



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
CURSO DE FÍSICA BACHARELADO

IDENTIFICAÇÃO DE ESTRELAS IONIZANTES E DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS DE REGIÕES H II GALÁCTICAS

Trabalho de Graduação em Física II

Vanessa Lorenzoni

Santa Maria, RS, Brasil,
2015

IDENTIFICAÇÃO DE ESTRELAS IONIZANTES E DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS DE REGIÕES H II GALÁTICAS

Vanessa Lorenzoni

Trabalho realizado sob a orientação do Prof. Dr. Marcus Vinicius Fontana Copetti, apresentado ao Curso de Física Bacharelado da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Física.

Santa Maria, RS, Brasil,
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
CURSO DE FÍSICA BACHARELADO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Graduação em Física II

**IDENTIFICAÇÃO DE ESTRELAS IONIZANTES
E DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS DE REGIÕES H II GALÁTICAS**

elaborado por
Vanessa Lorenzoni

COMISSÃO EXAMINADORA:

Marcus Vinicius Fontana Copetti, Dr.
(Orientador)

Alex Andre Schmidt, Dr.
(UFSM)

Sandro Barboza Rembold, Dr.
(UFSM)

Santa Maria, 11 de dezembro de 2015

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

1. Ao meu orientador, professor Dr. Marcus Vinicius Fontana Copetti, pelos ensinamentos passados à mim sobre astrofísica e demais conteúdos de física.
2. Aos meus pais que sempre me incentivaram e não permitiram que eu desistisse dos meus sonhos.
3. Aos meus colegas do curso de física, pela amizade e contribuição no aprendizado ao longo desses anos.
4. Aos professores do curso de física.

"Ora (dizeis) ouvir estrelas! Certo perdeste o senso!"

E eu vos direi, no entanto, que para ouvi-las, muita vez desperto e abro as janelas, pálido de espanto... E conversamos toda a noite, enquanto a Via Láctea, como um pálido aberto, cintila. E, ao vir do sol, saudoso e em pranto, ainda as procuro pelo céu deserto.

Dizeis agora: "Tresloucado amigo! que conversas com elas? que sentido tem o que dizem, quando estão contigo?"

E eu vos direi: "Amai para entendê-las! pois só quem ama pode ter ouvido capaz de ouvir e entender estrelas".

Olavo Bilac

Resumo

Os trabalhos de identificação das estrelas ionizantes de regiões H II são essenciais para as determinações de distâncias e idades desses objetos, para a definição da estrutura espiral da Via-Láctea e, indiretamente, para as estimativas dos gradientes Galácticos de abundâncias químicas. Contudo, os estudos ópticos dos objetos observáveis no hemisfério sul, especialmente daqueles associados a regiões H II relativamente pequenas, ionizadas por grupos pouco numerosos de estrelas, continuam longe de estarem completos. Neste trabalho, apresentamos um estudo espectroscópico de estrelas em regiões H II Galácticas pequenas com o objetivo de classificar as estrelas ionizantes desses objetos e estimar suas distâncias. Espectros na faixa de 4000 a 5000 Å obtidos com o telescópio de 1.60 m do Observatório do Pico dos Dias (OPD) foram utilizados para a classificação espectral de estrelas nas direções das regiões H II Bran 157, RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 117, 125 e 130. Essas estrelas foram selecionadas a partir da análise de dados fotométricos nas bandas UBV obtidos com o telescópio de 0.60 m do OPD. Neste trabalho, identificamos as estrelas responsáveis pela ionização de nove regiões H II estudadas (RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 125 e 130) e estimamos suas distâncias por meio do método da paralaxe espectroscópica. Para Bran 157 e RCW 117, não encontramos estrelas ionizantes e, por isso, não obtivemos estimativas de suas distâncias.

Abstract

The identification of the ionizing stars of H II regions are essential to the determination of distances and ages of these objects, to define the spiral structure of the Milky Way and indirectly to the estimates of the Galactic gradients of chemical abundances. However, optical studies of objects observable in the southern hemisphere, especially those associated with relatively small H II regions, ionized by a small groups of stars, are still far from being complete. In this project, we carry out a spectroscopic study of stars towards small Galactic H II regions in order to classify ionizing stars of these objects and estimate their distances. Spectra in the range 4000-5000 Å obtained with the 1.60 m telescope of the Pico dos Dias Observatory (OPD) were used for the spectral classification of stars in the H II regions Bran 157, RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 117, 125 and 130. These stars were selected from photometric data analysis in the UBV bands obtained with the 0.60 m telescope of OPD. In this study, we identify stars responsible for ionization of nine H II regions studied (RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 125, 130) and estimate their distances by the method of spectroscopic parallax. We don't find ionizing stars for Bran 157 and RCW 117 and, therefore, there were no estimates of their distances.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formação de Estrelas e Regiões H II	1
1.2	Objetivos e descrição do trabalho	1
2	BASES DO ESTUDO	3
2.1	Física envolvida na Classificação Espectral	3
2.1.1	Radiação de Corpo Negro	3
2.1.2	Espectro de Absorção das Estrelas	5
2.1.3	Intensidade das linhas de absorção da série de Balmer do hidrogênio	6
2.2	Classificação Espectral	8
2.2.1	CrITÉRIOS utilizados na classificação espectral	9
2.2.2	Estrelas do tipo O	11
2.2.3	Estrelas do tipo B	12
2.3	Paralaxe Espectroscópica	13
3	OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DE DADOS	16
3.1	Observações	16
3.2	Redução de dados espectroscópicos	21
4	RESULTADOS	22
4.1	Classificação espectral das estrelas observadas	22
4.2	Estimativa de distância das estrelas	22
4.3	Estimativa de distância das regiões H II	27
5	DISCUSSÃO	29
5.1	Bran 157	29
5.2	RCW 71	30
5.3	RCW 91	30
5.4	RCW 92	31

5.5	RCW 94	32
5.6	RCW 96	33
5.7	RCW 110	34
5.8	RCW 111	34
5.9	RCW 117	35
5.10	RCW 125	36
5.11	RCW 130	36
6	CONCLUSÃO	38
	Apêndices	42
A	Análise individual das estrelas do tipo O e B	42
A.1	Estrelas de RCW 71	42
A.2	Estrelas de RCW 91	43
A.3	Estrelas de RCW 92	44
A.4	Estrelas de RCW 94	47
A.5	Estrelas de RCW 96	48
A.6	Estrelas de RCW 110	51
A.7	Estrelas de RCW 111	52
A.8	Estrelas de RCW 125	52
A.9	Estrelas de RCW 130	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formação de Estrelas e Regiões H II

Acredita-se que a maioria das estrelas têm origem no interior de nuvens moleculares gigantes. Uma nuvem molecular é densa e fria, com temperatura típica de 15 K (Elmegreen & Lada, 1977), e é composta basicamente por hidrogênio molecular (90%) e hélio (10%). Todos os demais elementos químicos contribuem com menos de 1%. Essas nuvens podem ser induzidas ao colapso gravitacional por ondas de choque devido a supernovas, interações magnéticas e colisões entre nuvens. Quando isso ocorre, com a fragmentação da nuvem, podem surgir estrelas (Elmegreen & Lada, 1977).

Quando as estrelas recém nascidas são massivas ($M \gtrsim 30 M_{\odot}$), elas têm temperatura efetiva suficientemente alta ($T_{\text{ef}} \gtrsim 25\,000\text{ K}$) para ionizar o gás circunvizinho e então surgem as regiões H II, assim chamadas pois H II é o símbolo espectroscópico para hidrogênio ionizado (H I corresponde ao hidrogênio neutro).

Uma estrela quente isolada em um meio homogêneo é capaz de manter a ionização da matéria no interior de uma esfera centrada em si. Essa região H II é denominada de esfera de Strömgren em homenagem a Bengt Strömgren que em 1937 desenvolveu o primeiro modelo satisfatório para as nebulosas fotoionizadas. Em realidade, podemos encontrar as regiões H II em diversas formas, já que a distribuição das estrelas e gás dentro delas não é regular. As regiões H II estão presentes em galáxias espirais (abundantes nos braços espirais, como podemos observar na Figura 1) e irregulares (dispersas) e, raramente, são vistas em galáxias elípticas. Nas galáxias espirais, as regiões H II são importantes traçadores da estrutura da galáxia (Osterbrock & Ferland, 2006).

1.2 Objetivos e descrição do trabalho

Os trabalhos de identificação das estrelas ionizantes de regiões H II são essenciais para as determinações de distâncias e idades desses objetos, para a definição da estrutura espiral da Via Láctea e, indiretamente, para as estimativas dos gradientes galácticos de abundâncias químicas.

Os estudos ópticos dos objetos observáveis no hemisfério sul, especialmente da-



Figura 1: Na imagem a esquerda vemos uma galáxia espiral chamada de M51, onde podemos notar a abundância de regiões H II (pontos avermelhados) em seus braços, e na segunda, a região H II M42, mais conhecida como nebulosa de Órion.

Fonte: <http://tinyurl.com/phfvtoC>, <http://tinyurl.com/nbwxe89>

queles associados a regiões H II relativamente pequenas (com menos de 20 pc de diâmetro), ionizadas por grupos poucos numerosos de estrelas, continuam longe de estarem completos. Muitos objetos interessantes continuam inexplorados.

O objetivo deste trabalho é identificar e classificar espectralmente as estrelas ionizantes de regiões H II galácticas pequenas para determinar suas distâncias pelo método da paralaxe espectroscópica.

2 BASES DO ESTUDO

2.1 Física envolvida na Classificação Espectral

2.1.1 Radiação de Corpo Negro

Um corpo em equilíbrio termodinâmico com o meio que o cerca emite radiação eletromagnética chamada de *radiação térmica* que é dependente de sua temperatura. As leis que descrevem essa radiação são chamadas de Leis de Corpo Negro. As estrelas, em primeira aproximação, emitem um espectro eletromagnético que pode ser descrito por essas leis, que vamos revisar a seguir.

Um corpo negro é um absorvedor ideal que absorve toda radiação incidente sobre ele e reemite essa energia na forma de um espectro contínuo. A radiância espectral por unidade de frequência ν de um corpo negro a uma temperatura T , $B_\nu(\nu, T)$, isto é, a energia emitida por unidades de tempo, área, ângulo sólido e frequência, é dada por:

$$B_\nu(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}, \quad (1)$$

sendo h a constante de Planck, c a velocidade da luz e k_B a constante de Boltzmann. Na Figura 2, mostramos o espectro de um corpo negro para temperaturas de 15 000, 20 000, 25 000 e 30 000 K, temperaturas típicas de estrelas relativamente quentes. Como podemos observar nessa figura, a medida que a temperatura aumenta o máximo do espectro se desloca para frequências maiores. Assim, a maior parte da energia emitida por um corpo negro de alta temperatura (superiores a 20 000 K) encontra-se na faixa ultravioleta do espectro. Quando a temperatura for superior a aproximadamente 25 000 K uma fração significativa dos fótons emitidos terão energia superior a $h\nu \geq 13.6$ eV, que corresponde ao potencial de ionização do átomo de hidrogênio. Logo, as estrelas responsáveis pela ionização das regiões H II devem ter temperaturas na superfície da ordem ou superiores a 25 000 K, características das estrelas O ou B.

Observando que a radiância por unidade de comprimento de onda $B_\lambda(\lambda, T)$ está relacionada com radiância por unidade de frequência $B_\nu(\nu, T)$ por $|B_\nu d\nu| = |B_\lambda d\lambda|$,

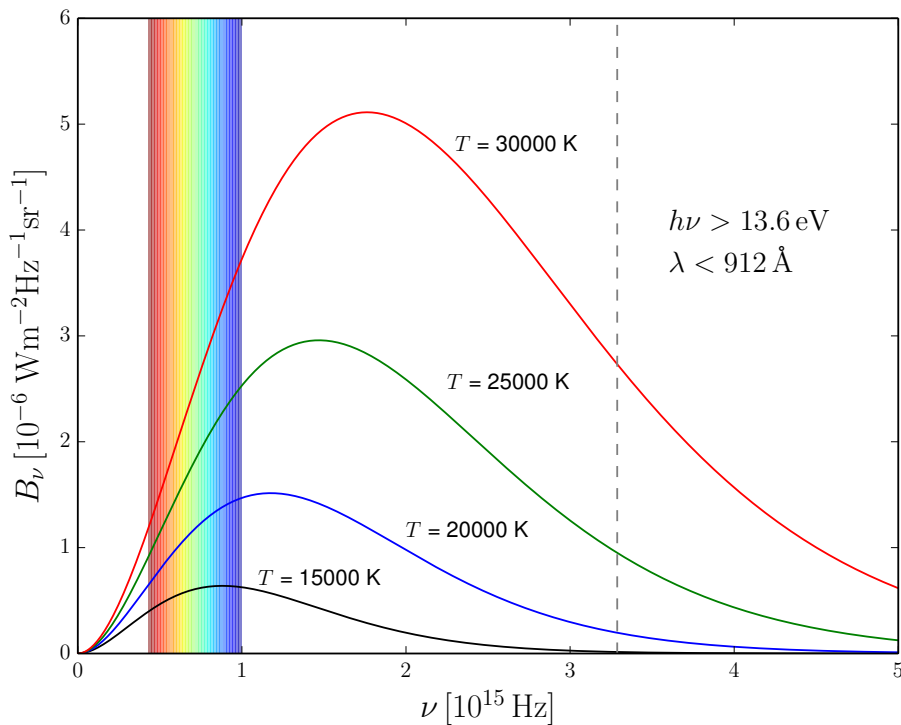


Figura 2: Energia emitida por corpo negro de temperatura T por unidades de tempo, área, ângulo sólido e frequência em função da frequência ν (para $T = 15\,000$, $20\,000$, $25\,000$ e $30\,000 \text{ K}$). A faixa colorida indica o intervalo visível do espectro eletromagnético e a linha vertical corresponde ao potencial de ionização do átomo de hidrogênio.

que $\nu = c/\lambda$ e que, conseqüentemente, $d\nu = -c/\lambda^2 d\lambda$, podemos escrever:

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}. \quad (2)$$

Na Figura 3, mostramos espectro de corpo negro em função do comprimento de onda para diversas temperaturas. Podemos ver que a medida que a temperatura aumenta, o máximo do espectro se desloca para o comprimento de onda menores. É o que nos diz a Lei de Wien:

$$\lambda_{\max} T = \delta, \quad (3)$$

onde $\delta = 2,8977685 \times 10^{-3} \text{ m K}$, que pode ser deduzida a partir da expressão 2 (veja apêndice A).

