270
²⁶ MgH	5129.101	0.3678	-0.166	0.00	1.270
Ti II	5129.152	1.8910	-1.400	2.80	0.000
²⁴ MgH	5129.291	0.1099	0.054	0.00	1.270
Ni I	5129.378	3.6780	-0.630	0.372E-30	0.000
²⁵ MgH	5129.391	0.1097	0.054	0.00	1.270
²⁶ MgH	5129.451	0.1096	0.054	0.00	1.270
C ₂	5129.586	0.5320	0.138	0.00	6.297
C ₂	5129.587	0.5520	0.148	0.00	6.297
Fe I	5129.631	3.9430	-1.850	0.276E-30	0.000
C ₂	5129.689	0.5140	0.129	0.00	6.297
²⁴ MgH	5129.783	0.1099	0.054	0.00	1.270
²⁵ MgH	5129.883	0.1097	0.054	0.00	1.270
²⁴ MgH	5129.898	0.3618	-0.253	0.00	1.270
²⁴ MgH	5129.898	0.3684	-0.166	0.00	1.270
²⁴ MgH	5129.898	0.4113	0.581	0.00	1.270

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
²⁵ MgH	5129.912	0.3615	-0.253	0.00	1.270
²⁵ MgH	5129.914	0.3681	-0.166	0.00	1.270
²⁶ MgH	5129.925	0.3612	-0.253	0.00	1.270
²⁶ MgH	5129.927	0.3678	-0.166	0.00	1.270
²⁶ MgH	5129.943	0.1096	0.054	0.00	1.270
²⁵ MgH	5129.996	0.4107	0.581	0.00	1.270
²⁶ MgH	5130.083	0.4101	0.581	0.00	1.270
²⁴ MgH	5130.117	0.3845	0.386	0.00	1.270
²⁵ MgH	5130.173	0.3840	0.386	0.00	1.270
²⁶ MgH	5130.222	0.3836	0.386	0.00	1.270
²⁴ MgH	5130.254	0.4113	0.581	0.00	1.270
C ₂	5130.261	0.1510	-0.243	0.00	6.297
²⁵ MgH	5130.352	0.4107	0.581	0.00	1.270
Ni I	5130.359	3.8410	-1.250	2.80	0.000
C ₂	5130.410	0.1430	-0.266	0.00	6.297
²⁶ MgH	5130.439	0.4101	0.581	0.00	1.270
²⁴ MgH	5130.518	0.3565	-0.362	0.00	1.270
²⁴ MgH	5130.518	0.3845	0.386	0.00	1.270
²⁵ MgH	5130.531	0.3562	-0.362	0.00	1.270
²⁶ MgH	5130.542	0.3559	-0.362	0.00	1.270
²⁵ MgH	5130.574	0.3840	0.386	0.00	1.270
C ₂	5130.578	0.1360	-0.291	0.00	6.297
Nd II	5130.586	1.3040	0.450	2.50	0.000
²⁶ MgH	5130.623	0.3836	0.386	0.00	1.270
²⁴ MgH	5130.962	0.3618	-0.253	0.00	1.270
²⁵ MgH	5130.976	0.3615	-0.253	0.00	1.270
²⁶ MgH	5130.989	0.3612	-0.253	0.00	1.270
Ti II	5131.308	1.8920	-3.015	2.80	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
Fe I	5131.468	2.2230	-2.530	0.478E-31	0.000
C ₂	5131.523	0.5320	0.138	0.00	6.297
C ₂	5131.581	0.5130	0.129	0.00	6.297
C ₂	5131.687	0.4950	0.119	0.00	6.297
Ni I	5131.766	3.6990	-1.350	2.80	0.000
²⁴ MgH	5131.781	0.3565	-0.362	0.00	1.270
²⁵ MgH	5131.794	0.3562	-0.362	0.00	1.270
²⁶ MgH	5131.805	0.3559	-0.362	0.00	1.270
²⁴ MgH	5132.122	0.2066	-0.241	0.00	1.270
²⁵ MgH	5132.175	0.2065	-0.241	0.00	1.270
²⁶ MgH	5132.207	0.2063	-0.241	0.00	1.270
Nd II	5132.328	0.5590	-0.710	2.80	0.000
C ₂	5132.350	0.1430	-0.266	0.00	6.297
²⁴ MgH	5132.479	0.3525	-0.508	0.00	1.270
C ₂	5132.489	0.1360	-0.291	0.00	6.297
²⁵ MgH	5132.491	0.3522	-0.508	0.00	1.270
Ti I	5132.494	3.1120	-2.220	2.80	0.000
²⁶ MgH	5132.502	0.3519	-0.508	0.00	1.270
Fe II	5132.669	2.8066	-4.080	2.80	0.000
C ₂	5132.695	0.1290	-0.317	0.00	6.297
²⁴ MgH	5132.809	0.2066	-0.241	0.00	1.270
²⁵ MgH	5132.862	0.2065	-0.241	0.00	1.270
²⁶ MgH	5132.894	0.2063	-0.241	0.00	1.270
Co I	5133.470	3.9300	-0.150	2.80	0.000
Fe I	5133.690	4.1780	0.140	0.374E-30 0.0	0.000
C ₂	5133.704	0.4940	0.119	0.00	6.297
C ₂	5133.706	0.5130	0.129	0.00	6.297
C ₂	5133.812	0.4770	0.109	0.00	6.297

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
²⁴ MgH	5134.200	0.3795	0.564	0.00	1.270
²⁵ MgH	5134.289	0.3789	0.564	0.00	1.270
C ₂	5134.309	0.1360	-0.291	0.00	6.297
²⁶ MgH	5134.369	0.3784	0.564	0.00	1.270
C ₂	5134.481	0.1290	-0.317	0.00	6.297
Fe I	5134.550	3.0000	-4.200	2.80	0.000
²⁴ MgH	5134.569	0.0931	0.022	0.00	1.270
²⁴ MgH	5134.569	0.3795	0.564	0.00	1.270
Fe I	5134.647	3.9840	-3.535	2.80	0.000
²⁵ MgH	5134.653	0.0930	0.022	0.00	1.270
²⁵ MgH	5134.653	0.3789	0.564	0.00	1.270
C ₂	5134.663	0.1230	-0.345	0.00	6.297
²⁶ MgH	5134.734	0.0928	0.022	0.00	1.270
²⁶ MgH	5134.734	0.3784	0.564	0.00	1.270
²⁴ MgH	5135.079	0.0931	0.022	0.00	1.270
²⁵ MgH	5135.166	0.0930	0.022	0.00	1.270
Fe I	5135.170	4.5000	-2.600	2.80	0.000
²⁶ MgH	5135.246	0.0928	0.022	0.00	1.270
C ₂	5135.560	0.4940	0.119	0.00	6.297
C ₂	5135.581	0.4760	0.109	0.00	6.297
C ₂	5135.687	0.4590	0.099	0.00	6.297
Cr I	5135.930	3.3750	-1.900	2.80	0.000
²⁴ MgH	5136.014	0.3406	0.336	0.00	1.270
²⁵ MgH	5136.065	0.3402	0.336	0.00	1.270
Fe I	5136.090	4.1860	-2.050	2.80	0.000
²⁶ MgH	5136.122	0.3399	0.336	0.00	1.270
²⁴ MgH	5136.256	0.1984	-0.300	0.00	1.270
Fe I	5136.260	3.5000	-3.300	2.80	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
C ₂	5136.262	0.1290	-0.317	0.00	6.297
²⁵ MgH	5136.322	0.1982	-0.300	0.00	1.270
²⁶ MgH	5136.382	0.1981	-0.300	0.00	1.270
²⁴ MgH	5136.428	0.3406	0.336	0.00	1.270
C ₂	5136.434	0.1230	-0.345	0.00	6.297
²⁵ MgH	5136.494	0.3402	0.336	0.00	1.270
²⁶ MgH	5136.556	0.3399	0.336	0.00	1.270
C ₂	5136.653	0.1170	-0.375	0.00	6.297
Fe II	5136.800	2.8443	-4.430	2.80	0.000
²⁴ MgH	5137.006	0.1984	-0.300	0.00	1.270
²⁵ MgH	5137.052	0.1982	-0.300	0.00	1.270
Ni I	5137.070	1.6760	-1.990	0.375E-31	0.000
²⁶ MgH	5137.080	0.1981	-0.300	0.00	1.270
Fe I	5137.382	4.1780	-0.410	0.372E-30 0.0	0.000
C ₂	5137.574	0.4580	0.099	0.00	6.297
C ₂	5137.575	0.4760	0.109	0.00	6.297
C ₂	5137.685	0.4410	0.089	0.00	6.297
Cr I	5137.930	3.4220	-1.770	2.80	0.000
C ₂	5138.102	0.1230	-0.345	0.00	6.297
C ₂	5138.308	0.1170	-0.375	0.00	6.297
²⁴ MgH	5138.355	0.3483	0.547	0.00	1.270
²⁵ MgH	5138.400	0.3483	0.547	0.00	1.270
²⁶ MgH	5138.470	0.3483	0.547	0.00	1.270
C ₂	5138.503	0.1110	-0.408	0.00	6.297
²⁴ MgH	5138.710	0.3205	0.308	0.00	1.270
²⁴ MgH	5138.710	0.3489	0.547	0.00	1.270
Cr I	5138.710	0.9830	-4.400	2.80	0.000
²⁵ MgH	5138.768	0.3202	0.308	0.00	1.270

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
²⁵ MgH	5138.785	0.3483	0.547	0.00	1.270
²⁶ MgH	5138.823	0.3198	0.308	0.00	1.270
Cr I	5138.840	3.3750	-2.150	2.80	0.000
²⁶ MgH	5138.860	0.3478	0.547	0.00	1.270
Fe I	5139.150	3.0000	-3.000	2.80	0.000
Fe I	5139.251	2.9980	-0.740	0.303E-30	0.000
C ₂	5139.312	0.4580	0.099	0.00	6.297
C ₂	5139.340	0.4400	0.089	0.00	6.297
C ₂	5139.441	0.4240	0.078	0.00	6.297
Fe I	5139.460	2.9400	-0.510	0.284E-30	0.000
Cr I	5139.650	3.4220	-0.440	0.523E-31	0.000
²⁴ MgH	5139.678	0.0777	-0.012	0.00	1.270
²⁵ MgH	5139.761	0.0776	-0.012	0.00	1.270
²⁶ MgH	5139.812	0.0775	-0.012	0.00	1.270
C ₂	5139.924	0.1170	-0.375	0.00	6.297
C ₂	5140.136	0.1110	-0.408	0.00	6.297
²⁴ MgH	5140.202	0.0777	-0.012	0.00	1.270
²⁴ MgH	5140.202	0.1916	-0.367	0.00	1.270
²⁵ MgH	5140.286	0.0776	-0.012	0.00	1.270
²⁵ MgH	5140.286	0.1914	-0.367	0.00	1.270
²⁶ MgH	5140.358	0.0775	-0.012	0.00	1.270
²⁶ MgH	5140.358	0.1912	-0.367	0.00	1.270
C ₂	5140.374	0.1060	-0.442	0.00	6.297
Fe I	5140.825	4.0000	-2.270	2.80	0.000
C ₂	5144.916	0.1010	-0.480	0.00	6.297
²⁴ MgH	5144.958	0.1861	-0.447	0.00	1.270
²⁵ MgH	5144.992	0.1859	-0.447	0.00	1.270
²⁶ MgH	5145.010	0.1858	-0.447	0.00	1.270

Continua na próxima página

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	C6	D ₀ (eV)
Fe I	5145.094	2.1980	-3.100	2.80	0.000
MgH	5145.178	0.3684	-0.611	0.00	1.270
²⁴ MgH	5145.178	0.0637	-0.050	0.00	1.270
²⁵ MgH	5145.254	0.0636	-0.050	0.00	1.270
²⁶ MgH	5145.300	0.0635	-0.050	0.00	1.270
C ₂	5145.226	0.0970	-0.522	0.00	6.297
Ti I	5145.457	1.4600	-0.700	0.309E-31	0.000
C ₂	5145.469	0.0930	-0.567	0.00	6.297
Fe I	5145.740	2.0000	-4.850	2.80	0.000

A Tabela A.4 mostra a lista de linhas utilizada na determinação das abundâncias de Eu, construída através do código *linemake*² com dados de Lawler et al. (2001).

Tabela A.4 - Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias de Eu.

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4125.003	1.787	-4.529	3.464
¹² CH	4125.014	1.034	-6.713	3.464
¹³ CH	4125.014	1.752	-8.524	3.464
¹² CH	4125.016	0.641	-1.750	3.464
¹³ CH	4125.023	1.788	-4.586	3.464
¹³ CH	4125.024	0.839	-6.366	3.464
¹² CH	4125.037	1.400	-9.228	3.464
¹³ CH	4125.053	1.866	-4.417	3.464
¹² CH	4125.066	0.641	-5.067	3.464
¹³ CH	4125.068	1.825	-4.472	3.464
¹³ CH	4125.092	0.839	-1.444	3.464

Continua na próxima página

² <https://github.com/vmplacco/linemake>. Curador: Vinicius Placco.