O fluxo (energia total por unidades de área e de tempo), obtido integrando a radiação por unidade de frequência em todas as frequências e em ângulo sólido, é dado pela Lei de Stefan-Boltzmann:

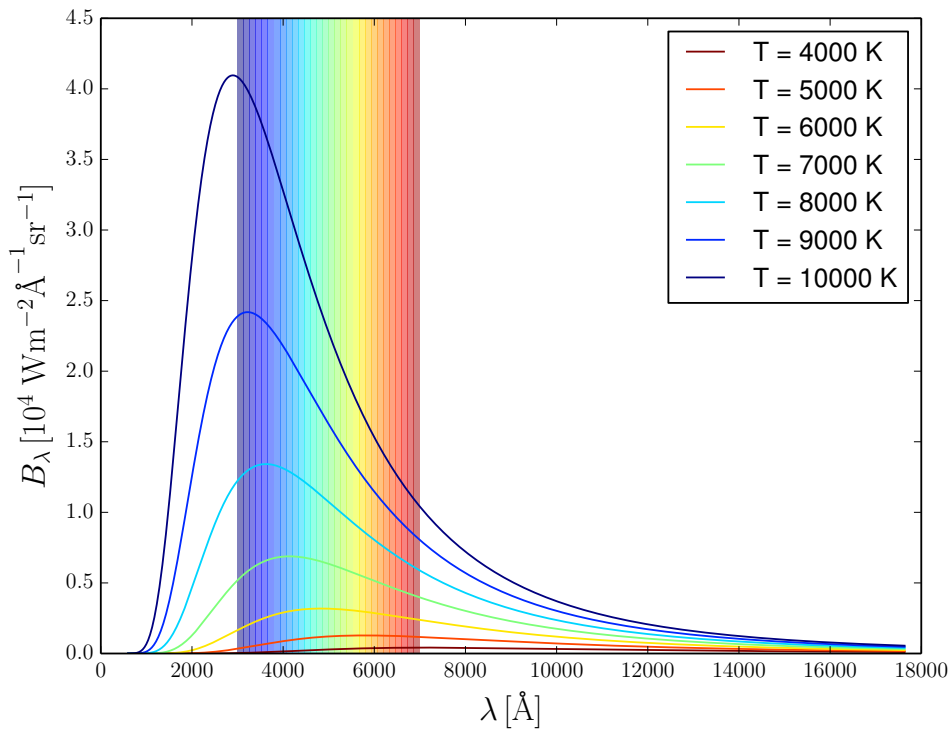


Figura 3: Espectro de emissão de corpo negro em função do comprimento de onda λ . Energia emitida por corpo negro de temperatura T por unidades de tempo, área, ângulo sólido e frequência em função do comprimento de onda λ (para $T = 4\,000$, $5\,000$, $6\,000$, $7\,000$, $8\,000$, $9\,000$ e $10\,000$ K). A faixa colorida indica o intervalo visível do espectro eletromagnético.

$$\int_0^{+\infty} \pi B_\nu(\nu, T) d\nu = \sigma T^4, \quad (4)$$

com

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 h^3} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}. \quad (5)$$

Assim, a energia emitida por um corpo negro por unidade de área e por unidade de tempo é proporcional a temperatura na quarta potência.

2.1.2 Espectro de Absorção das Estrelas

Em primeira aproximação, a radiação produzida por uma estrela obedece a Lei de Planck, como dito anteriormente. Porém, essa radiação passa através das camadas menos densas e mais frias da atmosfera da estrela e quando isso acontece, os átomos absorvem radiação em frequências (ou comprimentos de onda) específicas, produzindo assim as linhas espectrais de absorção. Então, o espectro emitido por uma estrela é um contínuo, que segue aproximadamente a distribuição de corpo negro, com linhas de absorção, que são características dos elementos químicos, em seus diferen-

onde k_B é a constante de Boltzmann, T a temperatura, $g_i = 2i^2$ é a degenerescência para o nível i (o número de diferentes estados com a mesma energia $E_i = -E_0/i^2$, com $E_0 = 13,6$ eV) e $\Delta E_{ij} = E_i - E_j$ é a diferença de energia entre esses níveis.

A medida que a temperatura aumenta, uma fração maior de átomos do hidrogênio serão encontrados no estado ionizado.

A equação de Boltzmann nos permite calcular o número de átomos em um estado ligado em relação ao número total de átomos neutros, mas não diz nada sobre o número de átomos de hidrogênio que estão ionizados. Para quantificar o número de átomos em diferentes estados de ionização, usamos a equação de Saha:

$$\frac{N_{H^+} N_e}{N_{H^0}} = \frac{U_{H^+} g_e (2\pi m_e k_B T)^{3/2}}{U_{H^0} h^3} \exp(-E_0/k_B T), \quad (7)$$

onde N_{H^+} , N_{H^0} e N_e são, respectivamente, as densidades de íons H^+ , de hidrogênio neutro H^0 e de elétron, $g_e = 2$ é o peso estatístico do elétron, $U_{H^+} = 1$ e U_{H^0} são as funções partição do H^+ e H^0 , respectivamente, e m_e é a massa do elétron.

A intensidade I de uma linha da série de Balmer do hidrogênio é diretamente proporcional ao número de átomos que estão no nível 2 em relação ao número total de átomos, tanto neutros como ionizados:

$$I \propto \frac{N_2}{N_{H^0} + N_{H^+}}. \quad (8)$$

A partir das equações 6 e 7 podemos calcular que essa fração vale:

$$I \propto \frac{g_2 h^3 N_e \exp(-\Delta E_2/k_B T)}{g_e (2\pi m_e k_B T)^{3/2} \exp(-E_0/k_B T) + N_e h^3 U_{H^0}}, \quad (9)$$

sendo ΔE_2 a diferença de energia entre os níveis 1 e 2.

Na Figura 5, mostramos os efeitos da temperatura sobre a população do nível 2 em relação ao total de átomos de hidrogênio neutro calculado pela distribuição de Boltzmann (painel superior), sobre a fração de átomos neutros em relação ao total calculada pela equação de Saha (painel do meio) e a população do nível 2 em relação ao total de átomos neutros e ionizados conforme a equação 9 (painel inferior). Essa Figura mostra por que as intensidades da série de Balmer são máximas para estrelas com temperaturas na superfície de 10 000 K. Para temperaturas menores, a fração de átomos que se encontram no nível 2 é baixa, enquanto que, para temperaturas altas, o hidrogênio se encontra quase todo ionizado. Para mais detalhes, ver Gray & Corbally (2009).

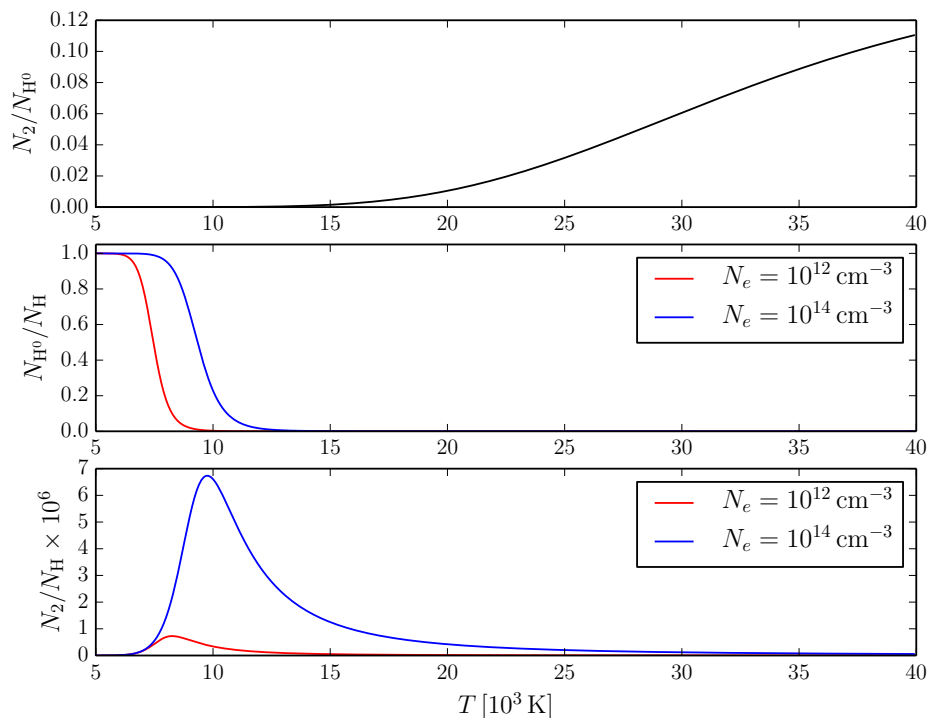


Figura 5: População do nível 2 do hidrogênio em relação ao total de átomos neutros (painel superior), fração de átomos neutros em relação ao total (painel do meio) e população do nível 2 em relação ao total de átomos neutros e ionizados (painel inferior) *versus* temperatura para as densidades eletrônicas de 10^{14} cm^{-3} , típica de uma estrela da sequência principal, e 10^{12} cm^{-3} , típica de uma estrela supergigante.

2.2 Classificação Espectral

O sistema de classificação atual é conhecido como a classificação Morgan-Keenan (MK). Esse sistema consiste em separar as estrelas em grupos de acordo com sua temperatura e são chamados tipos O, B, A, F, G, K e M (sendo as do tipo O as mais quentes e M as mais frias). Além disso, atribui-se a elas subgrupos numerados de 0 a 9.5 (sendo 0 as de maior temperatura e 9.5 as de menor) e adiciona-se números romanos (de I a V) para a classe de luminosidade da estrela (veja tabela 1 e Figura 7) que baseia-se na largura das linhas de absorção do espectro (veja Figura 6). A Figura 6 também nos mostra espectros estelares de diferentes tipos como o de estrelas O5 e B3, assim como alguns elementos químicos (ou bandas moleculares no caso do espectro de tipo M4) responsáveis por algumas linhas de absorção.

Como este trabalho consiste em encontrar as estrelas ionizantes das regiões H II e, como sabemos, somente estrelas quentes ($T_{\text{ef}} \gtrsim 25\,000 \text{ K}$) são capazes de ionizar o gás circundante, procuramos estrelas do tipo O e B. Com isso, devemos estudar mais detalhadamente esses dois tipos espectrais. A tabela 2 mostra algumas características físicas de estrelas O e B.

Tabela 1: Sistema Yerkes de classificação

Nome	Classe	Subclasse
Supergigante	I	I, Ia, Iab, Ib
Gigante Brilhante	II	
Gigante	III	II-III, IIIa, IIIab, IIIb, III-IV
Subgigante	IV	
Anã	V	

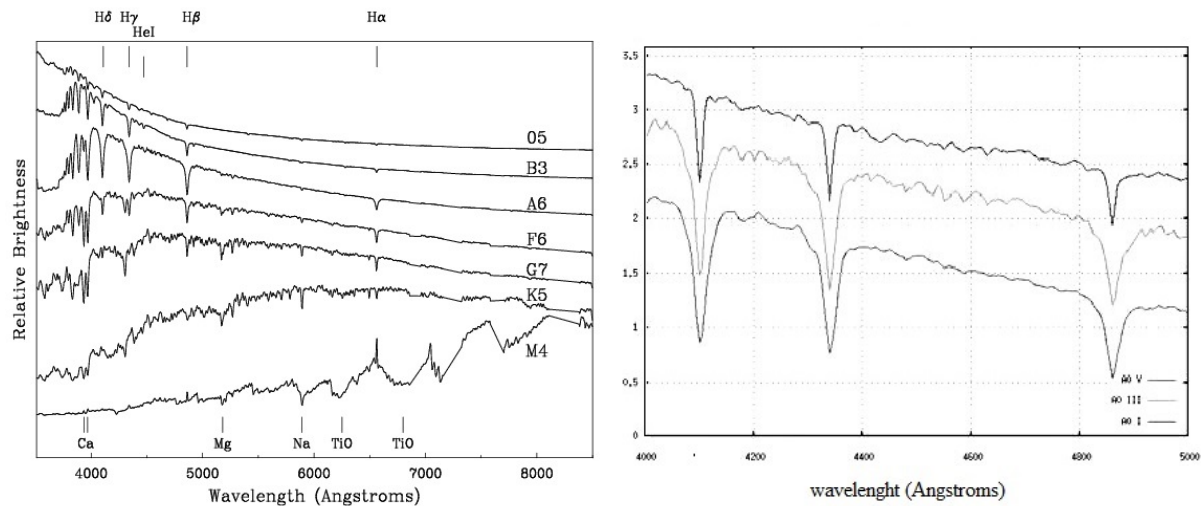


Figura 6: A Figura da esquerda mostra espectros estelares de tipos O5, B3, A5, F5, G7, K5 e M4, assim como alguns elementos químicos (ou bandas moleculares no caso de M4) responsáveis por suas linhas de absorção. Nela podemos ver também o comprimento de onda máximo dos espectros dado pela lei de Wien. Já a imagem da direita nos mostra a diferença entre classes de luminosidade do espectro. O espectro superior, com linhas mais finas, corresponde a uma estrela do tipo A0I, e o espectro inferior, com linhas mais largas, a uma estrela do tipo A0V.

Fonte: http://physics.unm.edu/101lab/lab8/lab8_E.html e <http://blogs.jccc.edu/astronomy/textbook/unit-four-stars/chapter-16-measuring-stellar-properties>.

Tabela 2: Características físicas de estrelas do tipo O e B.

Fonte: Lang (1991), <http://www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/spectraltemps.html>

Tipo Espectral	T_{eff} (K)	Massa (M_{\odot})	Raio (R_{\odot})
O3	52.500	120	15
O5	44.500	60	12
O6	41.000		
O7	38.000	37	10
O8	35.800	23	8.5
O9	33.000		
B0	30.000	17.5	7.4
B3	18.700	7.6	4.8
B5	15.400	5.9	3.9
B8	11.900	3.8	3.0

2.2.1 Critérios utilizados na classificação espectral

Em primeira análise, podemos identificar se uma estrela é do tipo espectral O ou B observando no espectro se há linhas de He I (forte em estrelas do tipo B, sendo sua

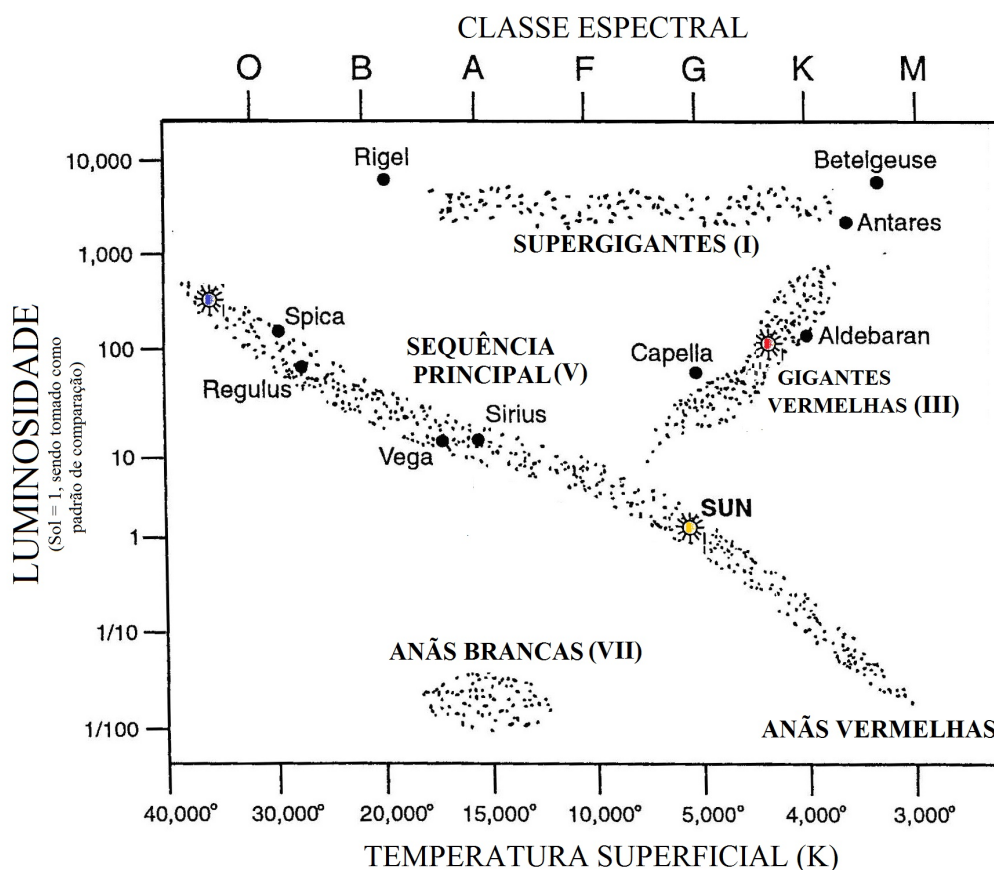


Figura 7: Comportamento de estrelas de acordo com sua temperatura e luminosidade. É mostrado as diferentes classes de luminosidade, supergigantes (I), gigantes (III), sequência principal (V) e anãs brancas (VII).