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4125.095	0.641	-4.932	3.464
Mn I	4125.100	4.243	-2.020	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4125.108	2.241	-0.937	7.724
¹³ CH	4125.109	1.826	-4.528	3.464
¹³ CH	4125.115	1.866	-4.471	3.464
Sc I	4125.136	1.985	-1.260	0.000
¹² CH	4125.145	0.641	-1.777	3.464
V II	4125.151	6.641	-2.730	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4125.159	2.241	-0.953	7.724
W I	4125.178	2.036	-0.690	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4125.178	2.241	-4.036	7.724
Fe I	4125.224	2.452	-4.290	0.000
Sm I	4125.233	0.282	-1.070	0.000
Nb I	4125.236	1.353	-0.860	0.000
Fe I	4125.244	4.183	-3.360	0.000
¹² CH	4125.248	1.035	-6.632	3.464
¹³ CH	4125.261	1.788	-8.494	3.464
¹² CH	4125.273	1.270	-8.127	3.464
Fe I	4125.283	3.684	-3.260	0.000
¹² C ¹⁴ N	4125.285	2.399	-0.847	7.724
¹² CH	4125.288	1.270	-6.178	3.464
¹² CH	4125.299	1.035	-9.674	3.464
¹² C ¹⁴ N	4125.319	2.399	-0.857	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.332	1.562	-0.875	7.724
Cr I	4125.348	3.320	-2.210	0.000
¹² C ¹⁴ N	4125.351	2.399	-4.206	7.724
¹³ CH	4125.368	1.826	-8.460	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4125.385	1.938	-1.076	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4125.396	1.866	-8.423	3.464
¹² C ¹⁴ N	4125.396	1.377	-0.777	7.724
Mn I	4125.401	2.918	-3.050	0.000
Ce II	4125.416	0.703	-1.510	0.000
V I	4125.425	2.563	-2.130	0.000
¹² C ¹⁴ N	4125.436	1.562	-0.895	7.724
Cr I	4125.441	4.204	-0.790	0.000
¹² C ¹⁴ N	4125.446	1.377	-0.793	7.724
Ti I	4125.452	2.101	-6.220	0.000
¹² C ¹⁴ N	4125.459	1.562	-3.826	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.466	1.484	-1.004	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.475	1.377	-3.910	7.724
Cr I	4125.487	3.008	-2.180	0.000
¹² CH	4125.487	1.657	-2.105	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4125.508	1.938	-1.105	7.724
Cr I	4125.514	3.108	-9.590	0.000
¹² CH	4125.517	1.657	-2.157	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4125.518	1.484	-1.032	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.522	1.938	-3.739	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.534	1.484	-3.667	7.724
¹² CH	4125.541	1.657	-4.220	3.464
Cr I	4125.557	2.980	-2.290	0.000
Ca I	4125.561	4.677	-4.460	0.000
Nb I	4125.568	0.267	-1.860	0.000
Fe I	4125.620	4.217	-0.490	0.000
¹³ CH	4125.668	1.285	-5.847	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4125.689	1.697	-1.123	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.717	1.697	-1.159	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4125.719	1.148	-0.735	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.730	1.697	-3.596	7.724
Ti I	4125.745	2.248	-1.610	0.000
Ce II	4125.773	0.459	-1.170	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4125.778	1.148	-0.750	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.790	2.042	-0.919	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.791	2.042	-0.936	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.810	1.148	-3.962	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.814	2.042	-3.946	7.724
Mn I	4125.815	5.083	-0.750	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4125.828	1.298	-0.855	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.856	1.298	-0.876	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.862	1.777	-0.946	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.864	0.960	-0.850	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.871	1.298	-3.806	7.724
V I	4125.878	1.954	-2.300	0.000
Fe I	4125.880	2.843	-1.940	0.000
¹² CH	4125.888	0.898	-4.293	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4125.899	2.231	-0.953	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.916	1.777	-0.969	7.724
¹² C ¹⁴ N	4125.936	1.777	-3.811	7.724
Gd I	4125.940	1.053	-0.340	0.000
¹² C ¹⁴ N	4125.940	0.960	-0.858	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4125.946	2.231	-0.970	7.724
¹² CH	4125.959	1.650	-2.846	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4125.969	2.231	-4.017	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.008	0.960	-4.634	7.724
¹² CH	4126.012	1.650	-4.969	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4126.029	0.465	-4.297	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.078	1.018	-0.684	7.724
Cr I	4126.086	2.707	-5.510	0.000
Dy I	4126.086	1.597	0.550	0.000
¹² CH	4126.096	1.641	-8.613	3.464
Fe I	4126.104	4.442	-3.830	0.000
¹² CH	4126.124	1.650	-2.955	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.137	2.385	-0.857	7.724
¹² CH	4126.139	1.271	-5.966	3.464
¹² CH	4126.145	1.641	-4.896	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4126.150	1.933	-1.105	7.724
¹² CH	4126.153	1.271	-7.706	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.154	1.018	-0.692	7.724
¹³ CH	4126.156	1.562	-6.779	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.177	2.385	-0.868	7.724
Fe I	4126.183	3.329	-0.960	0.000
Ca I	4126.186	4.677	-3.310	0.000
¹² C ¹⁴ N	4126.208	2.385	-4.191	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.211	1.018	-4.338	7.724
Fe I	4126.244	4.140	-1.980	0.000
V I	4126.263	2.580	-2.800	0.000
¹² CH	4126.266	1.641	-4.832	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4126.283	1.933	-1.135	7.724
Cr I	4126.292	4.204	-2.800	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4126.295	1.933	-3.709	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.343	1.478	-1.032	7.724
Ce II	4126.348	0.808	-0.730	0.000
¹² C ¹⁴ N	4126.353	1.553	-0.895	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4126.392	1.478	-1.063	7.724
Cr I	4126.396	4.204	-1.530	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4126.407	1.478	-3.637	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.460	1.553	-0.917	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.469	1.692	-1.159	7.724
Nd II	4126.470	0.204	-1.550	0.000
¹² C ¹⁴ N	4126.482	1.553	-3.804	7.724
¹³ CH	4126.488	1.641	-4.928	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4126.495	1.692	-1.198	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.506	1.692	-3.558	7.724
Cr I	4126.512	2.542	-0.650	0.000
¹³ CH	4126.515	1.641	-2.954	3.464
Mo I	4126.524	3.387	-0.790	0.000
¹³ CH	4126.531	1.641	-2.844	3.464
Sc I	4126.551	2.318	-0.920	0.000
¹² C ¹⁴ N	4126.584	1.366	-0.793	7.724
¹³ CH	4126.603	1.391	-2.989	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.633	1.366	-0.810	7.724
Ce II	4126.652	0.553	-0.950	0.000
¹³ CH	4126.653	1.391	-4.309	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.661	1.366	-3.892	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.661	2.033	-0.936	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.662	2.033	-0.955	7.724
Cr I	4126.663	4.528	-3.910	0.000
¹³ CH	4126.667	0.894	-4.292	3.464
¹³ CH	4126.678	1.523	-2.202	3.464
¹³ CH	4126.679	1.523	-4.173	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.684	2.033	-3.926	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4126.684	2.221	-0.970	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.733	2.221	-0.987	7.724
Mn I	4126.748	2.918	-3.900	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4126.754	2.221	-3.997	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.786	1.770	-0.969	7.724
W I	4126.799	2.385	-0.160	0.000
¹³ CH	4126.800	1.523	-2.139	3.464
¹³ CH	4126.800	1.523	-4.401	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.838	1.770	-0.992	7.724
¹³ CH	4126.843	1.391	-2.923	3.464
Fe I	4126.852	2.843	-2.540	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4126.856	1.289	-0.876	7.724
¹² C ¹⁴ N	4126.857	1.770	-3.787	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.882	1.289	-0.897	7.724
¹³ CH	4126.884	1.286	-5.889	3.464
Mn I	4126.886	4.350	-4.320	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4126.903	1.289	-3.785	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.904	1.927	-1.135	7.724
Cr I	4126.917	2.708	-2.170	0.000
¹² CH	4126.943	1.368	-3.071	3.464
¹³ CH	4126.968	0.462	-4.297	3.464
¹² C ¹⁴ N	4126.985	2.372	-0.868	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4126.987	1.136	-0.750	7.724
¹² CH	4126.988	1.208	-9.287	3.464
¹² CH	4126.988	1.368	-4.290	3.464
¹² CH	4127.029	0.844	-1.403	3.464
¹² C ¹⁴ N	4127.032	2.372	-0.879	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4127.045	1.136	-0.765	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4127.046	1.927	-1.168	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4127.055	1.927	-3.676	7.724
Cr II	4127.057	5.666	-1.770	0.000
¹² C ¹⁴ N	4127.062	2.372	-4.175	7.724
¹² CH	4127.070	1.208	-5.818	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4127.076	1.136	-3.946	7.724
Ti I	4127.086	1.459	-0.560	0.000
Ce II	4127.099	0.736	-1.140	0.000
¹² CH	4127.101	0.844	-6.366	3.464
¹³ CH	4127.103	1.391	-2.989	3.464
¹² CH	4127.137	1.208	-5.765	3.464
¹³ CH	4127.153	1.391	-4.326	3.464
¹² CH	4127.174	0.844	-1.443	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4127.200	1.473	-1.063	7.724
¹² CH	4127.210	1.368	-3.001	3.464
¹² CH	4127.220	1.208	-8.819	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4127.233	1.688	-1.198	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4127.248	1.473	-1.096	7.724
Cr I	4127.252	2.543	-2.950	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.257	1.688	-1.242	7.724
Eu I	4127.261	1.992	0.280	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.261	1.473	-3.605	7.724
V II	4127.263	6.465	-3.680	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.267	1.688	-3.516	7.724
Cr I	4127.296	4.102	0.010	0.000
¹³ CH	4127.301	1.391	-2.923	3.464
¹² CH	4127.305	1.265	-6.171	3.464
¹² CH	4127.305	1.666	-8.594	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4127.313	1.265	-7.374	3.464
¹² CH	4127.330	1.782	-5.260	3.464
¹² CH	4127.351	1.368	-3.070	3.464
¹² C ¹⁴ N	4127.353	1.545	-0.917	7.724
¹² CH	4127.360	1.666	-4.831	3.464
Ce II	4127.364	0.683	0.310	0.000
V I	4127.372	2.377	-4.320	0.000
¹² CH	4127.372	1.782	-9.902	3.464
¹² CH	4127.397	1.368	-4.305	3.464
Ru I	4127.435	0.259	-1.760	0.000
Ni I	4127.439	4.263	-1.490	0.000
¹² CH	4127.446	1.666	-4.768	3.464
Nb I	4127.455	2.096	-0.070	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.463	2.212	-0.987	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.465	1.545	-0.939	7.724
¹² CH	4127.484	1.483	-4.696	3.464
¹² C ¹⁴ N	4127.487	1.545	-3.782	7.724
Fe I	4127.489	3.271	-6.540	0.000
¹² CH	4127.498	1.782	-5.321	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4127.513	2.212	-1.006	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.523	2.024	-0.955	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.524	2.024	-0.975	7.724
Ti I	4127.531	2.693	-1.050	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.532	2.212	-3.977	7.724
¹² CH	4127.542	1.483	-2.877	3.464
¹² C ¹⁴ N	4127.545	2.024	-3.905	7.724
¹³ CH	4127.571	1.261	-6.046	3.464
¹² CH	4127.575	1.483	-2.804	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4127.578	1.369	-3.001	3.464
¹² CH	4127.592	0.466	-4.246	3.464
Fe I	4127.608	2.856	-0.990	0.000
Cr I	4127.635	2.708	-3.500	0.000
¹³ CH	4127.642	1.524	-4.190	3.464
¹³ CH	4127.643	1.524	-2.202	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4127.645	1.922	-1.168	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.695	1.762	-0.992	7.724
V I	4127.701	1.941	-1.190	0.000
¹³ CH	4127.703	1.524	-2.139	3.464
Gd II	4127.704	1.583	-0.710	0.000
¹³ CH	4127.704	1.524	-4.387	3.464
Fe I	4127.737	4.442	-4.070	0.000
¹² C ¹⁴ N	4127.746	1.762	-1.017	7.724
Cr I	4127.748	4.529	-3.210	0.000
Ce II	4127.748	0.559	-0.340	0.000
¹² C ¹⁴ N	4127.752	1.356	-0.810	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.762	1.762	-3.762	7.724
Fe I	4127.784	3.281	-1.610	0.000
Hf II	4127.789	1.779	-0.660	0.000
Mn I	4127.793	4.357	-2.120	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.795	1.922	-1.204	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.801	1.356	-0.827	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4127.802	1.922	-3.641	7.724
Fe I	4127.813	3.412	-1.280	0.000
¹² C ¹⁴ N	4127.827	1.356	-3.874	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.831	2.358	-0.879	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4127.869	1.281	-0.897	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Ru I	4127.871	1.732	-0.910	0.000
Ta I	4127.880	0.491	-1.850	0.000
¹² C ¹⁴ N	4127.883	2.358	-0.891	7.724
Fe I	4127.886	3.692	-4.690	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.895	1.281	-0.920	7.724
¹³ CH	4127.909	1.698	-4.789	3.464
¹² C ¹⁴ N	4127.913	2.358	-4.160	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4127.916	1.281	-3.762	7.724
Ir I	4127.922	1.727	-1.990	0.000
Mn II	4127.943	6.128	-4.120	0.000
Fe I	4127.943	4.368	-2.210	0.000
¹³ CH	4127.950	1.698	-4.862	3.464
Zr I	4127.970	0.519	-1.490	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4127.980	1.684	-1.242	7.724
¹² C ¹⁴ N	4127.996	0.996	-0.692	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.003	1.684	-1.290	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.012	1.684	-3.470	7.724
Ti I	4128.036	2.266	-6.700	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.040	1.468	-1.096	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.060	0.935	-0.858	7.724
Ce II	4128.061	0.445	-0.620	0.000
V I	4128.064	0.275	-0.130	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.071	0.996	-0.701	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.084	1.468	-1.132	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.097	1.468	-3.569	7.724
Cr I	4128.100	2.706	-2.850	0.000
Sm II	4128.110	0.104	-2.350	0.000
Mn I	4128.118	4.255	-0.710	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Nd II	4128.120	0.559	-1.410	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.126	0.996	-4.329	7.724
Mn II	4128.129	1.775	-2.860	0.000
V I	4128.135	3.275	-4.600	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.137	0.935	-0.866	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.203	0.935	-4.627	7.724
¹³ CH	4128.210	1.395	-9.306	3.464
Ti I	4128.219	2.173	-4.350	0.000
¹² CH	4128.219	1.694	-8.574	3.464
V II	4128.226	2.898	-3.530	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.233	1.124	-0.765	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.236	2.204	-1.006	7.724
Dy II	4128.240	0.930	-0.790	0.000
Mn II	4128.275	6.900	-6.170	0.000
¹² CH	4128.280	1.694	-4.767	3.464
Mo I	4128.282	2.075	-1.420	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.285	2.204	-1.025	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.290	1.124	-0.781	7.724
¹² CH	4128.291	1.324	-5.236	3.464
Y I	4128.299	0.066	0.380	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.303	2.204	-3.955	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.320	1.124	-3.930	7.724
Mn I	4128.325	4.341	-1.060	0.000
U II	4128.334	0.548	-0.800	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.334	1.537	-0.939	7.724
¹² CH	4128.335	1.694	-4.706	3.464
Si I	4128.360	4.129	-4.640	0.000
Ce II	4128.360	0.932	-0.280	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4128.363	1.698	-9.085	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4128.369	1.918	-1.204	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.377	2.015	-0.975	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.378	2.015	-0.995	7.724
Gd II	4128.380	0.382	-2.100	0.000
Mn II	4128.383	5.393	-4.300	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.398	2.015	-3.883	7.724
Cr I	4128.409	4.096	-0.170	0.000
¹² CH	4128.444	1.289	-5.847	3.464
¹² C ¹⁴ N	4128.452	1.537	-0.963	7.724
Fe I	4128.466	4.280	-3.860	0.000
Cr I	4128.467	3.011	-2.450	0.000
¹² CH	4128.467	1.755	-9.014	3.464
¹² CH	4128.468	1.755	-4.717	3.464
¹² C ¹⁴ N	4128.473	1.537	-3.758	7.724
¹³ CH	4128.513	0.463	-4.246	3.464
Ti I	4128.514	2.406	-5.810	0.000
¹² CH	4128.523	1.491	-4.169	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4128.532	1.918	-1.243	7.724
¹² CH	4128.534	1.324	-5.254	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4128.534	1.918	-3.603	7.724
¹² CH	4128.537	1.491	-2.264	3.464
Fe I	4128.539	3.692	-5.700	0.000
¹² CH	4128.566	1.755	-4.788	3.464
Cr I	4128.587	4.102	-1.450	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.588	1.755	-1.017	7.724
Mn II	4128.615	5.414	-4.510	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.635	1.755	-1.044	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² C ¹⁴ N	4128.652	1.755	-3.735	7.724
¹² CH	4128.664	1.491	-2.199	3.464
¹² C ¹⁴ N	4128.673	2.346	-0.891	7.724
¹² CH	4128.678	1.491	-4.395	3.464
Nd II	4128.708	0.680	-0.920	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.711	1.681	-1.290	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.730	2.346	-0.903	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.732	1.681	-1.344	7.724
Fe II	4128.735	2.583	-3.600	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.740	1.681	-3.419	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.758	2.346	-4.143	7.724
V I	4128.851	1.941	-0.350	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.862	1.273	-0.920	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.862	1.463	-1.132	7.724
¹² CH	4128.864	1.725	-8.550	3.464
Cr I	4128.868	4.204	-4.110	0.000
Mn II	4128.874	1.808	-5.550	0.000
Sc I	4128.875	3.055	-3.300	0.000
Rh I	4128.886	0.965	-0.450	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4128.890	1.273	-0.943	7.724
¹² C ¹⁴ N	4128.900	1.345	-0.827	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.903	1.463	-1.172	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.909	1.273	-3.739	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4128.914	1.463	-3.531	7.724
¹² CH	4128.931	1.263	-6.625	3.464
¹² CH	4128.932	1.725	-4.705	3.464
V II	4128.935	6.334	-1.360	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.947	1.345	-0.846	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Os I	4128.957	0.515	-2.350	0.000
¹² CH	4128.959	1.725	-4.645	3.464
Ti I	4128.971	2.091	-5.860	0.000
Cr I	4128.973	4.204	-2.600	0.000
¹² C ¹⁴ N	4128.973	1.345	-3.856	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.000	2.196	-1.025	7.724
¹³ CH	4129.020	1.012	-6.811	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4129.048	2.196	-1.046	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.066	2.196	-3.933	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.077	1.913	-1.243	7.724
Dy I	4129.118	1.354	0.670	0.000
¹² CH	4129.124	1.855	-1.144	3.464
Fe I	4129.125	4.100	-3.400	0.000
Pr II	4129.147	1.038	-0.010	0.000
Ti II	4129.159	1.891	-1.400	0.000
Cr I	4129.159	3.011	-1.950	0.000
Ti I	4129.166	2.316	-0.230	0.000
Ce II	4129.174	0.740	-0.780	0.000
Cr I	4129.184	2.911	-1.370	0.000
Fe I	4129.194	3.414	-2.030	0.000
¹² CH	4129.212	1.403	-9.305	3.464
Sm II	4129.220	0.248	-1.400	0.000
V II	4129.235	6.286	-1.570	0.000
¹³ CH	4129.237	1.013	-9.595	3.464
¹³ CH	4129.239	1.845	-9.373	3.464
¹² C ¹⁴ N	4129.242	2.007	-3.860	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.253	1.913	-3.561	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.256	1.913	-1.286	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4129.257	1.855	-1.145	3.464
¹² CH	4129.274	1.484	-4.726	3.464
¹² CH	4129.275	1.758	-8.524	3.464
¹² CH	4129.278	1.484	-2.804	3.464
¹³ CH	4129.287	1.643	-2.845	3.464
¹² C ¹⁴ N	4129.293	1.529	-0.963	7.724
¹² C ¹⁴ N	4129.293	2.007	-0.996	7.724
¹³ CH	4129.294	1.359	-7.214	3.464
¹² C ¹⁴ N	4129.311	2.007	-1.017	7.724
¹² CH	4129.315	1.855	-3.811	3.464
¹² CH	4129.332	1.484	-2.877	3.464
¹² CH	4129.350	1.758	-4.644	3.464
¹² CH	4129.352	1.758	-4.586	3.464
¹² CH	4129.373	1.491	-4.184	3.464
¹³ CH	4129.374	1.845	-1.145	3.464
¹³ CH	4129.375	1.643	-4.969	3.464
¹³ CH	4129.385	1.013	-6.713	3.464
¹² CH	4129.387	1.491	-2.264	3.464
¹³ CH	4129.396	1.845	-3.811	3.464
Dy II	4129.420	0.540	-0.610	0.000
¹² C ¹⁴ N	4129.420	1.529	-0.988	7.724
Nb I	4129.426	0.086	-0.780	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.426	1.678	-1.344	7.724
¹² C ¹⁴ N	4129.439	1.529	-3.733	7.724
Ta I	4129.442	0.249	-1.600	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.445	1.678	-1.407	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.452	1.678	-3.360	7.724
¹² CH	4129.456	1.491	-2.199	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4129.458	1.113	-0.781	7.724
Fe I	4129.460	3.394	-1.970	0.000
¹² C ¹⁴ N	4129.465	1.749	-1.044	7.724
¹² CH	4129.469	1.491	-4.382	3.464
¹² CH	4129.495	1.794	-8.493	3.464
¹² C ¹⁴ N	4129.510	1.749	-1.072	7.724
¹² C ¹⁴ N	4129.511	2.333	-0.903	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.514	1.113	-0.797	7.724
Fe I	4129.524	4.412	-4.100	0.000
¹² C ¹⁴ N	4129.526	1.749	-3.707	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.542	1.113	-3.914	7.724
¹² CH	4129.551	1.855	-9.373	3.464
¹³ CH	4129.552	1.168	-8.803	3.464
¹² CH	4129.555	1.794	-4.528	3.464
¹² CH	4129.564	1.916	-8.382	3.464
¹² CH	4129.572	1.873	-8.422	3.464
¹² C ¹⁴ N	4129.572	2.333	-0.916	7.724
¹² CH	4129.573	1.832	-8.459	3.464
¹² CH	4129.576	1.794	-4.585	3.464
¹² CH	4129.584	1.916	-4.362	3.464
¹³ CH	4129.586	1.643	-2.954	3.464
¹⁵¹ Eu II	4129.597	0.000	-1.512	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.600	0.000	-1.035	0.000
¹² C ¹⁴ N	4129.600	2.333	-4.127	7.724
¹² CH	4129.604	1.873	-4.416	3.464
¹² CH	4129.609	1.290	-5.888	3.464
¹⁵¹ Eu II	4129.614	0.000	-1.316	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.618	0.000	-0.977	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4129.619	1.832	-4.471	3.464
¹⁵¹ Eu II	4129.622	0.000	-1.512	0.000
¹² CH	4129.635	1.962	-8.340	3.464
¹⁵¹ Eu II	4129.639	0.000	-1.257	0.000
Ti I	4129.643	2.238	-1.990	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.644	0.000	-0.847	0.000
¹² CH	4129.644	1.962	-4.311	3.464
¹⁵¹ Eu II	4129.649	0.000	-1.316	0.000
Ti I	4129.657	2.776	-2.300	0.000
¹² CH	4129.661	1.832	-4.527	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4129.662	1.459	-1.172	7.724
¹² CH	4129.665	1.916	-4.415	3.464
¹² CH	4129.666	1.873	-4.470	3.464
¹⁵¹ Eu II	4129.672	0.000	-1.294	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.677	0.000	-1.513	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.678	0.000	-0.696	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.680	0.000	-1.035	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.684	0.000	-1.257	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.684	0.000	-1.316	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.687	0.000	-0.977	0.000
¹³ CH	4129.688	1.168	-5.874	3.464
¹⁵³ Eu II	4129.690	0.000	-1.513	0.000
Fe I	4129.692	3.249	-6.310	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.694	0.000	-1.257	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.697	0.000	-0.847	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.701	0.000	-1.316	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.701	1.459	-1.215	7.724
¹⁵³ Eu II	4129.709	0.000	-1.294	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹⁵³ Eu II	4129.712	0.000	-0.697	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.712	1.459	-3.490	7.724
¹⁵¹ Eu II	4129.713	0.000	-1.480	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.715	0.000	-1.257	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.720	0.000	-0.545	0.000
Ti I	4129.724	2.425	-5.580	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.726	0.000	-1.294	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.730	0.000	-0.545	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.730	0.000	-1.480	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.733	0.000	-1.294	0.000
¹² CH	4129.742	1.962	-4.362	3.464
Sc I	4129.752	2.008	-2.860	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.755	0.000	-0.401	0.000
¹⁵³ Eu II	4129.756	0.000	-1.480	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.757	2.188	-1.046	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.765	1.910	-1.286	7.724
¹⁵¹ Eu II	4129.770	0.000	-0.401	0.000
¹⁵¹ Eu II	4129.777	0.000	-1.480	0.000
(Fe I) [†]	4129.780	0.000	-6.000	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.804	2.188	-1.067	7.724
Co I	4129.817	3.809	-1.810	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.822	2.188	-3.910	7.724
¹³ CH	4129.826	1.842	-1.146	3.464
¹³ CH	4129.830	1.168	-5.819	3.464
(Fe I) [†]	4129.830	0.000	-6.000	0.000
Nd II	4129.837	2.023	0.180	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4129.839	1.266	-0.943	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.865	1.266	-0.969	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4129.883	2.010	-4.262	3.464
¹² CH	4129.884	2.010	-8.296	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4129.884	1.266	-3.714	7.724
¹² C ¹⁴ N	4129.890	0.975	-0.702	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4129.958	1.910	-3.515	7.724
(Fe I) [†]	4129.960	1.500	-4.500	0.000
¹² C ¹⁴ N	4129.964	0.975	-0.711	7.724
¹³ CH	4129.966	1.168	-9.256	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4129.967	1.910	-1.334	7.724
Sm I	4129.977	0.036	-2.140	0.000
¹² CH	4129.981	1.314	-6.445	3.464
V I	4129.994	2.255	-1.770	0.000
¹² CH	4129.997	2.010	-4.310	3.464
Fe I	4130.010	4.368	-3.970	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.019	0.975	-4.320	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.027	1.336	-0.846	7.724
Fe I	4130.030	1.500	-3.900	0.000
Fe I	4130.036	3.109	-2.770	0.000
Fe I	4130.037	1.556	-4.510	0.000
Cr I	4130.061	2.911	-1.970	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.073	1.336	-0.865	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.076	1.999	-3.836	7.724
Fe I	4130.080	3.692	-3.940	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.098	1.336	-3.836	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.101	1.999	-1.017	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.101	1.999	-1.041	7.724
Ca I	4130.112	5.957	-4.530	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4130.125	1.675	-1.407	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
V I	4130.136	1.217	-3.140	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4130.141	1.675	-1.480	7.724
¹³ CH	4130.142	1.309	-6.445	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4130.147	1.675	-3.292	7.724
¹³ CH	4130.176	1.266	-6.020	3.464
¹³ CH	4130.208	1.266	-9.724	3.464
¹² C ¹⁴ N	4130.228	1.522	-0.988	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.233	0.911	-0.866	7.724
Mn I	4130.249	2.918	-3.310	0.000
¹² CH	4130.265	1.366	-7.214	3.464
Cr I	4130.292	3.110	-3.220	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.309	0.911	-0.874	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.326	1.743	-1.072	7.724
Th I	4130.340	1.919	0.180	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.345	2.321	-0.916	7.724
Dy I	4130.351	0.000	-1.100	0.000
V I	4130.358	2.267	-0.610	0.000
Gd II	4130.366	0.731	0.140	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.369	1.522	-1.015	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.369	1.742	-1.103	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.374	0.911	-4.619	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.384	1.743	-3.676	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.387	1.522	-3.706	7.724
Fe I	4130.395	4.412	-2.930	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.409	2.321	-0.930	7.724
¹² CH	4130.417	2.060	-4.215	3.464
¹² CH	4130.427	2.060	-8.251	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4130.432	1.906	-1.334	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² C ¹⁴ N	4130.436	2.321	-4.110	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.447	1.455	-1.215	7.724
Cr I	4130.458	2.911	-2.750	0.000
¹² CH	4130.473	1.761	-1.144	3.464
¹² CH	4130.474	2.165	-9.528	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4130.481	1.455	-1.263	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.490	1.455	-3.444	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.507	2.180	-1.067	7.724
Ni I	4130.518	3.655	-2.700	0.000
Co I	4130.520	0.513	-2.250	0.000
¹² CH	4130.547	2.060	-4.261	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4130.553	2.180	-1.090	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.570	2.180	-3.885	7.724
¹² CH	4130.603	1.761	-1.146	3.464
Ba II	4130.645	2.720	0.680	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4130.649	1.906	-3.463	7.724
¹² CH	4130.654	1.567	-6.778	3.464
¹² CH	4130.660	1.761	-3.795	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4130.662	1.102	-0.797	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.663	1.906	-1.389	7.724
¹³ CH	4130.681	1.341	-5.240	3.464
Ce II	4130.705	0.560	-0.200	0.000
Nd II	4130.715	1.490	-0.350	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4130.716	1.102	-0.814	7.724
¹³ CH	4130.740	1.751	-1.144	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4130.743	1.102	-3.897	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.792	1.259	-0.969	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.807	1.673	-1.480	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Co I	4130.810	3.684	-3.330	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4130.821	1.259	-0.996	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.821	1.673	-1.569	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.826	1.673	-3.212	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4130.838	1.259	-3.687	7.724
Ce II	4130.868	0.739	-0.440	0.000
¹³ CH	4130.872	1.751	-1.146	3.464
Co II	4130.885	3.116	-3.720	0.000
¹² C ¹⁴ N	4130.893	1.992	-1.041	7.724
¹³ CH	4130.896	1.751	-3.795	3.464
¹² C ¹⁴ N	4130.900	1.992	-3.810	7.724
¹² C ¹⁴ N	4130.909	1.992	-1.065	7.724
Ca I	4130.930	5.923	-5.130	0.000
Ca I	4130.934	5.827	-4.770	0.000
¹³ CH	4130.998	1.341	-5.261	3.464
Th I	4131.002	0.966	-0.460	0.000
¹³ CH	4131.006	1.266	-5.993	3.464
Dy II	4131.030	1.460	-0.760	0.000
¹³ CH	4131.070	0.976	-8.518	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4131.072	1.903	-1.389	7.724
Ce II	4131.094	1.089	-0.320	0.000
Ce II	4131.096	0.327	-0.530	0.000
Mn I	4131.102	4.229	0.100	0.000
¹² C ¹⁴ N	4131.133	1.326	-0.865	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.133	1.516	-1.015	7.724
¹³ CH	4131.158	1.650	-4.862	3.464
Ni I	4131.160	4.161	-1.440	0.000
Fe II	4131.165	5.952	-4.160	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
V I	4131.166	0.267	-2.690	0.000
¹² C ¹⁴ N	4131.172	1.737	-1.103	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.174	2.310	-0.930	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.179	1.326	-0.885	7.724
¹³ CH	4131.186	1.651	-4.936	3.464
¹² C ¹⁴ N	4131.202	1.326	-3.816	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.209	1.452	-1.263	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.212	1.737	-1.136	7.724
¹³ CH	4131.215	1.710	-5.323	3.464
¹² C ¹⁴ N	4131.226	1.737	-3.644	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.241	2.310	-0.944	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.245	1.452	-1.318	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.245	2.173	-1.091	7.724
Ti I	4131.248	2.295	-0.610	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4131.250	1.452	-3.392	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.267	2.310	-4.093	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.294	2.173	-1.115	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.299	1.516	-1.043	7.724
¹³ CH	4131.306	1.710	-5.381	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4131.309	2.173	-3.860	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.315	1.516	-3.678	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.325	1.903	-3.404	7.724
Ti I	4131.329	2.229	-2.600	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4131.345	1.903	-1.451	7.724
Cr I	4131.357	3.842	-2.290	0.000
¹² CH	4131.380	2.112	-4.172	3.464
¹² CH	4131.399	2.112	-8.205	3.464
Ca I	4131.420	5.581	-4.430	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Th II	4131.427	1.038	-1.250	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.472	1.671	-1.569	7.724
Gd II	4131.473	1.405	-0.100	0.000
Mn I	4131.484	3.376	-1.800	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.484	1.671	-1.681	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.488	1.671	-3.112	7.724
Er I	4131.506	0.862	0.560	0.000
Nb I	4131.519	1.504	-0.660	0.000
^{12}CH	4131.525	2.112	-4.215	3.464
^{13}CH	4131.568	1.651	-9.154	3.464
Ca I	4131.580	5.828	-3.320	0.000
Ca I	4131.650	5.581	-3.390	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.681	1.901	-1.451	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.698	1.985	-1.065	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.711	1.985	-1.092	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.714	1.985	-3.783	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.732	1.253	-0.996	7.724
Ni II	4131.735	6.468	-7.250	0.000
Fe I	4131.746	4.214	-1.850	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.757	1.253	-1.024	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.761	0.955	-0.711	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.772	1.253	-3.659	7.724
V I	4131.805	1.944	-1.030	0.000
V II	4131.809	4.700	-2.860	0.000
Mn I	4131.814	4.357	-1.910	0.000
Ca I	4131.821	6.030	-5.530	0.000
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.834	0.955	-0.720	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4131.843	1.092	-0.814	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Ce II	4131.855	0.811	-1.310	0.000
Ca I	4131.860	6.030	-4.200	0.000
¹² C ¹⁴ N	4131.888	0.955	-4.310	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.896	1.092	-0.832	7.724
¹² CH	4131.916	1.265	-6.045	3.464
Mo I	4131.917	3.154	-0.360	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4131.922	1.092	-3.879	7.724
Fe I	4131.935	3.414	-1.640	0.000
¹³ CH	4131.944	1.710	-9.986	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4131.954	1.449	-1.318	7.724
Fe I	4131.971	3.263	-1.450	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4131.983	1.449	-1.380	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.983	2.167	-1.115	7.724
Ca I	4131.986	5.923	-2.480	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4131.988	1.901	-3.336	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4131.990	1.449	-3.333	7.724
V I	4131.991	0.286	-0.090	0.000
V I	4131.997	1.217	-2.580	0.000
¹² C ¹⁴ N	4131.997	1.509	-1.043	7.724
¹² C ¹⁴ N	4131.998	2.299	-0.944	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.000	1.732	-1.136	7.724
U I	4132.010	0.530	-0.390	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.012	1.901	-1.524	7.724
Mo I	4132.026	2.913	-1.390	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.027	2.167	-1.141	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.039	1.732	-1.171	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.040	2.167	-3.833	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.051	1.732	-3.609	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Fe I	4132.058	1.607	-0.680	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.068	2.299	-0.959	7.724
¹² CH	4132.081	0.840	-4.324	3.464
¹² CH	4132.083	1.705	-9.085	3.464
¹² C ¹⁴ N	4132.092	2.299	-4.075	7.724
¹² CH	4132.095	1.705	-4.789	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4132.124	1.670	-1.681	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.124	1.670	-1.836	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.133	1.670	-2.982	7.724
Co I	4132.145	1.048	-2.690	0.000
Cr I	4132.159	3.077	-1.980	0.000
Li I	4132.169	1.846	-6.120	0.000
¹² CH	4132.177	1.705	-4.861	3.464
Pr II	4132.193	0.204	-1.000	0.000
¹² CH	4132.200	1.316	-6.502	3.464
Co I	4132.202	3.565	-2.750	0.000
W I	4132.207	2.456	-0.540	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.211	1.509	-1.074	7.724
Cr I	4132.217	3.119	-2.900	0.000
Sc I	4132.219	2.000	-2.870	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.219	1.317	-0.886	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.225	1.509	-3.647	7.724
Mo I	4132.232	2.258	-1.520	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.254	1.899	-1.524	7.724
Gd II	4132.260	0.601	-0.150	0.000
¹³ CH	4132.262	0.556	-1.919	3.464
¹² C ¹⁴ N	4132.263	1.317	-0.907	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.286	1.317	-3.794	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
Mn I	4132.301	5.516	-0.410	0.000
¹³ CH	4132.302	0.556	-7.212	3.464
Ce II	4132.315	0.708	-0.680	0.000
¹³ CH	4132.349	1.311	-6.502	3.464
Fe I	4132.353	3.684	-3.730	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.382	0.887	-0.874	7.724
Cr II	4132.411	3.755	-2.480	0.000
Ba I	4132.423	0.000	-2.000	0.000
Ca I	4132.427	6.031	-1.650	0.000
¹² CH	4132.457	1.668	-1.146	3.464
¹² C ¹⁴ N	4132.457	0.887	-0.882	7.724
¹³ CH	4132.484	0.556	-1.918	3.464
V I	4132.487	2.682	-3.760	0.000
Ti I	4132.491	2.287	-3.000	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.505	1.978	-1.092	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.505	1.978	-1.120	7.724
¹³ CH	4132.507	1.362	-7.283	3.464
¹² C ¹⁴ N	4132.518	1.978	-3.755	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.521	0.887	-4.612	7.724
Ca I	4132.525	2.930	-1.580	0.000
Fe I	4132.533	4.253	-0.730	0.000
Ti I	4132.550	2.693	-0.910	0.000
Nd II	4132.550	0.471	-1.090	0.000
Li I	4132.562	1.846	-1.040	0.000
¹² CH	4132.582	1.668	-1.149	3.464
Li I	4132.618	1.846	-0.780	0.000
Li I	4132.619	1.846	-1.740	0.000
Ce II	4132.626	0.822	-0.740	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4132.636	1.899	-3.256	7.724
¹² CH	4132.639	1.668	-3.778	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4132.643	0.811	-0.890	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.647	1.247	-1.024	7.724
Fe I	4132.652	4.073	-3.900	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.662	1.899	-1.613	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.672	1.247	-1.055	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.677	1.446	-1.380	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.686	1.247	-3.629	7.724
Tm II	4132.692	2.419	-0.130	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.703	0.811	-4.587	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.706	1.446	-1.454	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.706	2.161	-1.141	7.724
Fe I	4132.711	4.151	-1.930	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.711	1.446	-3.266	7.724
Er II	4132.721	0.891	-2.320	0.000
Th II	4132.753	1.203	-0.600	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4132.755	1.669	-1.836	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.755	1.669	-2.091	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.755	2.161	-1.169	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.757	1.504	-1.074	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.762	1.669	-2.790	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.763	2.161	-3.804	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4132.799	1.897	-1.613	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.813	1.727	-1.172	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.816	2.288	-0.959	7.724
Dy II	4132.840	1.650	-0.810	0.000
¹³ CH	4132.842	1.659	-1.146	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² C ¹⁴ N	4132.849	1.727	-1.211	7.724
¹² C ¹⁴ N	4132.860	1.727	-3.570	7.724
¹³ CH	4132.864	0.836	-4.324	3.464
V I	4132.882	1.063	-2.280	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.888	2.288	-0.974	7.724
Fe I	4132.899	2.843	-0.920	0.000
¹² C ¹⁴ N	4132.912	2.288	-4.056	7.724
¹³ CH	4132.922	1.576	-6.902	3.464
¹² CH	4132.925	2.166	-4.132	3.464
Fe I	4132.943	1.607	-5.310	0.000
¹² CH	4132.952	2.166	-8.159	3.464
¹³ CH	4132.969	1.659	-1.149	3.464
Sc I	4132.981	1.942	0.190	0.000
¹² CH	4132.994	1.016	-6.810	3.464
¹³ CH	4132.996	1.659	-3.778	3.464
Ti I	4133.002	2.235	-6.500	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4133.003	1.082	-0.832	7.724
Mo I	4133.008	2.834	-1.520	0.000
Mn I	4133.039	4.662	-3.140	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4133.054	1.082	-0.851	7.724
V I	4133.066	1.868	-3.440	0.000
V I	4133.075	2.364	-4.120	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4133.079	1.082	-3.860	7.724
¹² CH	4133.085	2.166	-4.172	3.464
¹² C ¹⁴ N	4133.102	1.504	-1.107	7.724
¹³ CH	4133.106	0.914	-4.937	3.464
¹² C ¹⁴ N	4133.116	1.504	-3.615	7.724
¹³ CH	4133.166	1.748	-2.068	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D_0 (eV)
Sm II	4133.170	0.248	-1.670	0.000
U II	4133.201	0.717	-1.090	0.000
^{13}CH	4133.201	1.748	-2.023	3.464
^{13}CH	4133.242	1.748	-4.239	3.464
Cr I	4133.252	3.814	-2.210	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.270	1.897	-3.156	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.284	1.309	-0.907	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.289	1.897	-1.725	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.296	1.972	-1.120	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.296	1.972	-1.150	7.724
^{12}CH	4133.303	1.016	-6.712	3.464
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.310	1.972	-3.724	7.724
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.327	1.309	-0.929	7.724
^{12}CH	4133.348	1.016	-9.594	3.464
$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.348	1.309	-3.772	7.724
Nd II	4133.350	0.320	-0.490	0.000
Dy II	4133.353	1.528	-0.310	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.370	1.669	-2.091	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.374	1.669	-2.392	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.386	1.444	-1.454	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.407	1.444	-1.542	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.412	1.444	-3.185	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.424	2.155	-1.169	7.724
Re I	4133.425	2.020	-0.620	0.000
Co I	4133.435	2.875	-2.540	0.000
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.464	2.155	-1.200	7.724
$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	4133.477	2.155	-3.773	7.724
W I	4133.481	2.420	-0.320	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
U I	4133.491	0.000	-0.760	0.000
¹³ CH	4133.521	1.275	-5.982	3.464
¹² CH	4133.522	1.368	-7.283	3.464
¹² CH	4133.531	1.172	-9.256	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4133.543	1.241	-1.055	7.724
Cr I	4133.555	2.913	-9.030	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4133.566	1.241	-1.088	7.724
¹³ CH	4133.574	1.275	-10.734	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4133.580	1.241	-3.596	7.724
Sc I	4133.584	1.994	-4.370	0.000
Fe I	4133.603	4.206	-1.330	0.000
¹² CH	4133.608	1.172	-5.874	3.464
¹² C ¹⁴ N	4133.608	0.935	-0.720	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.609	1.722	-1.211	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.629	2.278	-0.974	7.724
Ca I	4133.632	5.960	-6.960	0.000
¹³ CH	4133.634	0.782	-2.423	3.464
¹² C ¹⁴ N	4133.642	1.722	-1.254	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.652	1.722	-3.529	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.681	0.935	-0.730	7.724
¹² CH	4133.696	1.172	-5.819	3.464
¹² C ¹⁴ N	4133.703	2.278	-0.991	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.725	2.278	-4.037	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.733	0.935	-4.301	7.724
V I	4133.734	2.576	-1.900	0.000
Fe I	4133.739	3.692	-4.760	0.000
¹³ CH	4133.743	0.640	-4.483	3.464
¹³ CH	4133.745	0.782	-7.081	3.464