Fonte: <http://www.sociostudies.org/journal/articles/140516/>.

máxima intensidade em estrelas do tipo B2) e He II (características de estrelas do tipo O), como veremos nas próximas seções. Porém, o principal critério para definir qual o tipo espectral de uma estrela é a medida das larguras equivalentes de cada linha que caracteriza o espectro.

A largura equivalente de uma linha de absorção é uma medida da quantidade de luz que é subtraída do contínuo estelar. Geometricamente, é a largura de uma linha retangular com nível inferior zero e superior igual ao do contínuo e que tem uma área idêntica a da ocupada pelo perfil da linha. A largura equivalente W é definida formalmente por:

$$W_{\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - F_{\lambda})/F_0 d\lambda,$$

onde F_{λ} representa a intensidade ao longo de toda a gama de comprimentos de onda de interesse e F_0 representa a intensidade do contínuo em ambos os lados da absorção (ou emissão). Para as linhas de absorção, o sinal de W_{λ} é positivo e

emissão, negativo. Valores de larguras equivalentes associadas a importantes linhas de absorção de estrelas do tipo O e B da sequência principal são mostradas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Largura equivalente (em Å) de algumas linhas características de estrelas O.
Fonte: Jaschek & Jaschek (1990)

	$H\gamma$ $\lambda 4340$	He II $\lambda 4471$	He II $\lambda 4541$
O4	1.5	0.15	0.8
O6	1.8	0.4	0.8
O8	2.0	0.8	0.6
B0	3.5	1.0	0.2

Tabela 4: Largura equivalente (em Å) de algumas linhas características de estrelas B
Fonte: Jaschek & Jaschek (1990)

	$H\gamma$ $\lambda 4340$	$H\beta$ $\lambda 4861$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4471$	Mg II $\lambda 4481$	C II $\lambda 4267$
B0	3.5	3.8	1.0	1.0	0.1	0.1
B2	5.1	6.0	1.5	1.4	0.2	0.2
B5	6.7	7.5	0.8	0.8	0.3	0.2
B8	10.0	10.0	0.3	0.3	0.4	0.1
A0	13.6	14.0	0.1	0.1	0.4	

2.2.2 Estrelas do tipo O

Essas estrelas são muito quentes e luminosas (com temperatura superficial maior ou igual a 25 000 K e luminosidade entre 10^2 e $10^4 L_{\odot}$), sendo elas de cor azulada. A maior parte da energia emitida encontra-se na faixa ultravioleta do espectro, sendo estas as mais raras estrelas da sequência principal.

Como são tão massivas ($M \gtrsim 30 M_{\odot}$), elas têm núcleos muito quentes, queimando o seu combustível de hidrogênio muito rapidamente e, como isso, são as primeiras a saírem da sequência principal.

O espectro de uma estrela do tipo O é caracterizada pela presença de linhas de hélio neutro (He I) e ionizado (He II) e hidrogênio neutro (H I), como mostra a Figura 8. As linhas de hélio ionizado ficam mais intensas quanto mais quente for a estrela, enquanto que as linhas do hélio neutro e linhas de hidrogênio diminuem. Além do hélio, alguns outros elementos estão também presentes no espectro de uma estrela O, entre eles o Si IV ($\lambda 4089$) e C III ($\lambda 4068$, 4647 e 4651).

Outro critério importante para definir a qual classe espectral a estrela pertence, além dos já citados, é a razão entre linhas. Para as estrelas do tipo O a razão é feita entre as linhas $\lambda 4471$ (He I) e $\lambda 4541$ (He II) (Lang, 1991).

Estrelas Of e Oe: Além da classificação habitual para as estrelas do tipo O (O seguido de um número mais a classe de luminosidade), também temos as estrelas do tipo Of que são estrelas que apresentam linhas de emissão em $\lambda 4686$ (He II) e $\lambda 4630 - 34$ (N III) e as do tipo Oe que apresentam linhas de emissão da série de Balmer ($\lambda 4101$, $\lambda 4340$ e $\lambda 4860$).

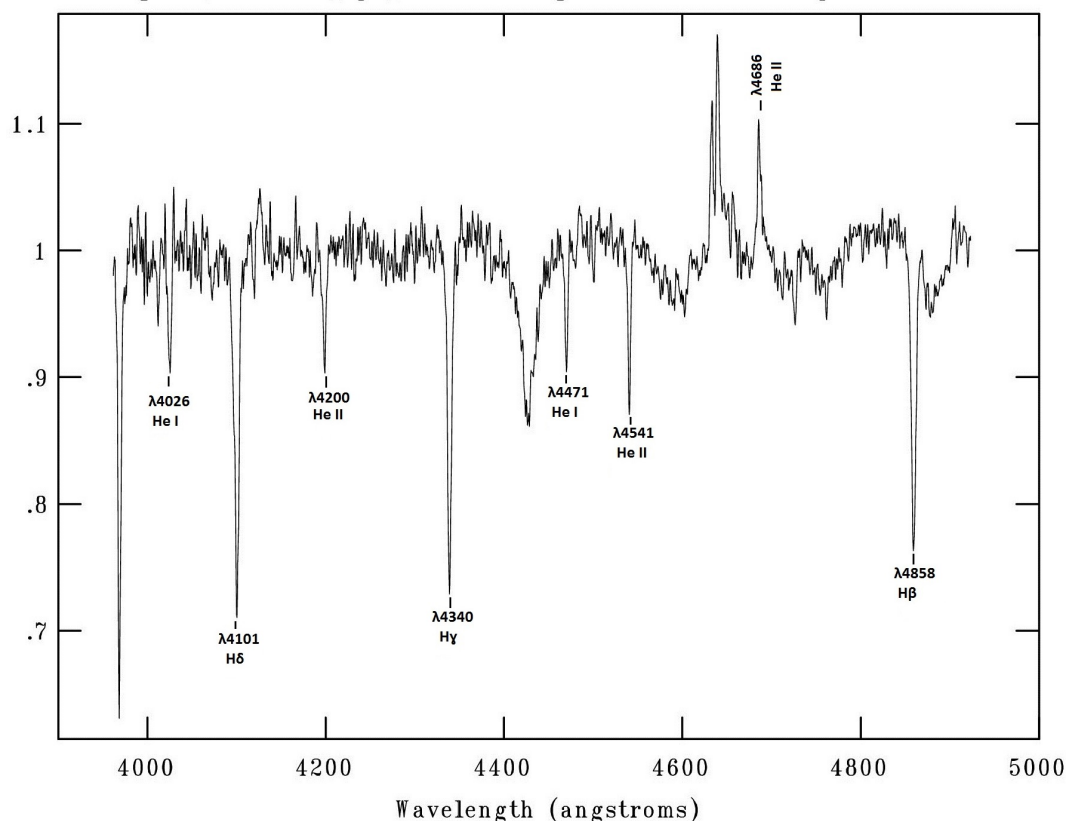


Figura 8: Espectro estelar (normalizado) de uma estrela do tipo O6f (f devido as linhas em emissão). Podemos observar linhas do He II como $\lambda 4541$ e $\lambda 4686$, além de linhas do He I e da série de Balmer.

2.2.3 Estrelas do tipo B

Essas estrelas também são muito luminosas, de cor branco-azulado. O seu espectro é caracterizado por linhas de hélio neutro (He I) e linhas de hidrogênio moderadas. Na Figura 9 podemos observar linhas do He I como $\lambda 4009$, $\lambda 4026$, $\lambda 4471$, além de linhas do C II ($\lambda 4267$) e da série de Balmer. Outras como N II ($\lambda 4631$), Si III ($\lambda 4552$) e Si IV ($\lambda 4089$) também estão presentes nas estrelas B (nas mais quentes) e Mg II ($\lambda 4481$) e Si II ($\lambda 4128 - 30$) (nas mais frias). Como estrelas do tipo espectral O, as do tipo B queimam seu combustível rapidamente, tendo um curto período de vida na sequência principal (~ 2.3 milhões de anos).

As razões entre linhas utilizadas para a classificação espectral de estrelas de tipo

B, são as seguintes: B0 até B1 (Si III 4552/ Si IV 4089); B2 até B8 (Si II 4128 – 30/ He I 4121); B8 até A2 (He I 4471/ Mg II 4481). (Lang, 1991)

Para mais detalhes sobre como classificar esses dois tipos de estrelas (O e B) e também os demais tipos, ver Kaler (1997), Walborn (1971) ou Walborn & Fitzpatrick (1990).

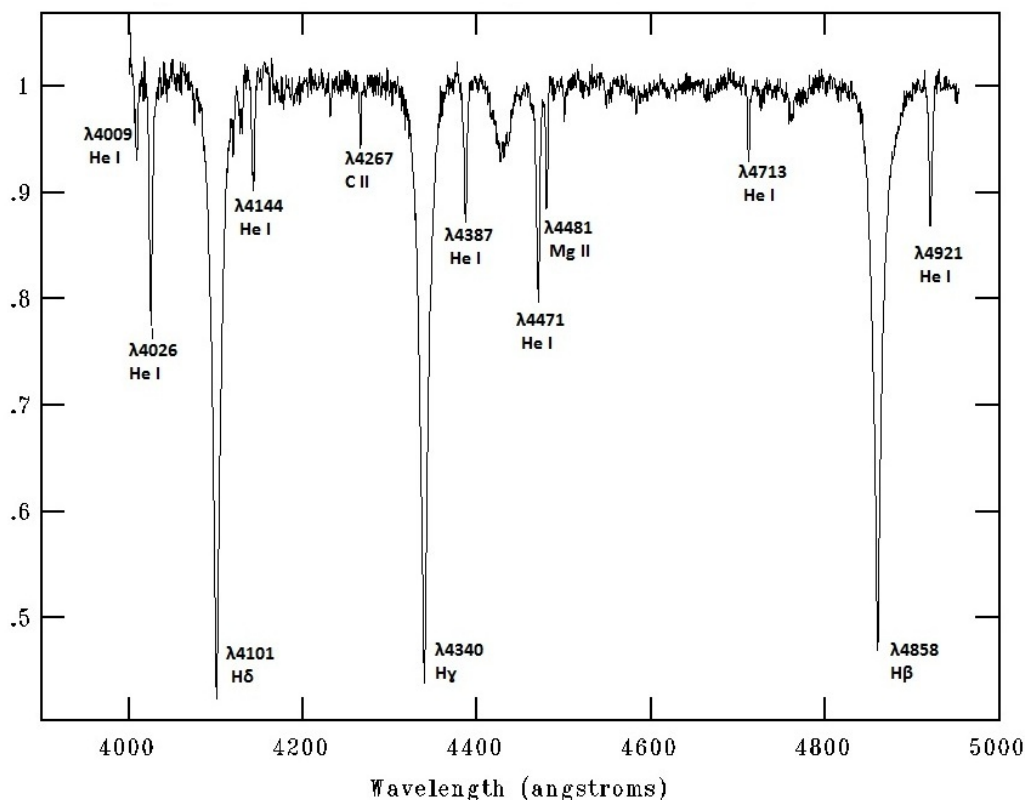


Figura 9: Espectro estelar (normalizado) de uma estrela do tipo B3V, podemos observar linhas do He I como $\lambda 4009$, 4026 , 4471 , entre outras, além de linhas do C II ($\lambda 4267$), do Mg II ($\lambda 4481$) e da série de Balmer.

2.3 Paralaxe Espectroscópica

Paralaxe espectroscópica é um método utilizado para medir as distâncias das estrelas. Podemos aplicá-lo para qualquer estrela para a qual um espectro pode ser obtido e depende da estrela ser suficientemente brilhante para proporcionar um espectro mensurável. Para aplicarmos este método, devemos medir a magnitude aparente da estrela e saber o tipo espectral da mesma. O tipo espectral da estrela fornece uma boa estimativa da magnitude absoluta da estrela e, conhecendo o valor aparente (m) e magnitude absoluta (M) da estrela, podemos calcular a distância (d , em parsecs) da

estrela usando a seguinte equação:

$$m - M = 5 \log d - 5. \quad (10)$$

Porém, a radiação eletromagnética que a estrela emite passa através de gás e poeira contidos no meio interestelar e quando isso ocorre, a radiação sofre absorção e espalhamento, chamamos esse efeito de extinção. A extinção é mais intensa em comprimento de onda menor e por isso tende a avermelhar o espectro. Sendo assim, a radiação que chega até o observador não é a mesma que sai da estrela. Devemos então acrescentar essa correção para a extinção na equação acima:

$$m_V - M_V = 5 \log d - 5 + A_V. \quad (11)$$

A equação para a extinção é dada por:

$$A_V = R_V E(B - V), \quad (12)$$

onde R_V é a razão entre a extinção total e a seletiva na banda V e $E(B - V)$ é denominado excesso de cor. O valor de R_V é de aproximadamente 3.1, porém em estrelas imersas em regiões H II esse valor muda (geralmente para valores mais altos) e $E(B - V)$ é definido por:

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0, \quad (13)$$

sendo a diferença $(B - V)$ o índice de cor medido para a estrela e $(B - V)_0$ o índice de cor intrínseco ao seu tipo espectral. Assim, com o tipo espectral da estrela, pode-se obter os valores da magnitude absoluta (M_V) da estrela e o índice de cor intrínseco $(B - V)_0$, o valor de R_V já é conhecido e os outros valores (m_V e $(B - V)$) são medidos. Com isso, obtém-se os valores necessários para o cálculo de distância de estrelas e, com a distância das estrelas calculados, podemos encontrar as distâncias das suas regiões H II.

Utilizamos o método da paralaxe espectroscópica para calcular a distância das estrelas mostradas na seção 2.2 empregando dados fotométricos no visível, magnitudes UBV , e no infravermelho, magnitudes JHK obtidas do 2MASS. Para o infravermelho usamos: $J - M_J = 5 \log d - 5 + A_J$, com a correção para a extinção na banda J, que é dado por $A_J = R_J E(J - H)$, com $R_J = 2.2$ (Pinheiro, 2009) e o excesso de cor é dado por $E(J - H) = (J - H) - (J - H)_0$. O erro associado ao cálculo da distância é dado por:

$$\sigma_d = \frac{\ln 10}{5} d \sqrt{\sigma_J^2 + \sigma_{M_J}^2 + \sigma_{A_J}^2}, \quad (14)$$

onde σ_J , σ_{M_J} e σ_{A_J} são as incertezas nas magnitudes aparente, absoluta e na extinção na banda J, respectivamente.

As magnitudes absolutas M_V , M_J e os índices de cor intrínsecos $(B-V)_0$, $(J-V)_0$, $(H-V)_0$, $(K-V)_0$, $(J-K)_0$ e $(H-K)_0$ obtidas de Lang (1991), Wegner (1994) e Koornneef (1983) são mostrados na tabela 5 para estrelas do tipo O e B.