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4133.759	0.559	-1.918	3.464
¹² CH	4133.762	0.841	-4.272	3.464
V I	4133.770	1.050	-1.850	0.000
¹² CH	4133.773	1.172	-8.802	3.464
Ce II	4133.794	0.516	0.300	0.000
¹² CH	4133.798	0.559	-7.212	3.464
Ce II	4133.801	0.863	0.370	0.000
¹³ CH	4133.811	0.782	-2.576	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4133.824	1.896	-1.725	7.724
Dy I	4133.849	1.238	0.600	0.000
Fe I	4133.856	3.366	-1.130	0.000
Fe I	4133.862	4.253	-3.580	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4133.890	1.896	-1.880	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4133.890	1.896	-3.026	7.724
Mo I	4133.923	3.736	-10.00	0.000
¹² C ¹⁴ N	4133.934	1.498	-1.107	7.724
¹² C ¹⁴ N	4133.975	1.498	-1.143	7.724
¹² CH	4133.980	0.559	-1.917	3.464
¹² C ¹⁴ N	4133.988	1.498	-3.580	7.724
Fe I	4133.996	4.309	-1.870	0.000
¹² CH	4134.042	1.859	-1.145	3.464
¹³ CH	4134.049	1.605	-4.936	3.464
V I	4134.051	1.941	-1.670	0.000
¹³ CH	4134.063	1.606	-5.011	3.464
¹³ CH	4134.064	1.275	-5.906	3.464
Th I	4134.068	0.000	-1.150	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4134.073	1.442	-1.543	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.078	1.967	-1.151	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² C ¹⁴ N	4134.078	1.967	-1.183	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.091	1.967	-3.691	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.091	1.442	-1.655	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.094	1.442	-3.086	7.724
Th II	4134.113	1.140	-0.890	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4134.132	2.149	-1.200	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.140	1.072	-0.851	7.724
Dy I	4134.145	1.354	0.520	0.000
Gd I	4134.164	0.066	-0.310	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4134.170	2.149	-1.232	7.724
¹³ CH	4134.176	1.849	-9.274	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.182	2.149	-3.740	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.190	1.072	-0.870	7.724
Fe I	4134.194	2.607	-3.730	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4134.214	1.072	-3.841	7.724
¹² CH	4134.235	1.859	-3.763	3.464
V I	4134.283	2.276	-4.140	0.000
Tb II	4134.290	0.816	-1.040	0.000
Zr I	4134.314	1.581	-0.440	0.000
¹² CH	4134.317	1.859	-1.145	3.464
¹² C ¹⁴ N	4134.327	1.301	-0.929	7.724
¹³ CH	4134.334	1.849	-3.763	3.464
Fe I	4134.336	0.000	-4.720	0.000
Ti II	4134.338	5.055	-4.180	0.000
¹² C ¹⁴ N	4134.369	1.301	-0.953	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.388	1.718	-1.254	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.389	1.301	-3.748	7.724
Cr I	4134.404	4.093	-0.350	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ CH	4134.414	1.606	-9.218	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.417	1.236	-1.088	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.419	1.718	-1.302	7.724
Fe I	4134.420	3.015	-1.700	0.000
Fe I	4134.426	3.414	-2.190	0.000
¹² C ¹⁴ N	4134.428	1.718	-3.482	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.436	2.268	-0.991	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.441	1.236	-1.124	7.724
¹³ CH	4134.447	1.849	-1.145	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.448	1.895	-1.880	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.452	1.236	-3.561	7.724
V I	4134.484	0.300	-0.230	0.000
¹² CH	4134.484	1.859	-9.274	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.494	1.895	-2.135	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.496	1.895	-2.834	7.724
Ti I	4134.505	2.504	-4.130	0.000
¹² C ¹⁴ N	4134.507	0.863	-0.883	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.511	2.268	-1.008	7.724
¹² CH	4134.518	1.270	-9.723	3.464
¹³ CH	4134.525	0.837	-4.271	3.464
¹² CH	4134.526	1.270	-6.019	3.464
¹² C ¹⁴ N	4134.532	2.268	-4.017	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.544	0.852	-0.751	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.547	1.669	-2.392	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.548	1.669	-2.091	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.552	0.789	-0.890	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.582	0.863	-0.891	7.724
Nb I	4134.587	1.402	-0.460	0.000