Tabela 5: Magnitude absoluta e índices de cor intrínsecos de estrelas do tipo O e B
Fonte: Lang (1991), Wegner (1994) e Koornneef (1983)

SP	M_V	M_J	$(B-V)_0$	$(J-V)_0$	$(H-V)_0$	$(K-V)_0$	$(J-K)_0$	$(H-K)_0$
O5V	-5.33	-4.6759	-0.30	0.73	0.81	0.93	-0.21	-0.05
O6V	-5.11	-4.4559	-0.30	0.73	0.81	0.93	-0.21	-0.05
O6.5V	-4.99	-4.3359	-0.30	0.73	0.80	0.93	-0.21	-0.05
O7V	-4.88	-4.2259	-0.29	0.71	0.79	0.93	-0.21	-0.05
O8V	-4.66	-4.0059	-0.285	0.68	0.77	0.93	-0.21	-0.05
O9V	-4.43	-3.7957	-0.28	0.61	0.72	0.89	-0.19	-0.05
O9.5V	-4.32	-3.6956	-0.27	0.60	0.71	0.87	-0.18	-0.05
B0V	-3.95	-3.3355	-0.26	0.58	0.69	0.85	-0.17	-0.05
B1V	-3.14	-2.5853	-0.23	0.51	0.60	0.76	-0.14	-0.04
B1.5V	-2.92	-2.4151	-0.22	0.49	0.56	0.71	-0.14	-0.04
B2V	-2.70	-2.2252	-0.21	0.48	0.52	0.67	-0.13	-0.04
B3V	-1.68	-1.2850	-0.18	0.39	0.50	0.57	-0.11	-0.03
B4V	-1.28	-0.9449	-0.16	0.36	0.43	0.50	-0.10	-0.03
B5V	-1.21	-0.9247	-0.15	0.33	0.39	0.43	-0.08	-0.02
B7V	-0.67	-0.4845	-0.13	0.28	0.32	0.30	-0.05	-0.02
B8V	-0.49	-0.3444	-0.11	0.24	0.26	0.25	-0.04	-0.01
B9V	+0.10	+0.1558	-0.07	0.15	0.16	0.14	-0.02	-0.01

3 OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DE DADOS

3.1 Observações

Estrelas, candidatas a estrelas ionizantes de diferentes regiões H II, foram selecionadas via fotometria, nas bandas UBV, através do telescópio de 0.6 do Observatório do Pico do Dias (OPD), Brazópolis-MG. Observações espectroscópicas (na faixa de 4000 a 5000Å) de fenda longa foram realizadas com o espectrógrafo Cassegrain do telescópio de 1.6 m do OPD entre os anos de 2011 e 2013. Em torno de 15 exposições de *bias* e 10 exposições de *flat-field* de cúpula foram realizadas a cada início e fim de noite de observação. Para a calibração em comprimento de onda, fizemos exposições de lâmpadas de He-Ar antes e depois da obtenção de cada espectro do objeto. Um registro das observações é apresentado na tabela 6 e nela se encontram as identificações das estrelas no catálogo de fontes pontuais do 2MASS (The Two Micron All Sky Survey, Cutri et al. (2003)) e no banco de dados astronômicos SIMBAD (Wenger et al., 2000) assim como os detectores utilizados na observação, a resolução espectral e o tempo de exposição para cada estrela. Foram obtidos espectros de 65 estrelas diferentes nas direções das regiões H II Bran 157, RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 117, 125 e 130. A escolha dessas regiões foi baseada no fato de que estas ainda não foram estudadas ou pois elas têm poucos dados na literatura.

Tabela 6: Registro das observações

Região HII	Nº	Nome da Estrela 2MASS	Simbad	Data	CCD	Resolução (Å)	Tempo de exposição (s)
Bran 157	1	J08311333-4843279	...	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	2 × 1200
Bran 157	1	J08311333-4843279	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	2 × 1200
Bran 157	CD 48.3848	J08300787-4843233	TYC 8154-6028-1	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 71	2	J12502897-6136224	HD 312000	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 71	3	J12502567-6134548	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 71	3	J12502567-6134548	...	2011 Abr 05	WI105	2.6	2 × 1800
RCW 71	3	J12502567-6134548	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 71	4	J12502263-6134351	...	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	1 × 2400
RCW 71	5	J12502261-6135008	HD 311999	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 71	5	J12502261-6135008	HD 311999	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 71	5	J12502261-6135008	HD 311999	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 71	6	J12501074-6134403	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 71	7	J12501536-6136132	...	2013 Mai 11	DW936BV	2.6	2 × 2400
RCW 71	9	J12502116-6134480	...	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	2 × 2400
RCW 91	2	J15163153-5809249	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 91	2	J15163153-5809249	...	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 91	2	J15163153-5809249	...	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 91	3	J15155625-5812501	TYC 8706-6-1	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 91	4	J15162905-5812336	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 91	4	J15162905-5812336	...	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 91	4	J15162905-5812336	...	2011 Mai 09	WI105	2.6	2 × 1800
RCW 91	5	J15165378-5811318	TYC 8706-58-1	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 91	5	J15165378-5811318	TYC 8706-58-1	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1200

RCW 91	6	J15155993-5811093	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 2000
RCW 91	10	J15164900-5811207	...	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	2 × 2400
RCW 91	J15	J15161885-5811410	...	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	1 × 2400
RCW 91	TYC8706-25-1	J15162864-5812095	TYC 8706-25-1	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 91	TYC8706-25-1	J15162864-5812095	TYC 8706-25-1	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 92	3	J15182044-5639485	TYC 8702-1031-1	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 92	6	J15185257-5640060	...	2013 Mai 11	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 92	8	J15191180-5639171	...	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	3 × 2400
RCW 92	10	J15190657-5642325	...	2013 Mai 11	DW936BV	2.6	5 × 1800
RCW 92	11	J15185311-5644005	TYC 8702-912-1	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 92	11	J15185311-5644005	TYC 8702-912-1	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 92	12	J15191964-5643585	TYC 8702-1208-1	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 92	12	J15191964-5643585	TYC 8702-1208-1	2012 Mai 26	105 S1Te	2.6	1 × 1200
RCW 92	13	J15192473-5643458	TYC 8702-1184-1	2013 Mai 11	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 92	16	J15190459-5637210	...	2013 Mai 11	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 92	23	J15183391-5639160	...	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 2400
RCW 94	5	J15404071-5407376	TYC 8696-2647-1	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 94	5	J15404071-5407376	TYC 8696-2647-1	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	2 × 1200
RCW 94	6	J15410907-5408131	TYC 8696-1271-1	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 94	16	J15421205-5411211	TYC 8696-25-1	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 94	16	J15421205-5411211	TYC 8696-25-1	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 94	16	J15421205-5411211	TYC 8696-25-1	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 94	19	J15422126-5411334	TYC 8696-947-1	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 94	NE_p103	J15415827-5359315	TYC 8696-549-1	2012 Jun 01	105 S1Te	2.6	1 × 1500
RCW 94	NW_p143	J15410548-5359134	HD 139529	2011 Mai 11	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 94	p35	J15421041-5405072	TYC 8696-877-1	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	2 × 1800
RCW 94	SE_p63	J15421205-5411211	TYC 8696-25-1	2011 Mai 11	WI105	2.6	1 × 1200

RCW 94	SE_p112	J15413014-5407111	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 2400
RCW 94	SE2_p70	J15424480-5410507	...	2011 Mai 11	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 94	SE2_p70	J15424480-5410507	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	3 × 2400
RCW 94	SE2_p95	J15423956-5407533	...	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	2 × 2400
RCW 94	SW_p81	J15405936-5410560	TYC 8696-1261-1	2012 Jun 01	105 SITE	2.6	1 × 1200
RCW 94	p35	J15421041-5405072	TYC 8696-877-1	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	2 × 1800
RCW 96	1	J15532526-5515340	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 96	1	J15532526-5515340	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 96	2	J15532488-5515072	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 96	2	J15532488-5515072	...	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 96	2	J15532488-5515072	...	2012 Mai 29	105 SITE	2.6	2 × 1200
RCW 96	3	J15531663-5515475	...	2011 Abr 01	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 96	9	J15531050-5517317	IRAS 15492-5508	2012 Mai 29	105 SITE	2.6	1 × 1200
RCW 96	9	J15531050-5517317	IRAS 15492-5508	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 110	1	J16542176-4513460	...	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1800
RCW 110	1	J16542176-4513460	...	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 110	1	J16542176-4513460	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 110	3	J16542909-4514156	...	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 110	3	J16542909-4514156	...	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	2 × 1800
RCW 110	3	J16542909-4514156	...	2011 Mai 10	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 111	5	J16535553-4508560	...	2011 Abr 05	WI105	2.6	1200 + 600
RCW 111	5	J16535553-4508560	...	2012 Mai 29	105 SITE	2.6	1 × 1800
RCW 111	6	J16535976-4509201	TYC 8327-1070-1	2012 Mai 30	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 111	8	J16534831-4507368	...	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 117	2	J17093379-4136144	...	2013 Mai 10	DW936BV	2.6	1 × 2400
RCW 117	3	J17093327-4135595	...	2012 Jun 01	105 SITE	2.6	2 × 1800
RCW 117	4	J17093943-4136135	...	2012 Jun 01	105 SITE	2.6	2 × 2700

RCW 117	5	J17093253-4137078	...	2012 Jun 01	105 SITE	2.6	1 × 1800
RCW 117	6	J17094604-4133494	HD 326962	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 125	2	J17181760-3712306	TYC 7374-143-1	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 125	3	J17183079-3717555	HD 322986	2011 Abr 05	WI105	2.6	1 × 1200
RCW 125	4	J17182085-3715123	TYC 7374-47-1	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	3 × 1800
RCW 125	6	J17183555-3713563	TYC 7374-228-1	2012 Jun 01	105 SITE	2.6	1 × 1800
RCW 125	6	J17183555-3713563	TYC 7374-228-1	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	2 × 1800
RCW 130	2	J17170809-3407102	HD 156100	2012 Mai 27	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 130	3	J17181531-3407511	TYC 7370-148-1	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	1 × 1800
RCW 130	4	J17182452-3406429	HD 156326	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	3 × 1800
RCW 130	5	J17175966-3405224	...	2013 Mai 12	DW936BV	2.6	1 × 1200
RCW 130	6	J17172337-3405538	HD 319594	2012 Mai 29	105 SITE	2.6	1 × 1200

3.2 Redução de dados espectroscópicos

A redução de dados foi feita através do *software* IRAF (Image Reduction and Analysis Facility), executando o procedimento padrão para a redução de dados espectroscópicos de fenda longa que será descrito a seguir.

Analisamos um conjunto de imagens *flat-fields* com a tarefa *implot* para determinar a região útil dos dados e a região de *overscan*. Após, com a tarefa *zerocombine*, combinamos as exposições de *bias*, gerando uma nova imagem que chamamos de *bias-médio*. Para subtrair o *bias-médio* e eliminar as regiões de *overscan*, utilizamos a tarefa *ccdproc* e isso foi aplicado para as exposições *flat-fields* e objetos.

Em seguida, dividimos as imagens dos objetos por um *flat-field-médio* (gerada através da tarefa *flatcombine*) a fim de eliminar variações locais de sensibilidade dos pixels do CCD. Para isto, utilizamos novamente a tarefa *ccdproc*.

Feito a correção do *bias* e do *flat-field*, iniciamos a remoção de raios cósmicos. Esse procedimento consiste em remover, manualmente, em cada imagem de objeto e lâmpadas de comparação (utilizando a tarefa *imedit*), os pixels afetados por raios cósmicos, fazendo interpolações com pixels vizinhos. Seguido disso, utilizando a tarefa *apall*, extraíndo os espectros unidimensionais, configurando parâmetros como a subtração do céu.

Iniciamos então o procedimento de calibração em comprimento de onda, identificando algumas linhas nos espectros de lâmpadas de comparação (He-Ar). Para isso usamos a tarefa *identify*. Após, com a tarefa *reidentify*, aplicamos as informações da lâmpada de comparação nas exposições de lâmpadas feitas para cada objeto.

Com a tarefa *dispcor* transformamos a identificação da posição de pixel para comprimento de onda e, como foram feitos dois espectros de lâmpadas de comparação para cada exposição de estrelas, definimos peso 1/2 para cada função e aplicamos a média na calibração.

Por fim, os espectros (já em função comprimento de onda) foram normalizados, sendo eles divididos por uma função spline de ordem entre 5 e 9, ajustada ao contínuo.

4 RESULTADOS

4.1 Classificação espectral das estrelas observadas

Na seção 2.2 apresentamos alguns critérios utilizados para fazer classificação espectral. Agora, aplicamos esse conhecimento e classificamos as estrelas observadas em cada região H II. As onze regiões estudadas são mostradas mais detalhadamente nas sessões seguintes e dentre todas elas foram obtidos espectros de 65 estrelas. Na tabela 7 apresentamos o resultado da classificação espectral para as estrelas observadas. Das 65 estrelas observadas, 28 foram classificadas como do tipo espectral O ou B. As demais não serão discutidas nesse trabalho.

4.2 Estimativa de distância das estrelas

As magnitudes absolutas e as cores intrínsecas no infravermelho foram corrigidas para o sistema 2MASS usando as expressões apresentadas por Carpenter (2001). A tabela 8 apresenta, para cada estrela indicada, as medidas das magnitudes aparentes nas bandas $BVJHK$ e seus erros associados. Os dados no infravermelho foram obtidos do 2MASS e os visíveis do SIMBAD. As estimativas de distâncias obtidas com base nos dados no infravermelho são apresentadas na tabela 9 e as com base nos dados ópticos na tabela 10, juntamente com as informações necessárias para o cálculo da distância (tipo espectral, magnitudes absoluta e aparente).

Tabela 7: Classificação espectral das 65 estrelas observadas

Região HII	Estrela	Tipo espectral	Região HII	Estrela	Tipo espectral
Bran 157	1	A2 I	RCW 94	p35	B9 V
Bran 157	CD 48_3848	F8 V	RCW 94	SE_p63	O6 V
RCW 71	2	B9 V	RCW 94	SE_p63_ap1	F5 V
RCW 71	3	B2 V	RCW 94	SE2_p95	F5 V
RCW 71	4_ap1	baixo S/N	RCW 94	SW_P81	F0 V
RCW 71	4_ap3	K2/3 V	RCW 96	1	B1 V
RCW 71	5	O9.5 V	RCW 96	2	B1 V
RCW 71	6	F2 V	RCW 96	3	F2 V
RCW 91	2	B3 V	RCW 96	9	F:
RCW 91	3	F2 Ib	RCW 96	9_ap1	M7II
RCW 91	4	B2 V	RCW 110	1	O8 V
RCW 91	5	B3 V	RCW 110	3	A2/3 IV
RCW 91	6	B9 V	RCW 110	4	B1 V
RCW 91	TYC8706-25-1	F8 V	RCW 111	5	O8 V
RCW 91	J15_ap2	G9/9.5 V	RCW 111	6	A1IV
RCW 92	3	A0 V	RCW 111	8	G5 V
RCW 92	6	G0 V	RCW 117	3_a	A7 V
RCW 92	8	F5 V	RCW 117	3_e	K:
RCW 92	10	O6.5 V	RCW 117	4	F8 V
RCW 92	10_ap1	G0 V	RCW 117	5	A0 IV
RCW 92	11	F8 V	RCW 117	5_ap1	F8 III
RCW 92	12	A0 IV/V	RCW 117	6	A3 V
RCW 92	13	G0 V	RCW 125	2	G0 V
RCW 92	16	A8 I	RCW 125	3	B7 V
RCW 94	5	B4 V	RCW 125	4	B3 V
RCW 94	6	A0 V	RCW 125	6	B3 V
RCW 94	16	O6 V	RCW 125	8	G:
RCW 94	16_ap1	F2 V	RCW 130	3_ap1	A5 I
RCW 94	19	B9 V	RCW 130	3	A9 I
RCW 94	NE_p103	B7 V	RCW 130	4	B1.5 V
RCW 94	NW_p143	B5 V	RCW 130	5	B9 II
RCW 94	SE_p112	B5 V	RCW 130	6	A3 V
RCW 94	SE2_p70	B3 V			