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹³ C ¹⁴ N	4134.591	0.852	-4.262	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.611	1.139	-0.807	7.724
Mn I	4134.625	4.824	-1.180	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4134.625	0.789	-0.899	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.641	1.139	-3.923	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.644	0.863	-4.604	7.724
Fe I	4134.677	2.829	-0.490	0.000
¹³ C ¹⁴ N	4134.683	0.789	-4.579	7.724
Dy I	4134.709	0.874	-0.350	0.000
Nd II	4134.710	0.380	-1.140	0.000
Fe I	4134.716	4.442	-2.690	0.000
¹³ CH	4134.719	0.488	-4.420	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.739	1.441	-1.655	7.724
¹³ CH	4134.750	1.266	-7.008	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.755	1.441	-1.810	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.757	1.441	-2.955	7.724
V II	4134.813	6.037	-4.570	0.000
¹² C ¹⁴ N	4134.829	1.494	-1.182	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.830	2.145	-1.232	7.724
¹³ CH	4134.836	1.749	-2.023	3.464
¹² C ¹⁴ N	4134.840	1.494	-3.542	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.848	1.961	-1.183	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.848	1.961	-1.219	7.724
¹² C ¹⁴ N	4134.861	1.961	-3.656	7.724
¹³ C ¹⁴ N	4134.867	2.145	-1.268	7.724
¹³ CH	4134.874	1.749	-4.209	3.464
¹³ CH	4134.878	1.749	-2.068	3.464
¹³ C ¹⁴ N	4134.878	2.145	-3.705	7.724