Tabela 8: Registro de magnitudes das estrelas OB

Região HII	Estrela	2MASS	Sp type	m_B	σ_B	m_V	σ_V	m_J	σ_J	m_H	σ_H	m_K	σ_K
RCW 71	2	J12502897-6136224	B9 V	12.57	0.20	12.31	0.20	10.592	0.024	10.370	0.022	10.305	0.023
RCW 71	3	J12502567-6134548	B2 V					10.934	0.030	10.343	0.036	10.116	0.033
RCW 71	5	J12502261-6135008	O9.5 V	11.4		10.8		9.382	0.024	9.164	0.029	9.069	0.027
RCW 91	2	J15163153-5809249	B3 V					10.641	0.024	10.379	0.027	10.258	0.029
RCW 91	4	J15162905-5812336	B2 V					10.730	0.023	10.369	0.026	10.185	0.030
RCW 91	5	J15165378-5811318	B3 V	11.85	0.11	11.15	0.08	9.649	0.024	9.438	0.027	9.291	0.026
RCW 91	6	J15155993-5811093	B9V					10.849		10.557	0.030	10.439	0.032
RCW 92	3	J15182044-5639485	B9 V	11.78	0.10	11.65	0.16	10.719	0.023	10.634	0.025	10.551	0.022
RCW 92	10	J15190657-5642325	O6.5 V					9.232	0.021	8.784	0.021	8.597	0.022
RCW 92	12	J15191964-5643585	B9 V	10.63	0.05	10.30	0.05	9.735	0.021	9.676	0.023	9.648	0.022
RCW 94	5	J15404071-5407376	B4 V	12.06	0.16	11.57	0.15	10.429	0.026	10.262	0.031	10.141	0.024
RCW 94	6	J15410907-5408131	B9 V	10.38	0.04	10.31	0.04	9.958	0.024	9.879	0.023	9.811	0.019
RCW 94	16	J15421205-5411211	O6 V	12.59		10.98		7.469	0.026	7.072	0.027	6.861	0.021
RCW 94	19	J15422126-5411334	B9V	10.01	0.03	10.13	0.04	9.851	0.024	9.863	0.022	9.855	0.021
RCW 94	NE_p103	J15415827-5359315	B7 V	11.46	0.09	11.06	0.09	10.511	0.023	10.464	0.024	10.418	0.021
RCW 94	NW_p143	J15410548-5359134	B5 V	9.64	0.02	9.66	0.03	9.586	0.032	9.633	0.038	9.638	0.034
RCW 94	SE_p112	J15413014-5407111	B5V					11.960	0.026	11.622	0.032	11.335	0.026
RCW 94	SE2_p70	J15424480-5410507	B3V					11.013	0.022	10.653	0.037	10.131	0.032
RCW 94	p35	J15421041-5405072	B9 V	11.80	0.13	11.10	0.10	10.296	0.021	10.197	0.022	10.121	0.022
RCW 96	1	J15532526-5515340	B1 V					10.026	0.024	9.656	0.030	9.345	0.030
RCW 96	2	J15532488-5515072	B1 V					10.959	0.027	10.598	0.035	10.372	0.035
RCW 110	1	J16542176-4513460	O8 V					9.781	0.023	9.439	0.026	9.301	0.023 _N

RCW 110	4	J16542909-4514156	B1 V						11.547	0.021	11.276	0.025	11.159	0.025
RCW 111	5	J16535553-4508560	O8 V					9.190	0.032	8.928	0.032	8.777	0.030	
RCW 125	3	J17183079-3717555	B7 V	11.55	0.08	11.25	0.10	10.161	0.023	10.018	0.024	9.899	0.028	
RCW 125	4	J17182085-3715123	B3 V	12.42	0.22	11.90	0.20	10.862	0.025	10.667	0.027	10.571	0.030	
RCW 125	6	J17183555-3713563	B3 V	12.66	0.26	12.21	0.23	9.855	0.046	9.507	0.027	9.345	0.029	
RCW 130	4	J17182452-3406429	B1.5 V	10.02		9.90		9.573	0.024	9.547	0.022	9.527	0.021	

Tabela 9: Distância estimada para as estrelas observadas

Região H II	Estrela	Sp type	M_J	m_J	A_J	$d(kpc)$	σ_d
RCW 71	2	B9 V	+0.1558	10.592	0.610	0.923	0.13
RCW 71	3	B2 V	-2.2252	10.934	1.604	2.046	0.31
RCW 71	5	O9.5 V	-3.6956	9.382	0.873	2.760	0.41
RCW 91	2	B3 V	-1.2850	10.641	0.855	1.638	0.24
RCW 91	4	B2 V	-2.2252	10.730	1.098	2.352	0.35
RCW 91	5	B3 V	-1.2850	9.649	0.743	1.092	0.16
RCW 91	6	B9V	+0.1558	10.849	0.764	0.968	0.14
RCW 92	3	B9 V	+0.1558	10.719	0.308	1.125	0.16
RCW 92	10	O6.5 V	-4.3359	9.232	1.443	2.661	0.40
RCW 92	12	B9 V	+0.1558	9.735	0.251	0.734	0.11
RCW 94	5	B4 V	-0.9449	10.429	0.624	1.412	0.21
RCW 94	6	B9 V	+0.1558	9.958	0.295	0.797	0.12
RCW 94	16	O6 V	-4.4559	7.469	1.331	1.315	0.20
RCW 94	19	B9V	+0.1558	9.851	0.095	0.832	0.12
RCW 94	NE_p103	B7 V	-0.4845	10.511	0.271	1.396	0.20
RCW 94	NW_p143	B5 V	-0.9247	9.586	0.128	1.193	0.17
RCW 94	SE_p112	B5V	-0.9247	11.960	0.976	2.409	0.36
RCW 94	SE2_p70	B3V	-2.5853	11.013	1.071	1.759	0.13
RCW 94	p35	B9 V	+0.1558	10.296	0.339	0.913	0.13
RCW 96	1	B1 V	-2.5853	10.026	1.139	1.970	0.29
RCW 96	2	B1 V	-2.5853	10.959	1.119	3.055	0.45
RCW 110	1	O8 V	-4.0059	9.781	1.210	3.277	0.49
RCW 110	4	B1V	-2.5853	11.547	0.921	4.387	0.65
RCW 111	5	O8 V	-4.0059	9.190	1.034	2.707	0.40
RCW 125	3	B7 V	-0.4845	10.161	0.482	1.078	0.16
RCW 125	4	B3 V	-1.2850	10.862	0.707	1.940	0.28
RCW 125	6	B3 V	-1.2850	9.855	1.044	1.045	0.15
RCW 130	4	B1.5V	-2.4151	9.573	0.382	2.095	0.30

Tabela 10: Distância estimada para as estrelas observadas usando a banda V

Estrela	M_V	m_V	A_V	A_V^*	d (kpc)	σ_d
RCW 71-2	+0.10	12.31	1.02	2.102	1.65	0.28
RCW 71-5	-4.32	10.80	2.70	3.009	3.02	0.59
RCW 91-5	-1.68	11.15	2.73	2.561	1.01	0.19
RCW 92-3	+0.10	11.65	0.62	1.063	1.47	0.23
RCW 92-12	+0.10	10.30	1.24	0.865	0.592	0.08
RCW 94-5	-1.28	11.57	2.02	2.153	1.48	0.26
RCW 94-6	+0.10	10.31	0.43	1.017	0.861	0.13
RCW 94-16	-4.99	10.98	5.92	4.589	1.29	0.34
RCW 94-19	+0.10	10.13	-0.15	0.326	1.04	0.14
RCW 94-NE_p103	-0.67	11.06	1.64	0.935	1.01	0.16
RCW 94-NW_p143	-1.21	9.66	0.40	0.442	1.23	0.17
RCW 94-p35	+0.10	11.10	2.39	1.169	0.504	0.09
RCW 125-3	-0.67	11.25	1.33	1.664	1.27	0.21
RCW 125-4	-1.68	11.90	2.17	2.439	1.85	0.35
RCW 125-6	-1.68	12.21	1.95	3.601	2.36	0.46
RCW 130-4	-2.92	9.90	1.05	1.318	2.34	0.34

Na tabela 10 apresentamos dois valores distintos para a extinção: A_V e A_V^* ; A_V^* foi calculado a partir do valor de A_J , usando a relação $A_V^* = A_J/0.29$ e A_V utilizando o excesso de cor $E(B - V)$ e a razão entre a extinção total e a seletiva na banda V $R_V = 3.1$. Como o valor de R_V em regiões H II geralmente é maior que 3.1, poderíamos, utilizando A_J , encontrar o valor apropriado, para cada região, da razão entre a extinção total e a seletiva na banda V fazendo: $R_V = (A_J/0.29)/E(B - V)$.

4.3 Estimativa de distância das regiões H II

Obtivemos estimativas das distâncias para nove regiões H II a partir da média dos valores de distância das estrelas OB encontradas em cada objeto na banda J. Não foi possível estimar as distâncias das regiões Bran 157 e RCW 117, pois não foram encontradas estrelas que fossem suficientemente quentes para estarem ionizando o gás circundante. Na tabela 11 apresentamos os tipos espectrais das estrelas OB encontradas e a estimativa de distância de cada região H II.

Tabela 11: Distância estimada para as Regiões H II

Região H II	estrelas ionizantes	distância (kpc)	$\bar{\sigma}_d$
RCW 71	O9.5V, B2V	2.403	0.36
RCW 91	2 × B3V, B2V, B9V	1.512	0.14
RCW 92	O6.5V	2.661	0.40
RCW 94	O6V, B3V, B4V, B5V, B7V, 3× B9V	1.202	0.06
RCW 96	2× B1V	2.512	0.38
RCW 110	O8V, B1V	3.832	0.57
RCW 111	O8V	2.707	0.40
RCW 125	2× B3V, B7V	1.354	0.15
RCW 130	B1.5	2.095	0.30

5 DISCUSSÃO

Apresentamos a seguir uma análise das determinações de tipos espectrais e das estimativas de distâncias, procurando identificar as estrelas responsáveis pela ionização das regiões H II.

5.1 Bran 157

Situada na constelação de Vela, a região H II Bran 157 possui dimensão de aproximadamente 30 minutos de arco. Nessa região, apenas uma estrela já havia sido classificada. Trata-se de HD 72593 classificada como uma estrela B5V (Houk, 1978). Fizemos observações de duas estrelas, Bran157-1 e Bran157-CD48_3848, que foram classificadas respectivamente como A2 I e F8 V. Na Figura 10 apresentamos imagens dessa região no visível e em $H\alpha$, indicando as posições das três estrelas classificadas. Nenhuma dessas pode ser responsável pela ionização da região H II. Por isso, não obtivemos uma estimativa de distância para essa região.

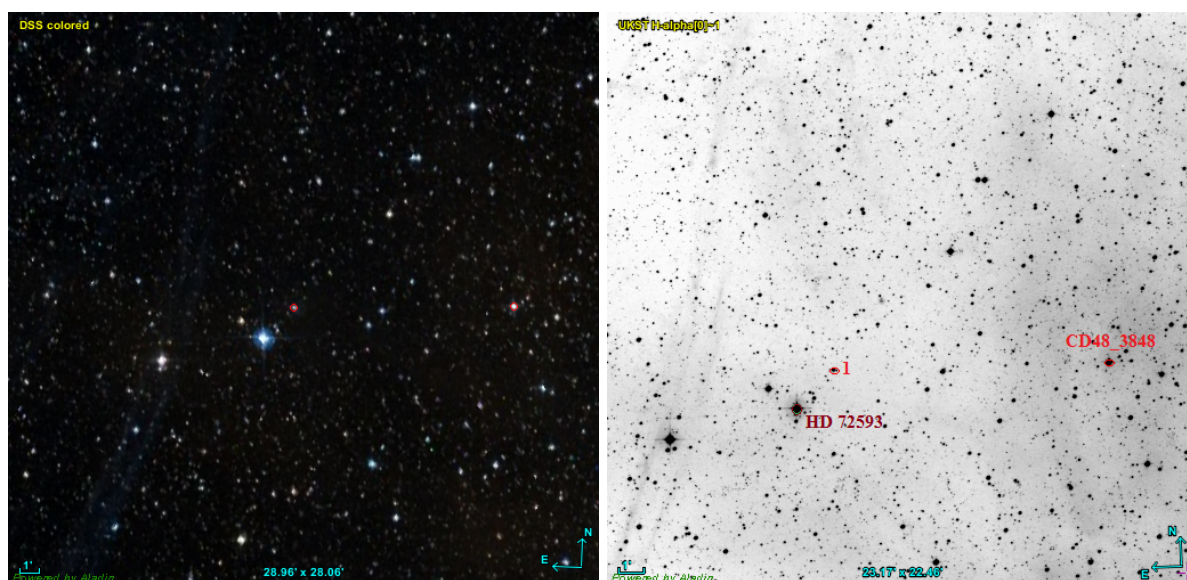


Figura 10: À esquerda, imagem da região H II Bran 157 no visual, obtida através do SDSS (Sloan Digital Sky Survey). À direita, imagem em $H\alpha$ da mesma região, obtida do SHS (Supercosmos H-alpha Survey). Os círculos em vermelho indicam as estrelas classificadas espectroscopicamente.

Fonte: Aladin Sky Atlas

5.2 RCW 71

A região H II RCW 71 encontra-se na constelação de Centauro e tem por dimensão 4×3 minutos de arco (Rodgers et al., 1960). Duas estrelas já haviam sido classificadas: HD 312000, classificada como uma estrela A0 por Cannon & Mayall (1949), e HD 311999, classificada como O9.5 V por Crampton (1971).

Em RCW 71, observamos oito estrelas, entre as quais as duas previamente classificadas (ver Figura 11). Das oito estrelas observadas, apenas três são do tipo espectral O ou B. Estas são RCW71-2 (= HD 312000), RCW71-3 e RCW71-5 (= HD 311999), classificadas como B9 V, B5 V e O9.5 V, respectivamente. A distância estimada para RCW71-2 é 0.923 kpc, para RCW71-3, de 2.046 kpc, e para a estrela RCW71-5, de 2.760 kpc. Concluimos que RCW71-2 é uma estrela de campo e que RCW71-3 e 5 são responsáveis pela ionização da nebulosa. Com base nessas duas estrelas, uma distância de 2.403 kpc é estimada para RCW 71.

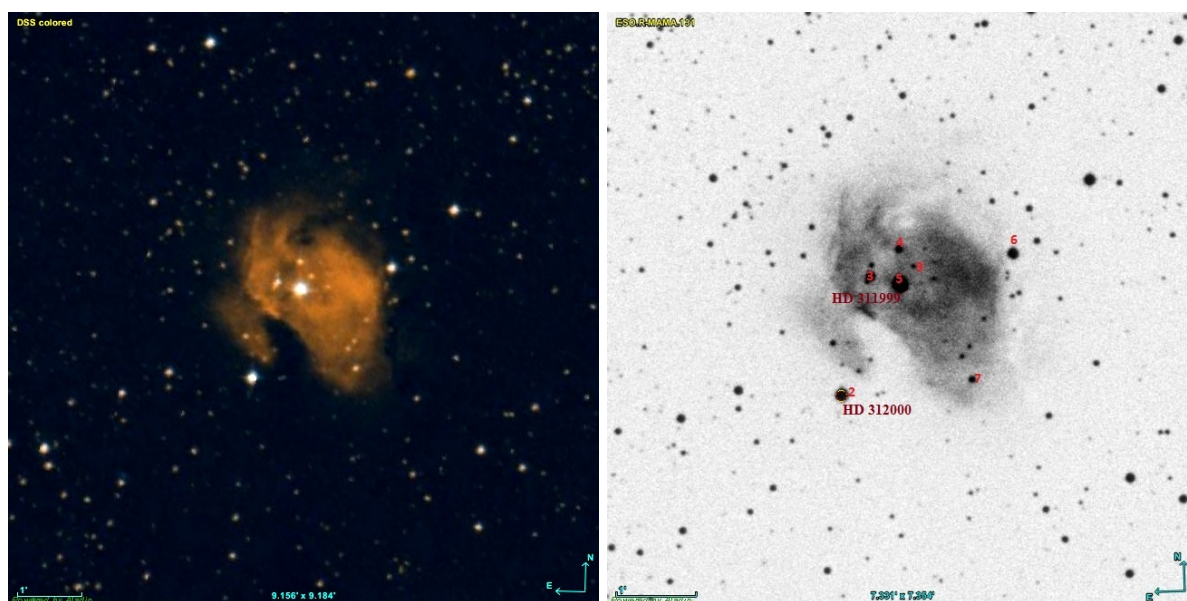


Figura 11: A imagem à esquerda nos mostra a região H II RCW 71 e foi obtida através do DSS (Digitized Sky Survey). À direita, imagem H α da mesma região, sendo indicadas as estrelas classificadas dessa região.