Continua na próxima página

Tabela A.4 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf	D ₀ (eV)
¹² CH	4134.948	1.718	-5.322	3.464
Fe I	4134.977	4.383	-3.080	0.000
¹² CH	4134.983	1.718	-9.986	3.464
Mn I	4134.986	4.265	-3.580	0.000

Notas. †Linha de Fe I artificial.

A Tabela A.5 mostra as espécies analisadas por larguras equivalentes nas anãs K. Essa lista foi construída à partir de linhas selecionadas de [Chen e Zhao \(2006\)](#), [Reggiani e Meléndez \(2018\)](#) e [Meléndez et al. \(2014\)](#).

Tabela A.5 - Lista de linhas utilizadas na determinação das abundâncias elementais das anãs K.

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Fe I	4445.471	0.0870	-5.441
Fe I	4602.001	1.6080	-3.154
Fe I	4788.757	3.2370	-1.763
Fe I	4950.106	3.4170	-1.560
Fe I	4994.129	0.9150	-3.080
Fe I	5083.345	0.9600	-3.320
Fe I	5090.782	4.2600	-0.410
Fe I	5127.359	0.9150	-3.307
Fe I	5141.746	2.4200	-1.960
Fe I	5197.942	4.3000	-1.640
Fe I	5217.400	3.2000	-1.160
Fe I	5225.534	0.1100	-4.790
Fe I	5242.500	3.6200	-0.970
Fe I	5243.783	4.2600	-1.010
Fe I	5247.058	0.0900	-4.950

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Fe I	5250.216	0.1200	-4.940
Fe I	5250.654	2.2000	-2.050
Fe I	5253.468	3.2800	-1.670
Fe I	5263.314	3.2600	-0.970
Fe I	5281.798	3.0400	-1.020
Fe I	5383.380	4.3100	0.340
Fe I	5393.176	3.2400	-0.710
Fe I	5410.918	4.4700	0.200
Fe I	5415.210	4.3900	0.440
Fe I	5473.910	4.1500	-0.760
Fe I	5483.108	4.1500	-1.410
Fe I	5497.516	1.0100	-2.850
Fe I	5501.477	0.9500	-3.050
Fe I	5522.446	4.2090	-1.310
Fe I	5543.944	4.2200	-1.140
Fe I	5560.220	4.4300	-1.190
Fe I	5569.631	3.4200	-0.570
Fe I	5576.099	3.4300	-1.000
Fe I	5636.696	3.6400	-2.560
Fe I	5638.271	4.2200	-0.870
Fe I	5641.448	4.2600	-1.180
Fe I	5655.183	5.0600	-0.440
Fe I	5662.524	4.1600	-0.570
Fe I	5679.032	4.6500	-0.620
Fe I	5701.557	2.5600	-2.180
Fe I	5717.841	4.2800	-1.130
Fe I	5731.772	4.2600	-1.300
Fe I	5753.132	4.2400	-0.690

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Fe I	5763.002	4.2100	-0.460
Fe I	5775.080	4.2200	-1.160
Fe I	5809.224	3.8800	-1.840
Fe I	5859.596	4.5500	-0.660
Fe I	5862.368	4.5500	-0.450
Fe I	5905.680	4.6500	-0.730
Fe I	5916.257	2.4500	-2.790
Fe I	5930.191	4.6500	-0.230
Fe I	5952.726	3.9800	-1.440
Fe I	5956.706	0.8600	-4.570
Fe I	5976.787	3.9400	-1.330
Fe I	6003.022	3.8800	-1.120
Fe I	6005.541	2.5880	-3.430
Fe I	6024.068	4.5500	-0.120
Fe I	6027.059	4.0700	-1.090
Fe I	6056.013	4.7300	-0.460
Fe I	6065.494	2.6100	-1.490
Fe I	6079.009	4.6520	-1.100
Fe I	6082.711	2.2230	-3.573
Fe I	6137.702	2.5900	-1.370
Fe I	6151.623	2.1800	-3.260
Fe I	6157.733	4.0700	-1.260
Fe I	6165.360	4.1426	-1.460
Fe I	6173.341	2.2200	-2.840
Fe I	6180.209	2.7300	-2.590
Fe I	6200.321	2.6085	-2.440
Fe I	6213.437	2.2200	-2.580
Fe I	6219.287	2.2000	-2.390

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Fe I	6232.648	3.6500	-1.220
Fe I	6246.327	3.5900	-0.880
Fe I	6252.555	2.4040	-1.687
Fe I	6265.141	2.1800	-2.510
Fe I	6297.799	2.2200	-2.700
Fe I	6322.694	2.5900	-2.390
Fe I	6335.337	2.2000	-2.180
Fe I	6336.830	3.6900	-0.860
Fe I	6344.155	2.4300	-2.880
Fe I	6358.687	0.8600	-4.170
Fe I	6380.750	4.1900	-1.290
Fe I	6392.539	2.2790	-4.030
Fe I	6393.612	2.4300	-1.560
Fe I	6408.026	3.6900	-1.010
Fe I	6411.658	3.6500	-0.650
Fe I	6481.878	2.2800	-2.940
Fe I	6496.472	4.7900	-0.570
Fe I	6498.945	0.9600	-4.660
Fe I	6518.373	2.8300	-2.450
Fe I	6592.926	2.7300	-1.600
Fe I	6593.884	2.4300	-2.380
Fe I	6609.118	2.5600	-2.650
Fe I	6677.997	2.6900	-1.420
Fe I	6703.576	2.7600	-2.860
Fe I	6750.164	2.4200	-2.580
Fe I	6841.341	4.6100	-0.750
Fe I	6843.655	4.5500	-0.930
Fe I	6855.166	4.5600	-0.610

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Fe I	7090.390	4.2300	-1.210
Fe I	7112.170	2.9900	-2.990
Fe I	7130.925	4.2200	-0.790
Fe I	7132.985	4.0700	-1.630
Fe I	7401.691	4.1900	-1.600
Fe I	7418.672	4.1400	-1.380
Fe I	7583.796	3.0200	-1.880
Fe I	7723.210	2.2800	-3.580
Fe I	7748.284	2.9500	-1.750
Fe I	7780.568	4.4700	-0.090
Fe I	7912.870	0.8600	-4.810
Fe I	7941.096	3.2700	-2.580
Fe II	4508.288	2.8557	-2.440
Fe II	4520.224	2.8068	-2.650
Fe II	4576.340	2.8443	-2.950
Fe II	4620.521	2.8283	-3.210
Fe II	4993.358	2.8066	-3.620
Fe II	5018.450	2.8900	-1.210
Fe II	5197.577	3.2306	-2.220
Fe II	5234.630	3.2200	-2.100
Fe II	5276.002	3.2000	-1.950
Fe II	6456.383	3.9036	-2.050
Na I	4751.822	2.1044	-2.078
Na I	5682.650	2.1000	-0.700
Na I	6154.225	2.1023	-1.547
Na I	6160.753	2.1000	-1.260
Mg I	4571.095	0.0000	-5.623
Mg I	4730.040	4.3400	-2.389

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Mg I	5711.095	4.3300	-1.670
Al I	6696.020	3.1400	-1.570
Si I	5517.540	5.0800	-2.496
Si I	5665.554	4.9200	-1.940
Si I	5690.433	4.9300	-1.870
Si I	5684.493	4.9300	-1.650
Si I	5772.149	5.0800	-1.660
Si I	5948.548	5.0800	-1.190
Si I	7405.790	5.6100	-0.680
Si I	7415.958	5.6100	-0.710
Si I	7932.351	5.9600	-0.470
K I	7698.977	0.0000	-0.170
Ca I	4512.268	2.5260	-1.901
Ca I	5260.390	2.5200	-1.720
Ca I	5261.708	2.5200	-0.580
Ca I	5512.989	2.9300	-0.530
Ca I	5581.979	2.5200	-0.560
Ca I	5588.764	2.5200	0.060
Ca I	5590.126	2.5200	-0.570
Ca I	5601.286	2.5200	-0.520
Ca I	5857.459	2.9300	0.110
Ca I	5867.562	2.9330	-1.570
Ca I	6163.754	2.5200	-1.070
Ca I	6166.440	2.5200	-1.200
Ca I	6169.044	2.5200	-0.800
Ca I	6169.564	2.5200	-0.480
Ca I	6439.083	2.5200	0.160
Ca I	6449.820	2.5200	-0.500

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Ca I	6455.605	2.5200	-1.290
Ca I	6471.668	2.5200	-0.690
Ca I	6493.788	2.5200	-0.090
Ca I	6499.654	2.5200	-0.820
Ca I	6717.687	2.7100	-0.520
Ca I	7148.150	2.7100	-0.140
Sc I	5520.497	1.8649	0.550
Sc I	5671.821	1.4478	0.550
Sc II	5239.823	1.4500	-0.700
Sc II	5526.821	1.7700	0.130
Sc II	5657.880	1.5100	-0.500
Sc II	5684.190	1.5070	-0.950
Sc II	6245.630	1.5070	-1.030
Sc II	6604.600	1.3600	-1.160
Ti I	4465.802	1.7393	-0.163
Ti I	4555.485	0.8484	-0.488
Ti I	4758.120	2.2492	0.425
Ti I	4759.272	2.2555	0.514
Ti I	4820.410	1.5024	-0.439
Ti I	4913.616	1.8731	0.161
Ti I	5000.990	2.0000	-0.030
Ti I	5016.168	0.8500	-0.510
Ti I	5022.874	0.8300	-0.430
Ti I	5024.850	0.8200	-0.600
Ti I	5039.964	0.0200	-1.130
Ti I	5064.658	0.0500	-0.930
Ti I	5147.482	0.0000	-2.010
Ti I	5152.190	0.0200	-2.020

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Ti I	5192.978	0.0200	-1.010
Ti I	5219.700	0.0211	-2.236
Ti I	5490.150	1.4601	-0.933
Ti I	5866.461	1.0700	-0.840
Ti I	5953.170	1.8900	-0.200
Ti I	6091.174	2.2673	-0.423
Ti I	6126.224	1.0700	-1.320
Ti I	6258.110	1.4400	-0.430
Ti I	6261.106	1.4300	-0.480
Ti II	4470.857	1.1649	-2.060
Ti II	4583.408	1.1650	-2.870
Ti II	4657.212	1.2430	-2.470
Ti II	4865.611	1.1160	-2.810
Ti II	4874.014	3.0950	-0.900
Ti II	5381.015	1.5650	-1.970
V I	4875.486	0.0400	-0.810
V I	5670.850	1.0800	-0.420
V I	5727.057	1.0800	-0.010
V I	6039.730	1.0630	-0.650
V I	6081.440	1.0510	-0.578
V I	6090.216	1.0800	-0.060
V I	6119.528	1.0640	-0.320
V I	6199.200	0.2860	-1.280
V I	6216.358	0.2800	-1.070
V I	6251.820	0.2860	-1.340
Cr I	4801.047	3.1216	-0.130
Cr I	4936.335	3.1128	-0.250
Cr I	5214.140	3.3694	-0.740

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Cr I	5238.964	2.7090	-1.270
Cr I	5247.574	0.9600	-1.640
Cr I	5247.566	0.9600	-1.590
Cr I	5783.866	3.3200	-0.190
Cr I	5787.926	3.3200	-0.180
Cr I	7400.188	2.9000	-0.170
Cr II	4588.199	4.0710	-0.594
Mn I	4739.100	2.9408	-0.490
Mn I	5394.677	0.0000	-3.500
Mn I	5432.548	0.0000	-3.800
Mn I	6013.497	3.0700	-0.250
Mn I	6016.647	3.0700	-0.100
Mn I	6021.803	3.0700	0.030
Co I	5247.911	1.7850	-2.080
Co I	5483.364	1.7100	-1.490
Co I	5530.774	1.7100	-2.230
Co I	6189.000	1.7100	-2.460
Ni I	5010.938	3.6353	-0.870
Ni I	5042.192	3.6600	-0.580
Ni I	5081.119	3.8500	0.300
Ni I	5084.105	3.6800	0.030
Ni I	5099.936	3.6800	-0.100
Ni I	5115.398	3.8300	-0.110
Ni I	5155.771	3.9000	-0.090
Ni I	5176.560	3.8982	-0.440
Ni I	5435.866	1.9900	-2.590
Ni I	5578.729	1.6800	-2.800
Ni I	5682.208	4.1000	-0.460

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Ni I	5694.991	4.0900	-0.610
Ni I	5754.666	1.9300	-2.330
Ni I	6086.288	4.2600	-0.530
Ni I	6108.125	1.6800	-2.620
Ni I	6176.816	4.0900	-0.260
Ni I	6223.984	4.1054	-0.980
Ni I	6327.604	1.6800	-3.110
Ni I	6586.319	1.9500	-2.730
Ni I	6643.638	1.6800	-2.300
Ni I	6767.784	1.8300	-2.170
Ni I	7110.905	1.9300	-2.910
Ni I	7385.244	2.7400	-1.970
Ni I	7414.514	1.9900	-2.370
Ni I	7422.286	3.6300	-0.320
Ni I	7574.048	3.8300	-0.610
Ni I	7714.310	1.9300	-1.910
Ni I	7727.624	3.6784	-0.400
Ni I	7748.894	3.7000	-0.330
Ni I	7788.933	1.9500	-2.220
Cu I	5105.541	1.3900	-1.516
Cu I	5782.136	1.6400	-1.780
Zn I	4722.153	4.0300	-0.390
Zn I	4810.528	4.0800	-0.170
Y II	4854.867	0.9900	-0.380
Y II	4883.690	1.0800	0.070
Y II	4900.124	1.0300	-0.090
Y II	5087.426	1.0800	-0.170
Ba II	5853.688	0.6000	-1.010

Continua na próxima página

Tabela A.5 – continuação da página anterior

Espécie	Comprimento de onda (Å)	χ_{exc} (eV)	log gf
Ba II	6141.727	0.7000	-0.080
Ba II	6496.908	0.6000	-0.380
La II	4662.500	0.0000	-1.240
Ce II	4523.075	0.5160	-0.080
Ce II	4562.359	0.4770	0.210
Nd II	4446.380	0.2040	-0.350
Sm II	4467.341	0.6590	0.150
Sm II	4676.902	0.0400	-0.870
Dy II	4449.700	0.0000	-1.030

Apêndice B

Exemplo de resultados dos modelos de nucleossíntese estelar

B.0.1 *Yields finais*

Nessa seção apresentamos, como exemplo, a tabela com os *yields* finais para o modelo de $M = 0.90 M_{\odot}$ e $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, calculados neste estudo. Essa tabela contém informações sobre a massa inicial do modelo (M_{inicial}), a massa final (M_{final}) e a quantidade total de massa expelida (M_{exp}) durante a vida da estrela. As colunas dessa tabela são compostas pelo elemento e seu respectivo número atômico Z , e as abundâncias médias ejetadas nos ventos estelares (nos formatos: $A(X)$, $[X/\text{H}]$ e $[X/\text{Fe}]$). As duas últimas colunas apresentam o *yield* líquido (Net $M(i)$) calculado pela Equação 4.11 e o *yield* final ($M(i)$) dado pela Equação 4.10.

Tabela B.1 - Yields finais para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$.

$M_{\text{inicial}} = 0.90 M_{\odot}$, $M_{\text{final}} = 0.731 M_{\odot}$ e $M_{\text{exp}} = 0.1690 M_{\odot}$							
Elemento	Z	$A(X)$	$[X/\text{H}]$	$[X/\text{Fe}]$	$X(i)$	Net $M(i)$	$M(i)$
p	1	12.000000	0.000000	0.000000	7.25246E-01	-5.15972E-03	1.22573E-01
He	2	10.987064	0.057064	1.863837	2.79560E-01	4.96430E-03	4.72480E-02
C	6	8.024382	-0.445619	1.361155	9.14083E-04	1.47753E-04	1.54488E-04
N	7	6.688660	-1.181340	0.625433	4.92073E-05	6.34359E-06	8.31646E-06
O	8	7.059588	-1.670411	0.136362	1.32040E-04	6.21067E-06	2.23159E-05
F	9	3.762792	-0.697208	1.109565	7.91635E-08	1.23383E-08	1.33793E-08

Continua na próxima página

Tabela B.1 – continuação da página anterior

$M_{\text{inicial}} = 0.90 M_{\odot}$, $M_{\text{final}} = 0.731 M_{\odot}$ e $M_{\text{exp}} = 0.1690 M_{\odot}$							
Elemento	Z	A(X)	[X/H]	[X/Fe]	X(i)	Net M(i)	M(i)
Ne	10	6.709750	-1.260250	0.546524	7.44212E-05	8.99958E-06	1.25778E-05
Na	11	4.993926	-1.316074	0.490699	1.63114E-06	1.86489E-07	2.75676E-07
Mg	12	5.857394	-1.782606	0.024167	1.25926E-05	1.12481E-07	2.12825E-06
Al	13	4.758666	-1.711334	0.095439	1.11369E-06	3.69278E-08	1.88223E-07
Si	14	5.747219	-1.802782	0.003992	1.12910E-05	1.48806E-08	1.90828E-06
P	15	3.693811	-1.776188	0.030585	1.10112E-07	1.24190E-09	1.86099E-08
S	16	5.353652	-1.806348	0.000425	5.20844E-06	-3.34580E-10	8.80271E-07
Cl	17	3.428255	-1.801745	0.005028	6.83807E-08	1.17545E-10	1.15569E-08
Ar	18	4.633383	-1.806617	0.000156	1.23567E-06	-2.05603E-10	2.08839E-07
K	19	3.274901	-1.805099	0.001675	5.29762E-08	3.41212E-11	8.95343E-09
Ca	20	4.483175	-1.806825	-0.000051	8.77216E-07	-2.13973E-10	1.48257E-07
Sc	21	1.258495	-1.791505	0.015269	5.86554E-10	3.29471E-12	9.91326E-11
Ti	22	3.105927	-1.804073	0.002700	4.39530E-08	3.59996E-11	7.42843E-09
V	23	2.152319	-1.807681	-0.000908	5.20500E-09	-8.29836E-13	8.79689E-10
Cr	24	3.814156	-1.825844	-0.019071	2.43866E-07	-3.51008E-11	4.12154E-08
Mn	25	3.673777	-1.806223	0.000550	1.86498E-07	-3.29337E-12	3.15198E-08
Fe	26	5.733227	-1.806773	0.000000	2.17388E-05	-4.98630E-09	3.67405E-06
Co	27	3.085391	-1.784609	0.022164	5.16149E-08	4.22809E-10	8.72335E-09
Ni	28	4.397431	-1.802568	0.004205	1.05449E-06	1.47608E-09	1.78218E-07
Cu	29	2.535204	-1.714796	0.091977	1.56790E-08	5.02846E-10	2.64988E-09
Zn	30	2.874018	-1.755982	0.050791	3.52112E-08	6.49560E-10	5.95099E-09
Ga	31	1.497243	-1.582757	0.224016	1.57632E-09	1.07144E-10	2.66412E-10
Ge	32	1.971311	-1.608689	0.198084	4.89229E-09	3.42052E-10	8.26839E-10
As	33	0.642867	-1.657133	0.149640	2.36865E-10	1.16298E-11	4.00323E-11
Se	34	1.797314	-1.542686	0.264087	3.56243E-09	3.05441E-10	6.02081E-10
Br	35	0.991034	-1.548966	0.257807	5.63154E-10	4.25365E-11	9.51778E-11
Kr	36	1.914032	-1.335968	0.470805	4.94643E-09	5.53883E-10	8.35988E-10

Continua na próxima página

Tabela B.1 – continuação da página anterior

$M_{\text{inicial}} = 0.90 M_{\odot}$, $M_{\text{final}} = 0.731 M_{\odot}$ e $M_{\text{exp}} = 0.1690 M_{\odot}$							
Elemento	Z	A(X)	[X/H]	[X/Fe]	X(i)	Net M(i)	M(i)
Rb	37	1.109138	-1.250861	0.555912	7.90618E-10	9.64193E-11	1.33621E-10
Sr	38	1.678501	-1.201499	0.605274	3.00698E-09	3.82624E-10	5.08205E-10
Y	39	0.981801	-1.188199	0.618574	6.13419E-10	7.86868E-11	1.03673E-10
Zr	40	1.269242	-1.260758	0.546016	1.22005E-09	1.47468E-10	2.06198E-10
Nb	41	0.093911	-1.316089	0.490684	8.29814E-11	9.48719E-12	1.40246E-11
Mo	42	0.470370	-1.469630	0.337143	2.03890E-10	2.24484E-11	3.44591E-11
Ru	44	0.196229	-1.563771	0.243002	1.14255E-10	1.11363E-11	1.93102E-11
Rh	45	-0.599069	-1.659069	0.147705	1.86379E-11	9.05094E-13	3.14997E-12
Pd	46	0.180268	-1.469732	0.337041	1.15962E-10	1.17175E-11	1.95986E-11
Ag	47	-0.415468	-1.615468	0.191305	2.98161E-11	1.79098E-12	5.03917E-12
Cd	48	0.314447	-1.395553	0.411221	1.66833E-10	1.81999E-11	2.81962E-11
In	49	-0.744522	-1.504522	0.302251	1.48769E-11	1.31284E-12	2.51433E-12
Sn	50	0.703841	-1.366159	0.440614	4.31871E-10	5.00388E-11	7.29899E-11
Sb	51	-0.717681	-1.727681	0.079092	1.67822E-11	1.48201E-12	2.83634E-12
Te	52	0.317802	-1.862198	-0.055424	1.90844E-10	1.97451E-11	3.22543E-11
I	53	-0.199624	-1.749624	0.057149	5.76603E-11	1.19008E-12	9.74509E-12
Xe	54	0.608523	-1.631477	0.175297	3.83522E-10	2.50161E-11	6.48185E-11
Cs	55	-0.543541	-1.623541	0.183232	2.73543E-11	1.58718E-12	4.62311E-12
Ba	56	1.097634	-1.082366	0.724407	1.23713E-09	1.69676E-10	2.09086E-10
La	57	0.087985	-1.082015	0.724758	1.22386E-10	1.67842E-11	2.06843E-11
Ce	58	0.563153	-1.016847	0.789926	3.68694E-10	5.22353E-11	6.23125E-11
Pr	59	-0.427909	-1.187909	0.618864	3.78489E-11	4.85619E-12	6.39678E-12
Nd	60	0.334037	-1.115963	0.690810	2.23949E-10	3.05575E-11	3.78492E-11
Sm	62	-0.435309	-1.375309	0.431464	3.97053E-11	4.86479E-12	6.71054E-12
Eu	63	-1.141715	-1.651715	0.155058	7.88954E-12	3.99084E-13	1.33340E-12
Gd	64	-0.444380	-1.494380	0.312393	4.06665E-11	3.52069E-12	6.87298E-12
Tb	65	-1.293777	-1.613776	0.192997	5.81355E-12	3.51658E-13	9.82540E-13