Fonte: Aladin Sky Atlas

5.3 RCW 91

De dimensão 11×10 minutos de arco (Rodgers et al., 1960), esta região H II está localizada na constelação de Circinus. Três estrelas dessa região já haviam sido classificadas e suas identificações são: WR 67a, HD 135042 e HD 135041, classificadas, respectivamente, como WN6h (Roman-Lopes, 2011), F5V e B9.5IV (Houk & Cowley, 1975).

Nessa região H II observamos nove estrelas, entre as quais quatro de tipo espectral O ou B (ver Figura 12). Essas quatro são RCW91-2, RCW91-4, RCW91-5 e RCW91-6, classificadas como B3 V, B2 V, B3 V e B9 V, respectivamente. A estrela RCW91-6 é uma estrela fria em relação as demais e não contribui para a ionização da região H II, mas está a uma distância semelhante às demais. A média das distâncias dessas quatro estrelas indica que RCW 91 está a uma distância de 1.512 kpc.

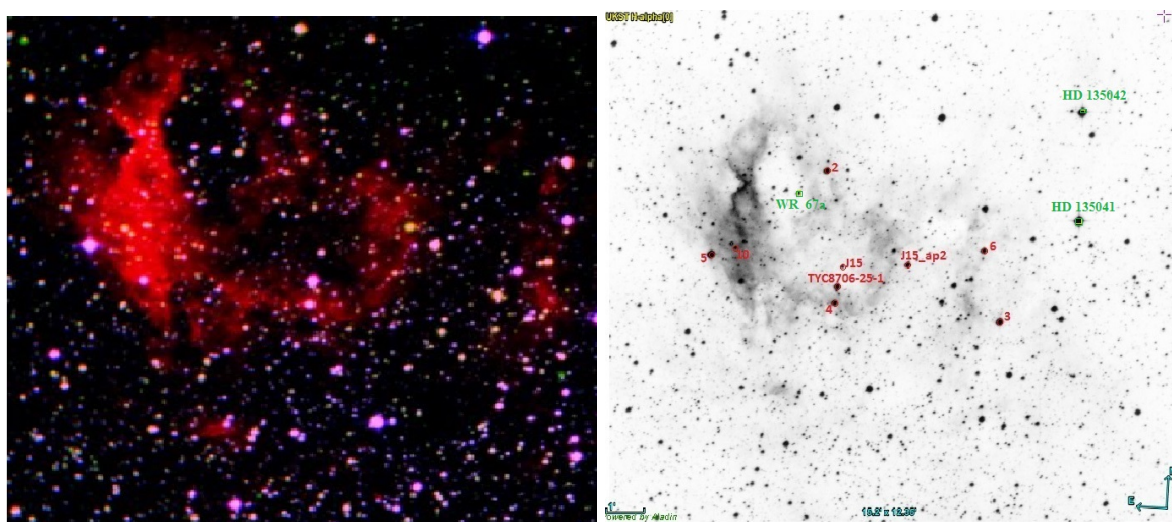


Figura 12: A imagem à esquerda mostra a região H II RCW 91 e esta foi obtida através do *Galaxy Map*. À direita, imagem H α da mesma região, sendo indicadas em verde as estrelas classificadas na literatura e, em vermelho, as estrelas estudadas neste trabalho.

Fonte: *GalaxyMap* e *Aladin Sky Atlas*

5.4 RCW 92

Também localizada na constelação de Circinus, esta região H II possui dimensão de 8×5 minutos de arco (Rodgers et al., 1960). Quatro estrelas já haviam sido classificadas para região e são chamadas de: HD 135916 (classificada em dois diferentes estudos (Houk & Cowley (1975) e Bidelman & MacConnell (1973))), [OM80] 58 cuja classificação foi dada como OB (Orsatti & Muzzio, 1980), HD 135606 classificada como B6/9V e HD 135473 como B8/9V (Houk & Cowley, 1975).

Nesta região H II obtivemos espectros para dez estrelas e três foram classificadas como do tipo espectral O ou B. Essas estrelas são RCW92-3, RCW92-10 e RCW92-12 e foram classificadas como B9V, O6.5V e B9V, respectivamente. As estrelas RCW92-3 e 12 não contribuem para a ionização da região H II e suas distâncias são de 1.125 kpc e 0.734 kpc, respectivamente. Em comparação com RCW92-10, que possui uma distância estimada de 2.661 kpc, podemos concluir que RCW92-3 e 12 são estrelas de campo.

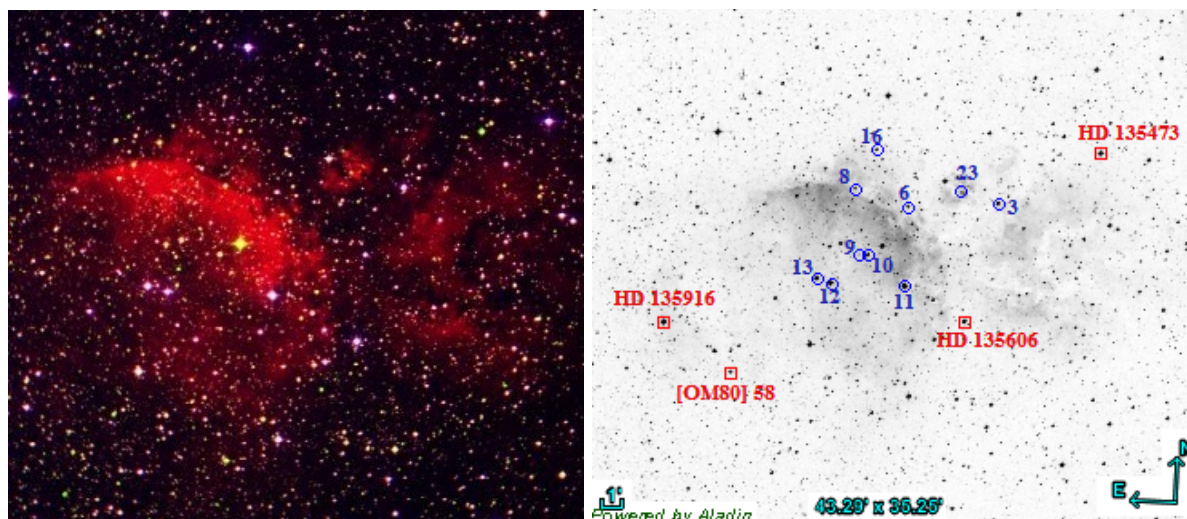


Figura 13: À esquerda, a imagem da região H II RCW 92, obtida através do site *Galaxy Map*. À direita, imagem H α da mesma região, sendo indicadas, em azul, as estrelas observadas dessa região e em vermelho as estrelas classificadas na literatura.

Fonte: GalaxyMap e Aladin Sky Atlas

5.5 RCW 94

Uma das maiores regiões H II estudadas neste trabalho, a região RCW 94 tem por dimensão 20×20 minutos de arco (Rodgers et al., 1960) e situa-se na constelação de Norma.

Nessa região foram classificadas dez estrelas, nove delas como tipo espectral O ou B (ver Figura 14). Essas estrelas foram chamadas de RCW94-5, RCW94-6, RCW94-16 (SE_p63), RCW94-NW_p143, RCW94-SE_p112, RCW94-SE2_p70, RCW94-19, RCW94-NE_p103 e RCW94_p35 e classificadas como B4 V, B9 V, O6 V, B5 V, B5 V, B3 V, B9 V, B7 V e B9 V, respectivamente.

Na literatura há quatro estrelas já classificadas e são identificadas como: HD 139738, HD 139635 e HD 139529 (RCW94-NW_p143 neste trabalho) e foram classificadas, respectivamente, como B9 IV, B9 IV/V e B5 V por Houk & Cowley (1975) e também a estrela LS 3386 (denominada assim em três diferentes artigos Bassino et al. (1982), Stephenson & Sanduleak (1971) e Drilling & Perry (1981) ou [OM80] 114 denominada assim por Orsatti & Muzzio (1980), sem classificação), (RCW94-16 neste trabalho).

As estrelas RCW94-6, 19, NE_p103 e p35 não contribuem para a ionização da região H II, mas estão a uma distância semelhante às demais. Já RCW94-SE_p112 acreditamos que seja estrela de campo. A média das distâncias dessas estrelas indicam que RCW 94 está a uma distância de 1.202 kpc.

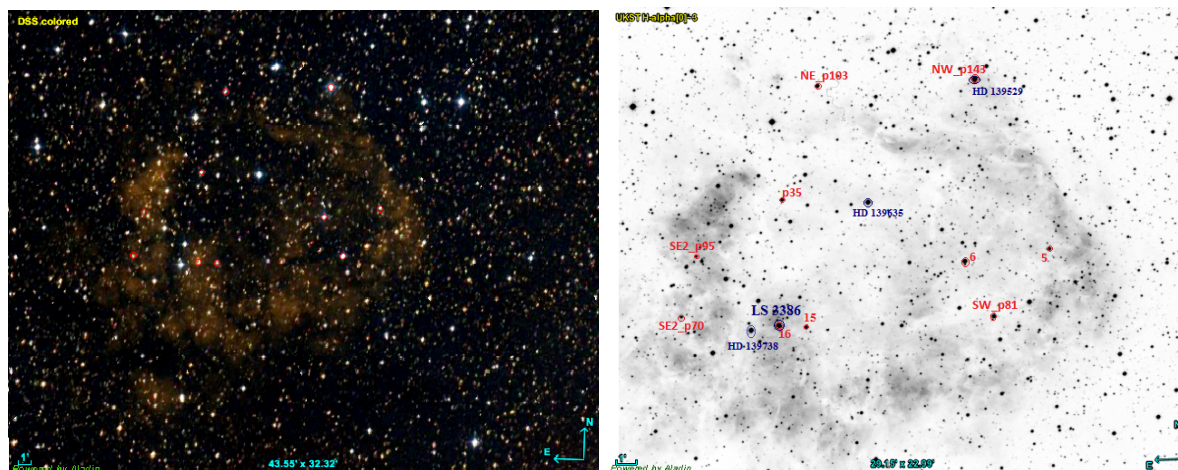


Figura 14: À esquerda, imagem da região H II RCW 94 obtida do DSS (Digitized Sky Survey). À direita, imagem H α da região obtida do SHS (Supercosmos H alpha Survey), sendo indicadas, em vermelho, as estrelas estudadas dessa região e em azul as estrelas classificadas na literatura.

Fonte: Aladin Sky Atlas

5.6 RCW 96

Também situada na constelação de Norma, RCW 96 tem 2×2 minutos de arco de dimensão (Rodgers et al., 1960). Na literatura (Orsatti & Muzzio, 1980) apenas uma estrela foi classificada (veja na Figura 15), sua identificação é [OM80] 136 e foi classificada como OB. Nessa região H II foram obtidos espectros de cinco estrelas, dentre elas, duas eram do tipo espectral B. Essas estrelas são chamadas de RCW96-1 e RCW96-2 e ambas foram classificadas como B1V. A média das distâncias dessas estrelas indicam que RCW 91 está a uma distância de 2.512 kpc.

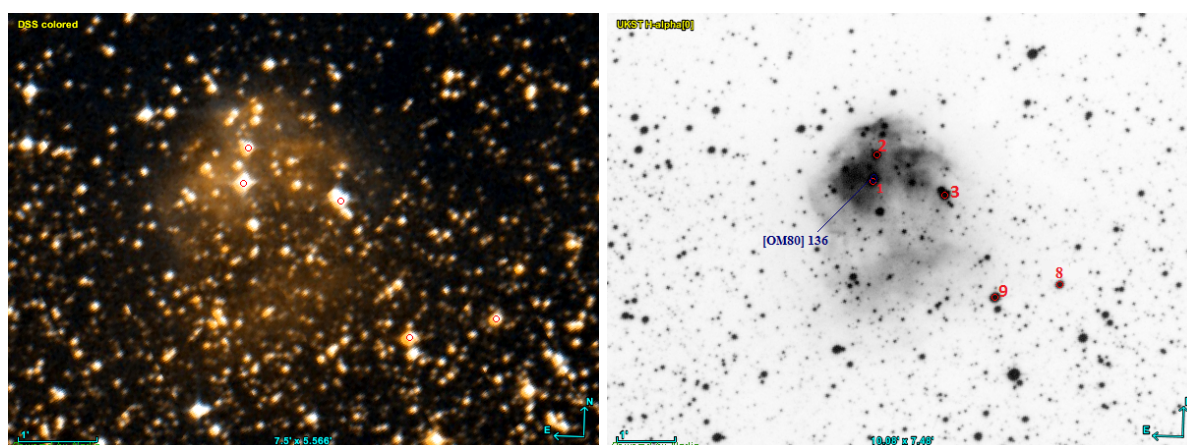


Figura 15: Igual a Figura 14, porém para RCW 96.

Fonte: Aladin Sky Atlas

5.7 RCW 110

Assim como RCW 94 e 96, a região H II RCW 110 está localizada na constelação de Norma e sua dimensão é 7×3 minutos de arco (Rodgers et al., 1960). Nenhuma classificação foi encontrada na literatura. Nessa região foram obtidos espectros de três estrelas, mostradas na Figura 16. Dessas, duas eram suficientemente quentes para ionizar o gás ao seu redor. Estas foram chamadas de RCW110-1 e RCW110-4 neste trabalho e foram classificadas como O8V e B1V, respectivamente. A média das distâncias dessas estrelas indicam que RCW 110 está a uma distância de 3.832 kpc.

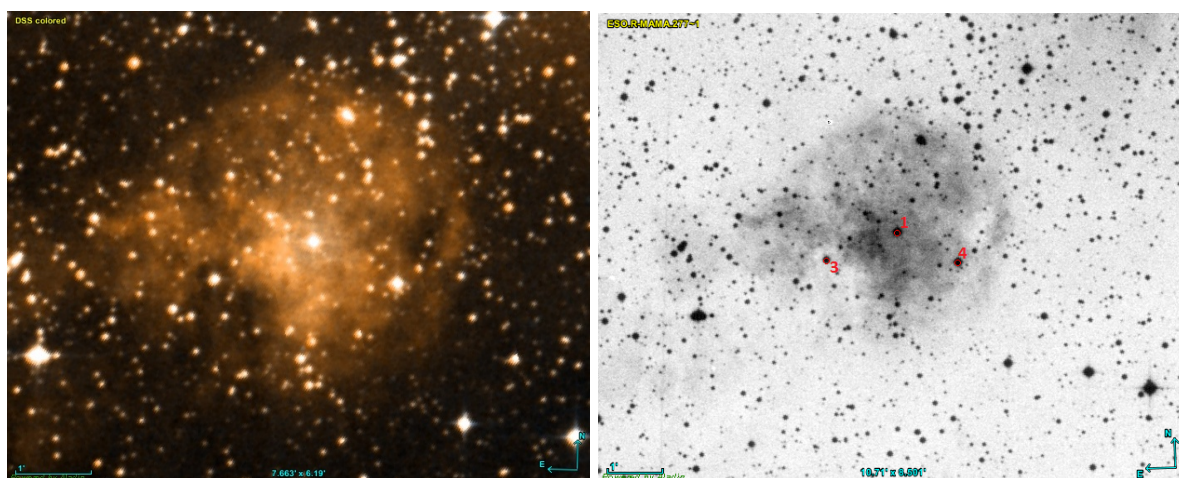


Figura 16: À esquerda, imagem da região H II RCW 110 obtida através do DSS (Digitized Sky Survey). À direita, imagem $H\alpha$ da mesma região, sendo indicadas, em vermelho, as estrelas classificadas dessa região.

Fonte: Aladin Sky Atlas

5.8 RCW 111

Essa região H II é vizinha de RCW 110 (constelação de Norma) e possui 5×3 minutos de arco de dimensão (Rodgers et al., 1960). Não foram encontradas estrelas classificadas na literatura. Foram classificadas três estrelas nessa região (ver Figura 17) e somente uma delas era quente o suficiente para ionizar o gás ao seu redor. Esta estrela é chamada de RCW111-5 e foi classificada como O8V. A distância estimada para essa estrela é de 2.707 kpc.