Continua na próxima página

Tabela B.1 – continuação da página anterior

$M_{\text{inicial}} = 0.90 M_{\odot}$, $M_{\text{final}} = 0.731 M_{\odot}$ e $M_{\text{exp}} = 0.1690 M_{\odot}$							
Elemento	Z	A(X)	[X/H]	[X/Fe]	X(i)	Net M(i)	M(i)
Dy	66	-0.340988	-1.470988	0.335785	5.33201E-11	4.85292E-12	9.01155E-12
Ho	67	-1.158528	-1.628528	0.178245	8.23753E-12	4.67406E-13	1.39221E-12
Er	68	-0.510809	-1.430809	0.375964	3.71198E-11	3.67630E-12	6.27357E-12
Tm	69	-1.386705	-1.506705	0.300068	4.98927E-12	4.20105E-13	8.43229E-13
Yb	70	-0.303926	-1.223926	0.582848	6.18368E-11	8.07482E-12	1.04509E-11
Lu	71	-1.213836	-1.303836	0.502937	7.69389E-12	8.91349E-13	1.30033E-12
Hf	72	-0.340105	-1.050105	0.756668	5.86860E-11	8.18202E-12	9.91844E-12
Ta	73	-1.234384	-1.114384	0.692390	7.58920E-12	1.02187E-12	1.28264E-12
W	74	-0.398807	-1.048807	0.757967	5.28031E-11	7.36582E-12	8.92418E-12
Re	75	-1.164355	-1.424355	0.382418	9.17628E-12	9.07078E-13	1.55087E-12
Os	76	-0.181055	-1.531055	0.275718	9.02089E-11	7.15614E-12	1.52461E-11
Ir	77	-0.431941	-1.751941	0.054832	5.11537E-11	1.01505E-12	8.64541E-12
Pt	78	-0.054998	-1.674998	0.131775	1.23662E-10	6.55756E-12	2.08999E-11
Au	79	-0.840898	-1.640898	0.165876	2.04419E-11	1.09358E-12	3.45486E-12
Hg	80	0.076061	-1.093939	0.712834	1.71948E-10	2.38193E-11	2.90606E-11
Tl	81	-0.197183	-0.967183	0.839591	9.33873E-11	1.34966E-11	1.57833E-11
Pb	82	1.991405	-0.048595	1.758178	1.46157E-08	2.42701E-09	2.47018E-09
Bi	83	0.197799	-0.452201	1.354572	2.37098E-10	3.82981E-11	4.00717E-11

B.0.2 Abundâncias superficiais finais

Expomos aqui, como exemplo, a tabela com as abundâncias superficiais finais nos formatos A(X), [X/H], [X/Fe], [X/O] e a fração de massa X(i) para o modelo de $M = 0.90 M_{\odot}$ com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar.

Tabela B.2 - Abundâncias superficiais finais para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$.

Elemento	Z	A(X)	[X/H]	[X/Fe]	[X/O]	X(i)
p	1	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.24445E-01
He	2	10.988789	0.058788	1.865066	1.732663	2.80362E-01
C	6	8.015928	-0.454072	1.352206	1.219802	8.95473E-04
N	7	6.783531	-1.086469	0.719809	0.587406	6.11536E-05
O	8	7.056125	-1.673874	0.132403	0.000000	1.30847E-04
F	9	3.754992	-0.705009	1.101269	0.968866	7.76685E-08
Ne	10	6.705751	-1.264249	0.542029	0.409626	7.36575E-05
Na	11	5.019184	-1.290816	0.515461	0.383058	1.72690E-06
Mg	12	5.856498	-1.783502	0.022776	-0.109628	1.25527E-05
Al	13	4.788013	-1.681987	0.124291	-0.008112	1.19023E-06
Si	14	5.748212	-1.801788	0.004490	-0.127913	1.13044E-05
P	15	3.693988	-1.776012	0.030266	-0.102138	1.10035E-07
S	16	5.354132	-1.805868	0.000410	-0.131993	5.20845E-06
Cl	17	3.428763	-1.801237	0.005041	-0.127362	6.83852E-08
Ar	18	4.633867	-1.806133	0.000144	-0.132259	1.23568E-06
K	19	3.275585	-1.804415	0.001863	-0.130540	5.30011E-08
Ca	20	4.483648	-1.806352	-0.000074	-0.132477	8.77202E-07
Sc	21	1.258839	-1.791161	0.015116	-0.117287	5.86369E-10
Ti	22	3.106385	-1.803615	0.002663	-0.129740	4.39508E-08
V	23	2.152802	-1.807198	-0.000920	-0.133323	5.20504E-09
Cr	24	3.814639	-1.825361	-0.019083	-0.151486	2.43868E-07
Mn	25	3.674256	-1.805744	0.000534	-0.131869	1.86498E-07
Fe	26	5.733722	-1.806278	0.000000	-0.132403	2.17396E-05
Co	27	3.085672	-1.784328	0.021950	-0.110453	5.15913E-08
Ni	28	4.397659	-1.802341	0.003937	-0.128467	1.05388E-06
Cu	29	2.534994	-1.715006	0.091272	-0.041131	1.56541E-08
Zn	30	2.874085	-1.755915	0.050363	-0.082040	3.51778E-08

Continua na próxima página

Tabela B.2 – continuação da página anterior

Elemento	Z	A(X)	[X/H]	[X/Fe]	[X/O]	X(i)
Ga	31	1.496190	-1.583810	0.222468	0.090065	1.57077E-09
Ge	32	1.970195	-1.609805	0.196473	0.064069	4.87435E-09
As	33	0.642216	-1.657784	0.148494	0.016090	2.36249E-10
Se	34	1.796280	-1.543720	0.262558	0.130154	3.55004E-09
Br	35	0.986489	-1.553511	0.252767	0.120364	5.56677E-10
Kr	36	1.911741	-1.338259	0.468019	0.335616	4.91497E-09
Rb	37	1.106578	-1.253422	0.552856	0.420452	7.85103E-10
Sr	38	1.675651	-1.204350	0.601928	0.469525	2.98400E-09
Y	39	0.978844	-1.191156	0.615121	0.482718	6.08583E-10
Zr	40	1.266401	-1.263599	0.542679	0.410276	1.21075E-09
Nb	41	0.091237	-1.318763	0.487515	0.355111	8.23809E-11
Mo	42	0.467773	-1.472227	0.334051	0.201648	2.02450E-10
Tc	43	-2.806704	-9.000000	0.000000	0.000000	1.09918E-13
Ru	44	0.193526	-1.566474	0.239804	0.107401	1.13421E-10
Rh	45	-0.599957	-1.659956	0.146321	0.013918	1.85793E-11
Pd	46	0.190879	-1.459121	0.347157	0.214753	1.18699E-10
Ag	47	-0.471863	-1.671863	0.134415	0.002012	2.61563E-11
Cd	48	0.311827	-1.398173	0.408104	0.275701	1.65646E-10
In	49	-0.746557	-1.506557	0.299721	0.167317	1.47910E-11
Sn	50	0.700981	-1.369019	0.437259	0.304856	4.28562E-10
Sb	51	-0.719756	-1.729756	0.076522	-0.055882	1.66837E-11
Te	52	0.315273	-1.864727	-0.058449	-0.190852	1.89526E-10
I	53	-0.199747	-1.749747	0.056531	-0.075873	5.75803E-11
Xe	54	0.607098	-1.632902	0.173375	0.040972	3.81843E-10
Cs	55	-0.341143	-1.421143	0.385135	0.252732	4.35456E-11
Ba	56	1.088031	-1.091969	0.714309	0.581905	1.20874E-09
La	57	0.084375	-1.085625	0.720653	0.588250	1.21239E-10
Ce	58	0.559381	-1.020620	0.785658	0.653255	3.65101E-10

Continua na próxima página

Tabela B.2 – continuação da página anterior

Elemento	Z	A(X)	[X/H]	[X/Fe]	[X/O]	X(i)
Pr	59	-0.431282	-1.191282	0.614996	0.482592	3.75145E-11
Nd	60	0.330411	-1.119589	0.686689	0.554285	2.21842E-10
Pm	61	0.000000	-9.000000	0.000000	0.000000	0.00000E+00
Sm	62	-0.438514	-1.378514	0.427764	0.295361	3.93699E-11
Eu	63	-1.142745	-1.652745	0.153533	0.021129	7.86214E-12
Gd	64	-0.446509	-1.496509	0.309768	0.177365	4.04229E-11
Tb	65	-1.295117	-1.615117	0.191160	0.058757	5.78923E-12
Dy	66	-0.343248	-1.473248	0.333029	0.200626	5.29848E-11
Ho	67	-1.159758	-1.629758	0.176520	0.044117	8.20517E-12
Er	68	-0.513324	-1.433324	0.372954	0.240551	3.68647E-11
Tm	69	-1.388770	-1.508770	0.297508	0.165104	4.96012E-12
Yb	70	-0.307376	-1.227376	0.578902	0.446498	6.12797E-11
Lu	71	-1.216843	-1.306843	0.499435	0.367032	7.63236E-12
Hf	72	-0.345116	-1.055116	0.751162	0.618759	5.79487E-11
Ta	73	-1.238008	-1.118008	0.688270	0.555867	7.51781E-12
W	74	-0.401078	-1.051078	0.755200	0.622796	5.24695E-11
Re	75	-1.167065	-1.427065	0.379213	0.246810	9.10914E-12
Os	76	-0.182939	-1.532939	0.273339	0.140936	8.97194E-11
Ir	77	-0.432062	-1.752062	0.054216	-0.078188	5.10829E-11
Pt	78	-0.056118	-1.676118	0.130160	-0.002244	1.23207E-10
Au	79	-0.842033	-1.642033	0.164244	0.031841	2.03660E-11
Hg	80	0.072349	-1.097651	0.708626	0.576223	1.70296E-10
Tl	81	-0.255256	-1.025256	0.781022	0.648619	8.16085E-11
Pb	82	1.934772	-0.105227	1.701050	1.568647	1.28147E-08
Bi	83	0.193518	-0.456482	1.349795	1.217392	2.34513E-10

B.0.3 Razões isotópicas

Esta seção contém, como exemplo, as tabelas com as razões isotópicas $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, $^{16}\text{O}/^{17,18}\text{O}$, $^{24}\text{Mg}/^{25,26}\text{Mg}$, $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$, $^{28}\text{Si}/^{29,30}\text{Si}$, $^{36,37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$, $^{36,38}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, $^{40,41}\text{K}/^{39}\text{K}$, $^{42,43,44,46,48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$, $^{46,47,49,50}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$, $^{53,54}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$, $^{54,57,58,60}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$ e $^{60,61,62}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$ iniciais, a cada pulso térmico e finais para o modelo de $M = 0.90 M_{\odot}$ com $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar.

Tabela B.3 - Razões isotópicas, do ^{12}C ao ^{30}Si , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$.

$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	$^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$	$^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$	$^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$	$^{24}\text{Mg}/^{25}\text{Mg}$	$^{24}\text{Mg}/^{26}\text{Mg}$	$^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$	$^{28}\text{Si}/^{29}\text{Si}$	$^{28}\text{Si}/^{30}\text{Si}$
Razões isotópicas iniciais:								
8.940E+01	4.350E+02	2.632E+03	5.000E+02	7.899E+00	7.174E+00	0.000E+00	1.969E+01	2.987E+01
Durante tp-AGB:								
2.266E+01	1.432E+03	4.992E+02	5.716E+02	8.055E+00	7.102E+00	1.208E-08	1.969E+01	2.988E+01
2.255E+01	1.612E+03	4.548E+02	5.783E+02	8.157E+00	7.076E+00	2.943E-06	1.969E+01	2.988E+01
2.252E+01	1.744E+03	4.349E+02	5.814E+02	8.248E+00	7.062E+00	9.218E-05	1.969E+01	2.988E+01
2.260E+01	1.738E+03	4.377E+02	5.815E+02	8.246E+00	7.062E+00	6.838E-05	1.969E+01	2.988E+01
2.257E+01	1.750E+03	4.383E+02	5.824E+02	8.250E+00	7.062E+00	4.707E-04	1.969E+01	2.988E+01
2.270E+01	1.750E+03	4.417E+02	5.825E+02	8.256E+00	7.065E+00	1.043E-03	1.969E+01	2.988E+01
2.287E+01	1.748E+03	4.457E+02	5.823E+02	8.264E+00	7.070E+00	1.660E-03	1.970E+01	2.988E+01
2.461E+02	1.692E+03	4.779E+02	6.433E+02	8.268E+00	7.072E+00	2.434E-03	1.972E+01	2.981E+01
2.408E+02	1.746E+03	4.795E+02	6.431E+02	8.274E+00	7.074E+00	3.091E-03	1.972E+01	2.982E+01
5.188E+02	1.381E+03	5.349E+02	7.511E+02	8.173E+00	6.996E+00	3.836E-03	1.971E+01	2.966E+01
5.013E+02	1.454E+03	5.357E+02	7.507E+02	8.180E+00	6.998E+00	4.768E-03	1.971E+01	2.966E+01
5.115E+02	1.513E+03	5.420E+02	7.438E+02	8.166E+00	6.983E+00	6.186E-03	1.972E+01	2.966E+01
5.047E+02	1.587E+03	5.460E+02	7.473E+02	8.158E+00	6.976E+00	7.384E-03	1.972E+01	2.966E+01
6.663E+02	1.580E+03	5.973E+02	8.318E+02	7.845E+00	6.797E+00	8.145E-03	1.972E+01	2.962E+01

Continua na próxima página

Tabela B.3 – continuação da página anterior

$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	$^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$	$^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$	$^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$	$^{24}\text{Mg}/^{25}\text{Mg}$	$^{24}\text{Mg}/^{26}\text{Mg}$	$^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$	$^{28}\text{Si}/^{29}\text{Si}$	$^{28}\text{Si}/^{30}\text{Si}$
6.433E+02	1.657E+03	5.975E+02	8.314E+02	7.851E+00	6.798E+00	9.039E-03	1.972E+01	2.962E+01
6.231E+02	1.717E+03	5.978E+02	8.312E+02	7.857E+00	6.799E+00	9.232E-03	1.972E+01	2.962E+01
6.042E+02	1.774E+03	5.980E+02	8.308E+02	7.862E+00	6.799E+00	9.385E-03	1.972E+01	2.963E+01
5.867E+02	1.824E+03	5.982E+02	8.306E+02	7.866E+00	6.799E+00	9.197E-03	1.972E+01	2.963E+01
5.703E+02	1.874E+03	5.984E+02	8.306E+02	7.870E+00	6.799E+00	9.008E-03	1.972E+01	2.963E+01
5.543E+02	1.927E+03	5.986E+02	8.309E+02	7.874E+00	6.799E+00	8.939E-03	1.972E+01	2.963E+01
5.382E+02	1.984E+03	5.987E+02	8.312E+02	7.878E+00	6.800E+00	9.007E-03	1.972E+01	2.963E+01
5.216E+02	2.049E+03	5.989E+02	8.316E+02	7.882E+00	6.800E+00	9.370E-03	1.972E+01	2.963E+01
5.036E+02	2.126E+03	5.991E+02	8.322E+02	7.886E+00	6.802E+00	1.005E-02	1.973E+01	2.963E+01
4.841E+02	2.220E+03	5.993E+02	8.327E+02	7.891E+00	6.803E+00	1.114E-02	1.973E+01	2.963E+01
4.642E+02	2.325E+03	5.996E+02	8.332E+02	7.895E+00	6.806E+00	1.249E-02	1.973E+01	2.963E+01
4.585E+02	2.355E+03	5.999E+02	8.316E+02	7.897E+00	6.807E+00	1.289E-02	1.973E+01	2.964E+01
4.588E+02	2.354E+03	6.001E+02	8.300E+02	7.897E+00	6.807E+00	1.280E-02	1.974E+01	2.965E+01
Razões isotópicas finais:								
4.186E+02	2.628E+03	6.008E+02	8.314E+02	7.903E+00	6.815E+00	1.750E-02	1.976E+01	2.968E+01

Tabela B.4 - Razões isotópicas, do ^{35}Cl ao ^{41}K , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$.

$^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	$^{33}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^{36}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$	$^{40}\text{K}/^{39}\text{K}$	$^{41}\text{K}/^{39}\text{K}$
Razões isotópicas iniciais:								
0.000E+00	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.439E+03	6.252E+02	1.578E-04	7.217E-02
Durante tp-AGB:								
1.303E-25	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.092E-06	7.217E-02
6.337E-15	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.092E-06	7.217E-02
2.077E-13	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.092E-06	7.217E-02
9.501E-14	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.091E-06	7.217E-02
4.188E-14	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.091E-06	7.217E-02
1.935E-14	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.091E-06	7.217E-02
9.652E-15	3.196E-01	8.006E-03	4.519E-02	2.107E-04	3.429E+03	6.235E+02	1.091E-06	7.217E-02
3.308E-05	3.249E-01	8.016E-03	4.528E-02	2.221E-04	2.656E+03	4.840E+02	1.450E-04	7.245E-02
2.074E-05	3.249E-01	8.016E-03	4.527E-02	2.220E-04	2.659E+03	4.846E+02	1.442E-04	7.246E-02
6.666E-05	3.304E-01	8.033E-03	4.539E-02	2.445E-04	1.967E+03	3.593E+02	3.858E-04	7.292E-02
4.737E-05	3.303E-01	8.033E-03	4.539E-02	2.443E-04	1.970E+03	3.599E+02	3.843E-04	7.295E-02
4.138E-05	3.308E-01	8.035E-03	4.539E-02	2.458E-04	1.950E+03	3.563E+02	4.055E-04	7.301E-02
3.406E-05	3.309E-01	8.035E-03	4.539E-02	2.461E-04	1.950E+03	3.563E+02	4.113E-04	7.303E-02
8.288E-05	3.341E-01	8.051E-03	4.543E-02	2.547E-04	1.876E+03	3.431E+02	5.582E-04	7.331E-02

Continua na próxima página

Tabela B.4 – continuação da página anterior

$^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	$^{33}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^{36}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$	$^{40}\text{K}/^{39}\text{K}$	$^{41}\text{K}/^{39}\text{K}$
6.599E-05	3.341E-01	8.051E-03	4.543E-02	2.546E-04	1.878E+03	3.435E+02	5.565E-04	7.335E-02
5.356E-05	3.340E-01	8.051E-03	4.543E-02	2.545E-04	1.880E+03	3.438E+02	5.552E-04	7.337E-02
4.416E-05	3.340E-01	8.051E-03	4.543E-02	2.544E-04	1.882E+03	3.441E+02	5.536E-04	7.338E-02
3.695E-05	3.340E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.543E-04	1.884E+03	3.445E+02	5.522E-04	7.338E-02
3.135E-05	3.339E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.542E-04	1.885E+03	3.446E+02	5.513E-04	7.338E-02
2.691E-05	3.339E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.542E-04	1.885E+03	3.448E+02	5.507E-04	7.338E-02
2.335E-05	3.339E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.541E-04	1.886E+03	3.449E+02	5.502E-04	7.338E-02
2.044E-05	3.339E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.541E-04	1.887E+03	3.450E+02	5.497E-04	7.338E-02
1.805E-05	3.339E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.541E-04	1.887E+03	3.451E+02	5.493E-04	7.338E-02
1.604E-05	3.339E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.540E-04	1.888E+03	3.452E+02	5.487E-04	7.338E-02
1.433E-05	3.338E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.539E-04	1.889E+03	3.454E+02	5.477E-04	7.338E-02
1.282E-05	3.338E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.537E-04	1.893E+03	3.461E+02	5.447E-04	7.337E-02
1.156E-05	3.337E-01	8.050E-03	4.543E-02	2.535E-04	1.896E+03	3.467E+02	5.421E-04	7.337E-02
Razões isotópicas finais:								
1.046E-05	3.336E-01	8.049E-03	4.542E-02	2.534E-04	1.898E+03	3.471E+02	5.404E-04	7.336E-02

Tabela B.5 - Razões isotópicas, do ^{40}Ca ao ^{50}Ti , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$.

$^{42}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{43}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{44}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{46}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{46}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$	$^{47}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$	$^{49}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$	$^{50}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$
Razões isotópicas iniciais:								
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
Durante tp-AGB:								
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
6.674E-03	1.393E-03	2.152E-02	4.126E-05	1.929E-03	1.119E-01	1.009E-01	7.339E-02	7.027E-02
6.712E-03	1.402E-03	2.156E-02	6.368E-05	1.930E-03	1.121E-01	1.010E-01	7.385E-02	7.173E-02
6.711E-03	1.402E-03	2.156E-02	6.355E-05	1.930E-03	1.121E-01	1.010E-01	7.385E-02	7.172E-02
6.755E-03	1.412E-03	2.162E-02	9.856E-05	1.931E-03	1.123E-01	1.012E-01	7.464E-02	7.496E-02
6.755E-03	1.412E-03	2.161E-02	9.834E-05	1.931E-03	1.123E-01	1.012E-01	7.463E-02	7.494E-02
6.758E-03	1.413E-03	2.162E-02	1.005E-04	1.931E-03	1.123E-01	1.012E-01	7.470E-02	7.522E-02
6.759E-03	1.413E-03	2.162E-02	1.008E-04	1.931E-03	1.123E-01	1.012E-01	7.472E-02	7.530E-02
6.780E-03	1.418E-03	2.164E-02	1.135E-04	1.932E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.526E-02	7.728E-02

Continua na próxima página

Tabela B.5 – continuação da página anterior

$^{42}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{43}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{44}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{46}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$	$^{46}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$	$^{47}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$	$^{49}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$	$^{50}\text{Ti}/^{48}\text{Ti}$
6.779E-03	1.418E-03	2.164E-02	1.133E-04	1.932E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.526E-02	7.726E-02
6.779E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.132E-04	1.932E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.525E-02	7.724E-02
6.779E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.130E-04	1.932E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.525E-02	7.722E-02
6.779E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.128E-04	1.932E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.524E-02	7.720E-02
6.779E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.127E-04	1.932E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.524E-02	7.719E-02
6.778E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.126E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.524E-02	7.719E-02
6.778E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.126E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.523E-02	7.718E-02
6.778E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.125E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.523E-02	7.717E-02
6.778E-03	1.417E-03	2.164E-02	1.125E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.523E-02	7.717E-02
6.778E-03	1.417E-03	2.163E-02	1.124E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.523E-02	7.716E-02
6.778E-03	1.417E-03	2.163E-02	1.123E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.523E-02	7.715E-02
6.777E-03	1.417E-03	2.163E-02	1.120E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.522E-02	7.711E-02
6.777E-03	1.417E-03	2.163E-02	1.116E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.521E-02	7.708E-02
Razões isotópicas finais:								
6.777E-03	1.417E-03	2.163E-02	1.114E-04	1.931E-03	1.124E-01	1.012E-01	7.520E-02	7.705E-02

Tabela B.6 - Razões isotópicas, do ^{52}Cr ao ^{62}Ni , para o modelo com $M = 0.90 M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$ escalonado para o padrão solar, $Y = 0.25$ e $M_{\text{mix}} = 2.00 \times 10^{-3}$.

$^{53}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$	$^{54}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$	$^{54}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{57}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{58}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{60}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{60}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$	$^{61}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$	$^{62}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$
Razões isotópicas iniciais:								
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	0.000E+00	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
Durante tp-AGB:								
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	0.000E+00	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	6.605E-29	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	3.762E-27	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	3.461E-27	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	3.146E-27	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	2.857E-27	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.823E-02	6.370E-02	2.309E-02	3.073E-03	2.614E-27	3.852E-01	1.674E-02	5.339E-02
1.134E-01	2.853E-02	6.369E-02	2.316E-02	3.236E-03	2.271E-05	3.863E-01	1.744E-02	5.527E-02
1.134E-01	2.852E-02	6.369E-02	2.315E-02	3.236E-03	2.141E-05	3.863E-01	1.744E-02	5.526E-02
1.134E-01	2.886E-02	6.367E-02	2.325E-02	3.397E-03	3.565E-05	3.873E-01	1.796E-02	5.643E-02
1.134E-01	2.886E-02	6.367E-02	2.325E-02	3.396E-03	3.417E-05	3.873E-01	1.796E-02	5.642E-02
1.134E-01	2.889E-02	6.366E-02	2.326E-02	3.411E-03	3.347E-05	3.874E-01	1.800E-02	5.649E-02
1.134E-01	2.889E-02	6.366E-02	2.326E-02	3.415E-03	3.235E-05	3.875E-01	1.800E-02	5.650E-02
1.134E-01	2.913E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.533E-03	3.332E-05	3.881E-01	1.826E-02	5.692E-02

Continua na próxima página

Tabela B.6 – continuação da página anterior

$^{53}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$	$^{54}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$	$^{54}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{57}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{58}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{60}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}$	$^{60}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$	$^{61}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$	$^{62}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$
1.134E-01	2.913E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.532E-03	3.241E-05	3.881E-01	1.826E-02	5.691E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.531E-03	3.159E-05	3.881E-01	1.825E-02	5.691E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.529E-03	3.085E-05	3.881E-01	1.825E-02	5.690E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.528E-03	3.018E-05	3.881E-01	1.825E-02	5.689E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.528E-03	2.959E-05	3.881E-01	1.825E-02	5.689E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.527E-03	2.906E-05	3.881E-01	1.824E-02	5.688E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.527E-03	2.857E-05	3.881E-01	1.824E-02	5.688E-02
1.134E-01	2.912E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.526E-03	2.813E-05	3.882E-01	1.824E-02	5.688E-02
1.134E-01	2.911E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.526E-03	2.771E-05	3.882E-01	1.824E-02	5.688E-02
1.134E-01	2.911E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.526E-03	2.733E-05	3.882E-01	1.824E-02	5.687E-02
1.134E-01	2.911E-02	6.364E-02	2.336E-02	3.525E-03	2.695E-05	3.882E-01	1.824E-02	5.687E-02
1.134E-01	2.911E-02	6.364E-02	2.335E-02	3.522E-03	2.652E-05	3.882E-01	1.823E-02	5.685E-02
1.134E-01	2.910E-02	6.364E-02	2.335E-02	3.520E-03	2.614E-05	3.882E-01	1.822E-02	5.684E-02
Razões isotópicas finais:								
1.134E-01	2.910E-02	6.364E-02	2.335E-02	3.519E-03	2.580E-05	3.882E-01	1.822E-02	5.683E-02