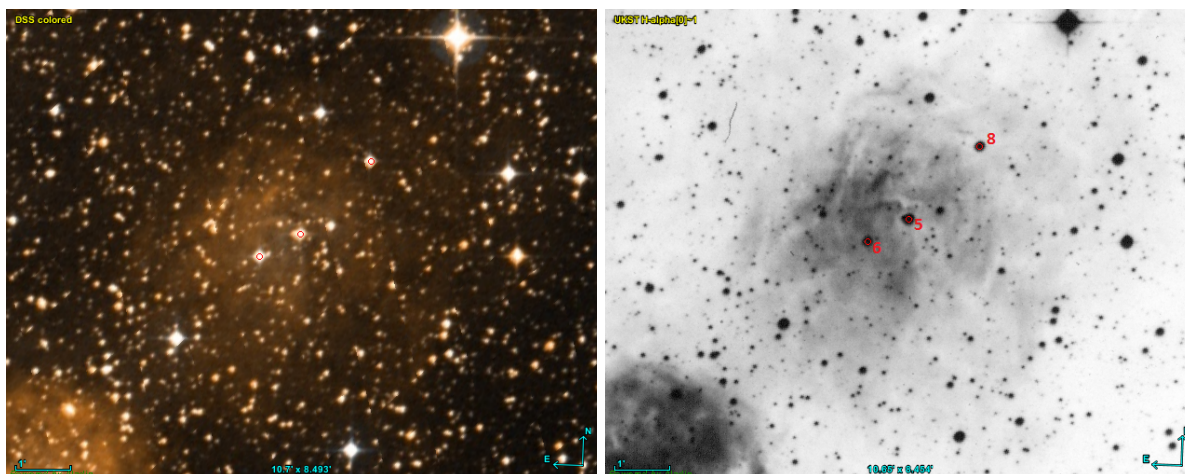


Figura 17: Igual a Figura 16, porém para a região H II RCW 111
Fonte: Aladin Sky Atlas

5.9 RCW 117

Essa região H II está localizada na constelação de Escorpião e possui 3×2 minutos de arco de dimensão. Foram observadas cinco estrelas (ver Figura 18) e nenhuma era suficientemente quente para contribuir com a ionização da região. Por isso, não obtivemos uma estimativa de distância para essa região. Também não foram encontradas estrelas que tenham sido classificadas na literatura.

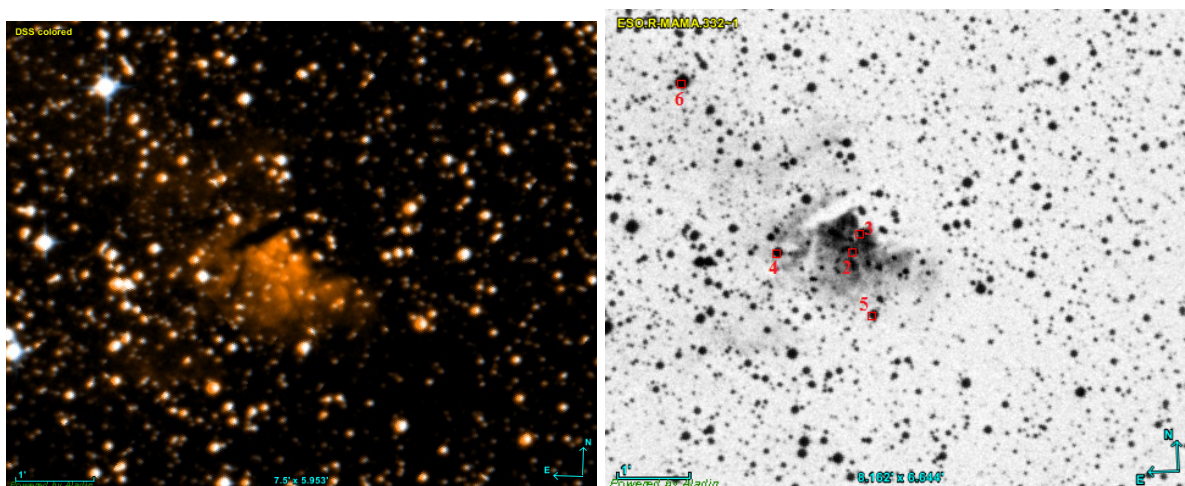


Figura 18: À esquerda, imagem da região H II RCW 117 obtida através do DSS (Digitized Sky Survey). À direita, imagem H α da mesma região, sendo indicadas, em vermelho, as estrelas classificadas dessa região.
Fonte: Aladin Sky Atlas

5.10 RCW 125

A região H II RCW 125 está localizada na constelação de Escorpião, sua dimensão é de 8×8 minutos de arco (Rodgers et al., 1960). Nessa região já foram classificadas três estrelas, HD 156156 (classificada como A1V por Houk (1982)), HD 156155 (A0 por Cannon & Mayall (1949)) e CD-37 11455 (O7 por Georgelin & Georgelin (1970), também nomeada de LS 4059 por Stephenson & Sanduleak (1971), classificada como OB e Vijapurkar & Drilling (1993), classificada como O5V.

Cinco estrelas foram classificadas e três eram do tipo espectral B. Essas são chamadas de RCW125-3, RCW125-4 e RCW125-6 e foram classificadas como B7 V, B3 V e B3 V, respectivamente. A estrela RCW125-3 não contribui para a ionização da região H II mas está a uma distância semelhante às demais. A média das distâncias dessas estrelas indica que RCW 125 está a uma distância de 1.354 kpc.

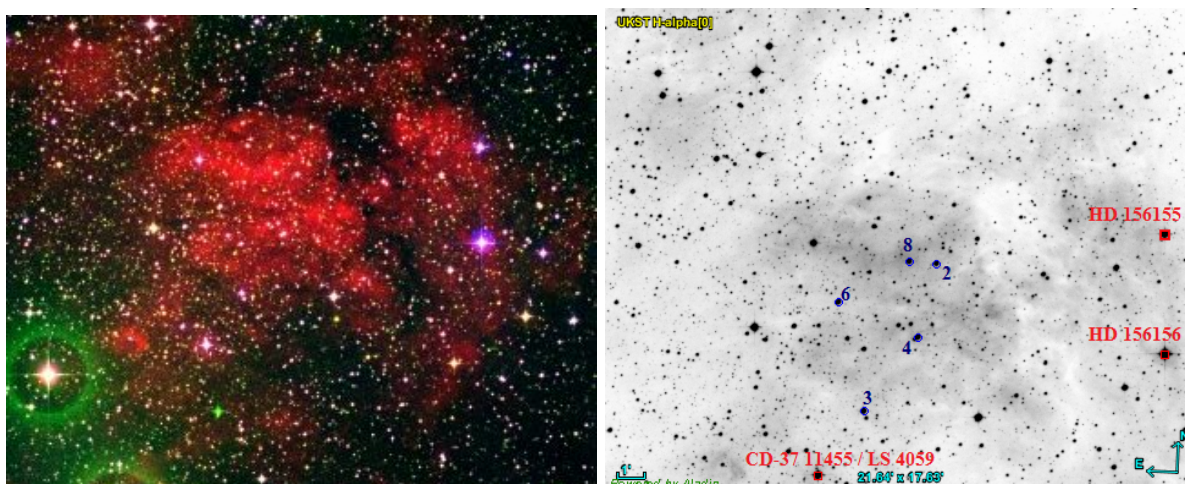


Figura 19: À esquerda, a imagem da região H II RCW 125 obtida através do site *Galaxy Map*. À direita, imagem H α da região, sendo indicadas, em azul, as estrelas classificadas. Fonte: GalaxyMap e Aladin Sky Atlas

5.11 RCW 130

Localizada na constelação de escorpião, a região H II RCW 130 tem 30×20 minutos de arco de dimensão (Rodgers et al., 1960). Nessa região foram classificadas seis estrelas (ver Figura 20) muitas estrelas foram classificadas na literatura, algumas são mostradas na Figura 20. Das seis, apenas uma estrela era suficientemente quente para ionizar o gás ao seu redor. Essa estrela foi chamada de RCW130-4 neste trabalho e foi classificada como B1.5V. A distância estimada para RCW 130 é de 2.095 kpc.

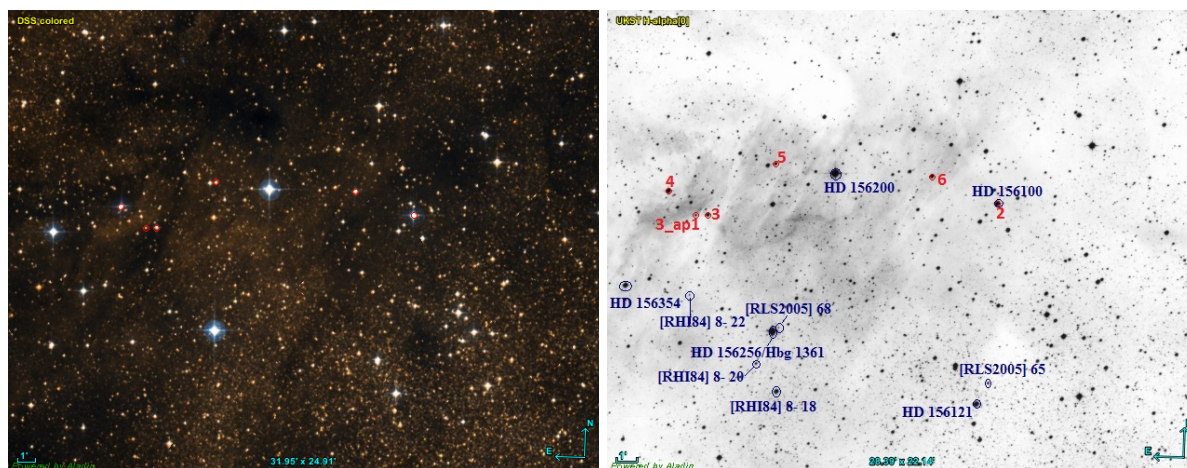


Figura 20: À esquerda, imagem da região H II RCW 130 obtida através do DSS (Digitized Sky Survey). À direita, imagem $H\alpha$ da região. Estão indicadas, em vermelho, as estrelas estudadas dessa região.

Fonte: Aladin Sky Atlas

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho era identificar as estrelas ionizantes das regiões H II Bran 157, RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 117, 125 e 130 e determinar suas distâncias. Classificamos espectralmente 65 estrelas nas direções dessas regiões e encontramos 28 do tipo espectral O e B. Dessas 28 estrelas, 17 são de tipos espectrais O6 V, O6.5 V, O8 V, B1 V, B2 V, B3 V e B4 V, portanto quentes o suficiente para contribuir para a ionização das regiões H II associadas, e 7 são estrelas do tipo B5 V, B7 V e B9 V, que não têm temperatura suficientemente alta. Pelo método da paralaxe espectroscópica, determinamos as distâncias dessas 28 estrelas utilizando dados fotométricos nas bandas JHK do infravermelho. Concluimos que 4 dessas estrelas são de campo. Os resultados para 24 demais estrelas foram utilizadas para a estimativas das distâncias das regiões H II a que pertencem.

Foram estimadas as distâncias de nove regiões H II (RCW 71, 91, 92, 94, 96, 110, 111, 125 e 130). Para Bran 157 e RCW 117, não encontramos estrelas ionizantes. E por isso, não obtivemos estimativas de suas distâncias.

Referências

- BASSINO, L. P., DESSAUNET, V. H., MUZZIO, J. C., & WALDHAUSEN, S. 1982, , Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 201, 885, A photometric and spectroscopic study of faint OB stars in the Southern Milky Way.
- BIDELMAN, W. P., & MacCONNELL, D. J. 1973, *Astronomical Journal*, 78, 687, The brighter stars astrophysical interest in the southern sky.
- CANNON, A. J., & MAYALL, M. W. 1949, *Annals of Harvard College Observatory*, 112, 1, The Henry Draper extension. II.
- CARPENTER, J. M. 2001, *Astronomical Journal*, 121, 2851, Color Transformations for the 2MASS Second Incremental Data Release.
- CRAMPTON, D. 1971, *Astrophysical Journal*, 76, 260, Observations of stars in H II regions: Spectral classification and UBV photometry.
- CUTRI, R. M., SKRUTSKIE, M. F., VAN DYK, S., et al. 2003, "The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive.
- DRILLING, J. S., & PERRY, C. L. 1981, *Astronomy & Astrophysics Supplement*, 45, 439, Spectral Types and Radial Velocities of Southern OB+ Stars.
- ELMEGREEN, B. G., & LADA, C. J. 1977, *Astrophysical Journal*, 214, 725, Sequential formation of subgroups in OB associations.
- GEORGELIN, Y. P., & GEORGELIN, Y. M. 1970, *Astronomy & Astrophysics Supplement*, 3, 1, Régions H II de l'hémisphère austral.
- GRAY, R. O., & CORBALLY, C., J. 2009, *Stellar Spectral Classification by Richard O. Gray and Christopher J. Corbally*. Princeton University Press, 2009.
- JACOBY, G. H., HUNTER, D. A., & CHRISTIAN, C. A. 1984, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 56, 257, A library of stellar spectra..
- JASCHEK, C., & JASCHEK, M. 1990, *The Classification of Stars*, by Carlos Jaschek and Mercedes Jaschek, pp. 427. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- HOUK, N., & COWLEY, A. P. 1975, *University of Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars. Volume I*. A. P. Ann Arbor, MI (USA): Department of Astronomy, University of Michigan, 19 + 452 p.
- HOUK, N. 1978, Ann Arbor : Dept. of Astronomy, University of Michigan : distributed by University Microfilms International, 1978, Michigan catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars.

- HOUK, N. 1982, Michigan Catalogue of Two-dimensional Spectral Types for the HD stars. Volume 3. Ann Arbor, MI(USA): Department of Astronomy, University of Michigan.
- KALER, J. B. 1997, Stars and their Spectra, An Introduction to the Spectral Sequence, Cambridge University Press.
- KOORNNEEF, J. 1983, Astronomy and Astrophysics, 128, 84, Near-infrared photometry. II - Intrinsic colours and the absolute calibration from one to five micron.
- LADA, C. J., & KYLAFIS, N. D. 1991, Journal of the British Astronomical Association, 101, 364, The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution.
- LANG, K. 1991, Astrophysical Data: Planets and Stars.
- ORSATTI, A. M., & MUZZIO, J. C. 1980, Searches for faint OB stars in the southern Milky Way. III - The Circinus-Norma region, Astrophysical Journal, 85, 265.
- OSTERBROCK, D. E., & FERLAND, G. J. 2006, Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei, 2nd. ed., University Science Books.
- PINHEIRO, M. C. Classificação espectral e determinação de distância de estrelas em dez regiões H II do hemisfério sul. 11/03/2009. 78. Dissertação - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.
- PINHEIRO, M. C., COPETTI, M. V. F., & OLIVEIRA, V. A. 2010, Astronomy and Astrophysics, 521, A26, Spectral classification and distance determination of stars in nine southern Galactic H II regions.
- RIEKE, G. H., & LEBOSKY, M. J. 1985, Astrophysical Journal, 288, 618, The interstellar extinction law from 1 to 13 microns.
- RODGERS, A. W., CAMPBELL, C. T., & WHITEOAK, J. B. 1960, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 121, 103, A catalogue of H α -emission regions in the southern Milky Way.
- ROMAN-LOPES, A. 2011, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 410, 161, Discovery of two Galactic Wolf-Rayet stars in Circinus.
- STEPHENSON, C. B., & SANDULEAK, N. 1971, Publications of the Warner & Swasey Observatory, 1, 1, Luminous stars in the Southern Milky Way.
- VIJAPURKAR, J., & DRILLING, J. S. 1993, Astrophysical Journal Supplement Series, 89, 293, MK spectral types for OB(+) stars in the southern Milky Way.

- WALBORN, N. R. 1971, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 23, 25, Some Spectroscopic Characteristics of the OB Stars: an Investigation of the Space Distribution of Certain OB Stars and the Reference Frame of the Classification.
- WALBORN, N. R., & FITZPATRICK, E. L. 1990, *Astronomical Society of the Pacific*, 102, 379, Contemporary optical spectral classification of the OB stars - A digital atlas.
- WEGNER, W. 1994, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 270, 229, Intrinsic Colour Indices of OB Supergiants Giants and Dwarfs in the UBVRIJHKLM System.
- WENGER, M., OCHSENBEIN, F., EGRET, D., et al. 2000, *Astronomy & Astrophysics Supplement*, 143, 9, The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects.

Apêndices

A Análise individual das estrelas do tipo O e B

A.1 Estrelas de RCW 71

As linhas de He I $\lambda 4026$, 4144, 4387, 4471 e 4713 estão bem visíveis nos espectros de RCW71-3 e 5 (veja as Figuras 22 e 23), podendo então se tratar de estrelas do tipo O ou B. Há também presença de linhas do He II no espectro de RCW71-5, nos fornecendo a informação de que estamos tratando de uma estrela do tipo O ou uma B mais quente (B0-2). Já no caso de RCW71-2, só podemos ver $\lambda 4471$ de linha do He I. Podemos notar também que as linhas da série de Balmer estão mais alargadas que as demais (Figura 21). Com base nessas informações sabemos que ela é uma estrela do tipo B, porém tardia.

Já vimos anteriormente os critérios utilizados na classificação espectral dessas estrelas. Uma delas é a medida da largura equivalente das linhas presentes no espectro. A tabela 11 mostra a largura equivalente das linhas dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais O e B. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha correspondente.

Tabela 11: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 71.

Estrela	H δ $\lambda 4101$	H γ $\lambda 4340$	H β $\lambda 4861$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4144$	He I $\lambda 4387$	He I $\lambda 4471$	He I $\lambda 4713$	He I $\lambda 4921$	He II $\lambda 4541$	He II $\lambda 4686$
RCW71.2	11.5	12.5	12.8								
RCW71.3	5.60	7.41	6.82	1.83	0.66	0.86	0.96	0.33			
RCW71.5	3.22	3.48	3.30	0.85	0.47	0.53	1.15	0.24	0.62	0.27	0.56

Comparamos esses valores aos das tabelas 3 e 4 e podemos concluir que RCW71-2 está entre os tipos B8 V e A0 V, RCW71-3 entre B2 V e B5 V e RCW71-5 entre O8 V e B0 V. Comparamos também cada espectro com alguns da literatura, cuja classificação já é conhecida. Nas Figuras 21, 22 e 23 vemos os espectros de RCW71-2, 3 e 5 comparados ao de uma estrela padrão do tipo espectral B9 V, B5 V e O9.5 V, respectivamente. Concluimos então que suas classificações são, de fato, do tipo B9 V para RCW71-2, B5 V para RCW71-3 e de uma estrela O9.5 V para RCW71-5.

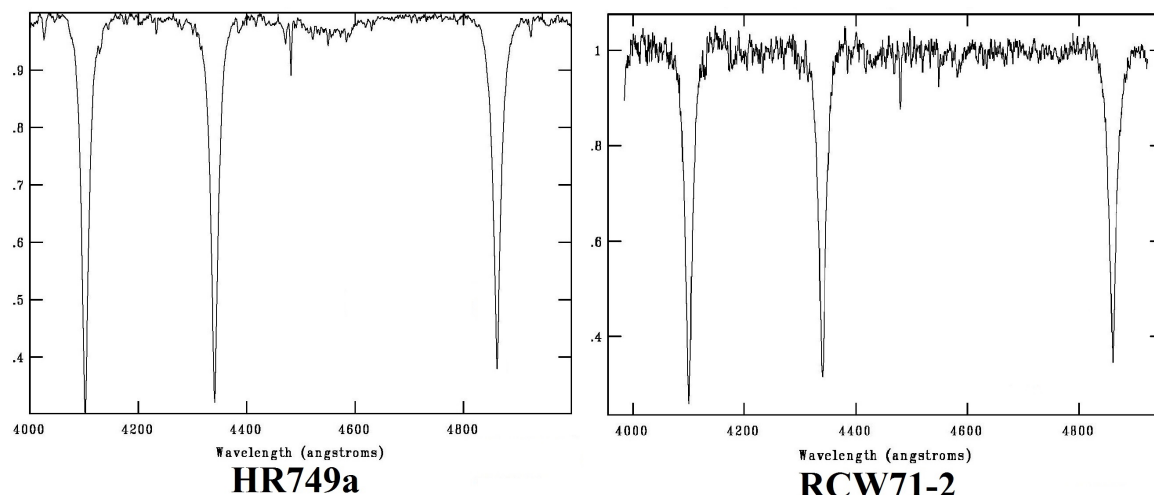


Figura 21: A Figura mostra o espectro de uma estrela padrão para a classe espectral B9 V, comparado com a estrela RCW71-2. Vemos uma grande semelhança, linhas mais largas para a série de Balmer e a linha $\lambda 4471$ do He II pequena.

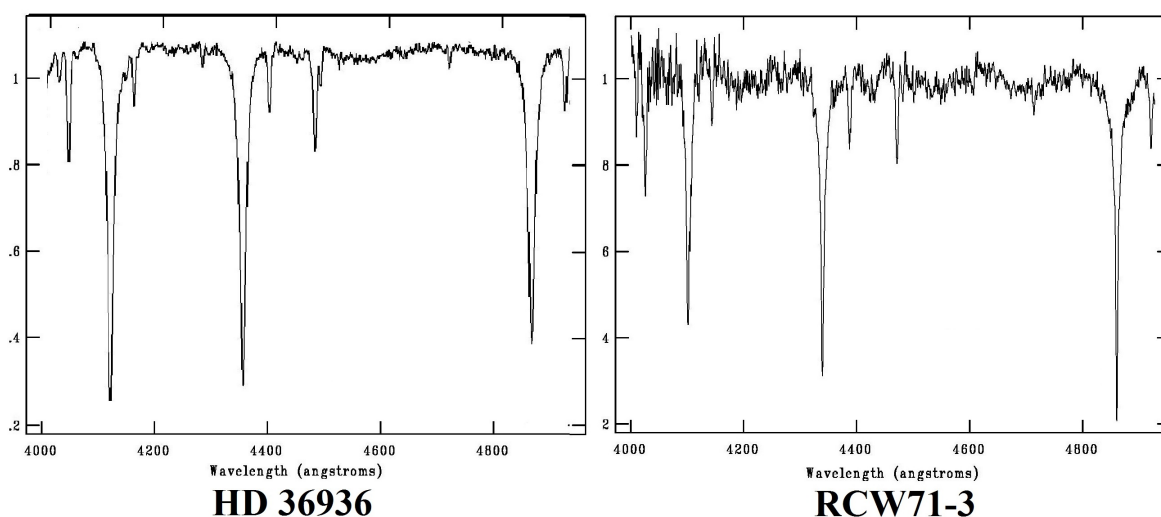


Figura 22: A Figura mostra o espectro de uma estrela padrão para a classe espectral B5 V, comparando com o espectro de RCW71-3 podemos observar semelhanças. Estão presentes nestes espectros diversas linhas do He I como $\lambda 4026$, 4144 , 4387 , 4471 e 4713 , assim como as linhas da série de Balmer.

A.2 Estrelas de RCW 91

As linhas de He I $\lambda 4026$, 4144 , 4387 , 4471 e 4713 estão bem visíveis nos espectros de RCW91-2, 4 e 5 (veja as Figuras 24 e 25), podendo então se tratarem de estrelas do tipo O ou B. Porém, não há presença de linhas do He II nos espectros, fornecendo a informação de que não se trata de uma estrela do tipo O e sim uma de tipo B. Já no caso de RCW91-6, só podemos ver $\lambda 4471$ de linha do He I. Podemos notar também que as linhas da série de Balmer estão mais alargadas que as demais (Figura 26). Com base nessas informações sabemos que ela é uma estrela do tipo B, porém tardia.

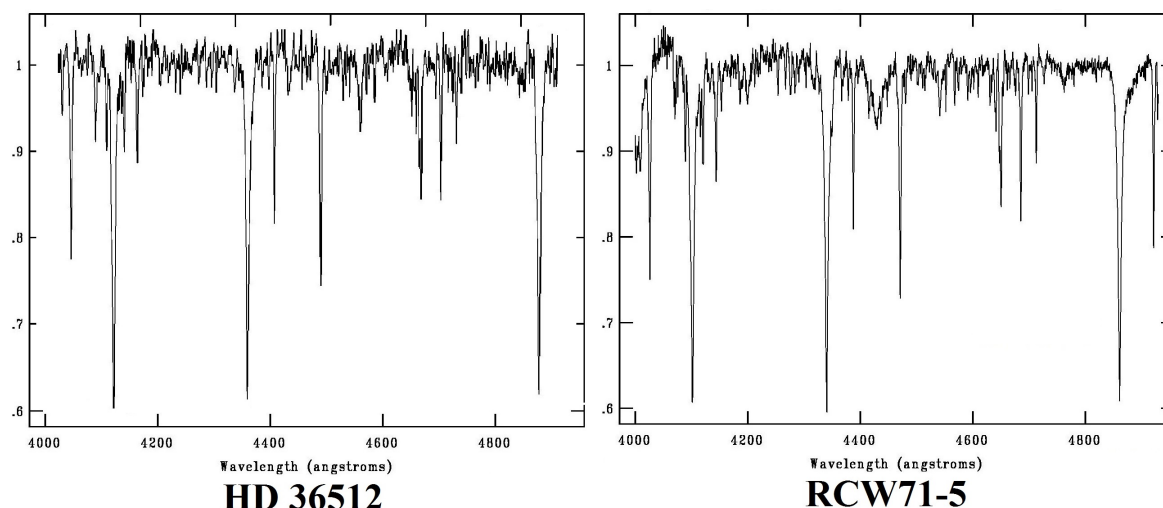


Figura 23: A Figura mostra o espectro de uma estrela padrão para a classe espectral B0 V, comparado com o espectro de RCW71-5. Estão presentes nestes espectros diversas linhas do He I como $\lambda 4026$, 4144 , 4387 , 4471 , 4713 , linhas do He II $\lambda 4541$ e $\lambda 4686$, assim como as linhas da série de Balmer.

A tabela 12 mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais O e B. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha correspondente.

Tabela 12: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 91.

Estrela	H δ $\lambda 4101$	H γ $\lambda 4340$	H β $\lambda 4861$	He I $\lambda 4009$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4144$	He I $\lambda 4387$	He I $\lambda 4471$	He I $\lambda 4713$	He I $\lambda 4921$	He II $\lambda 4541$	He II $\lambda 4686$
RCW91.2	6.56	5.43	7.18	0.38	1.07	0.55	0.62	1.13	0.26	0.65		
RCW91.4	4.81	4.69	4.00	0.60	0.61	0.57	0.89	0.73	0.27			
RCW91.5	7.15	7.47	7.98	0.37	0.95	0.32	0.57	0.76	0.26			
RCW91.6	9.10	10.7	10.4					0.20				

Comparando esses valores aos das tabelas 3 e 4 podemos concluir que RCW91-2 está entre B2 V e B5 V, RCW91-4 entre B0 V e B2 V, RCW91-5 entre B2 V e B3 V e RCW91-6 entre B8 V-A0 V. Comparamos também cada espectro com espectros da literatura, cuja classificação já foi realizada. Na Figura 24 vemos os espectros de RCW91-2 e 5 comparados ao de uma estrela do tipo espectral B3 V. Já na Figura 25 comparamos RCW91-4 com o espectro de uma B2 V. Concluindo assim que tratam-se de estrelas cujo tipo espectral é B3 V para as estrelas RCW91-2 e 5, de uma estrela B2 V para RCW91-4 e B9 V para RCW91-6.

A.3 Estrelas de RCW 92

As linhas de He II são as mais notáveis no espectro de RCW92-10, tais como $\lambda 4200$, 4541 e 4686 , linhas de He I vemos somente $\lambda 4471$ (veja Figura 28). A presença das linhas

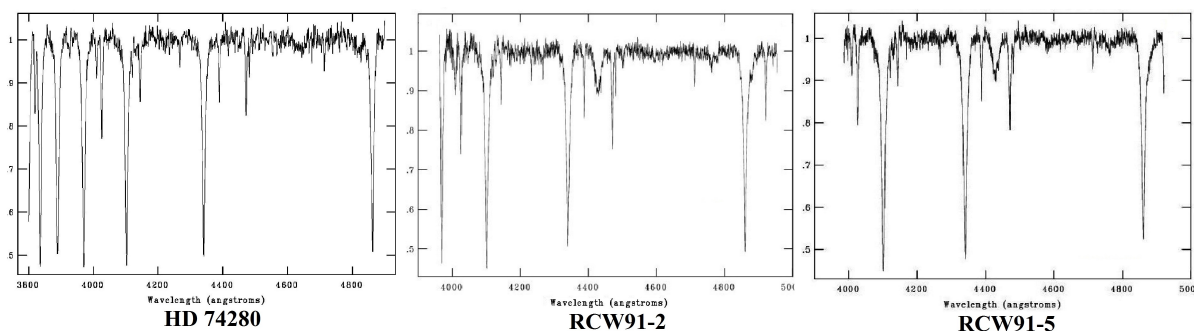


Figura 24: A Figura mostra o espectro de uma estrela padrão para o tipo espectral B3 V, comparado com os espectros de RCW91-2 e 5. Estão presentes nestes espectros diversas linhas do He I como $\lambda 4026$, 4144, 4387, 4471, 4713, assim como as linhas da série de Balmer.

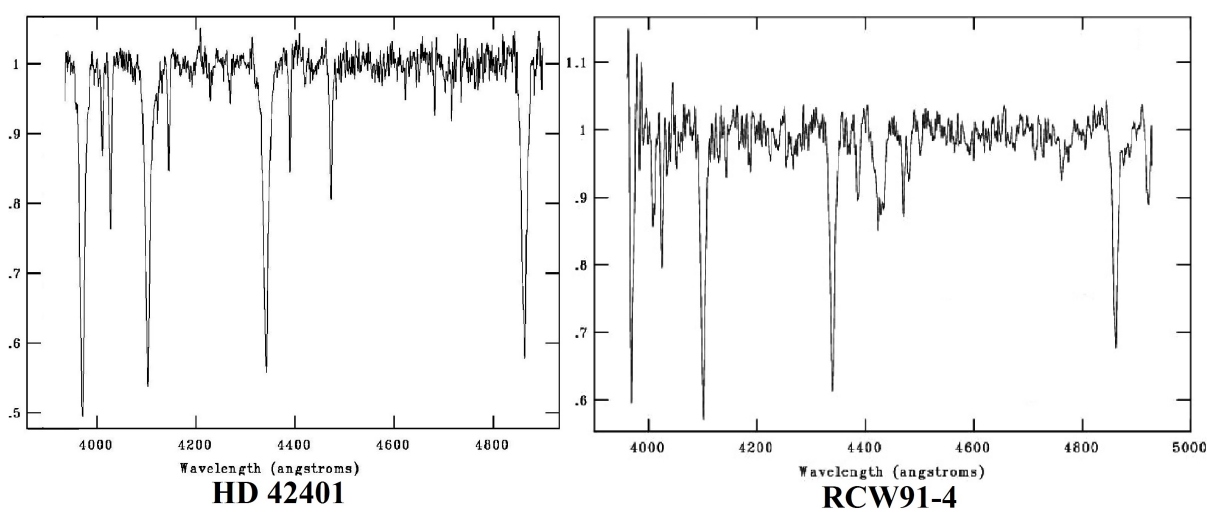


Figura 25: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B2 V e de RCW91-4.

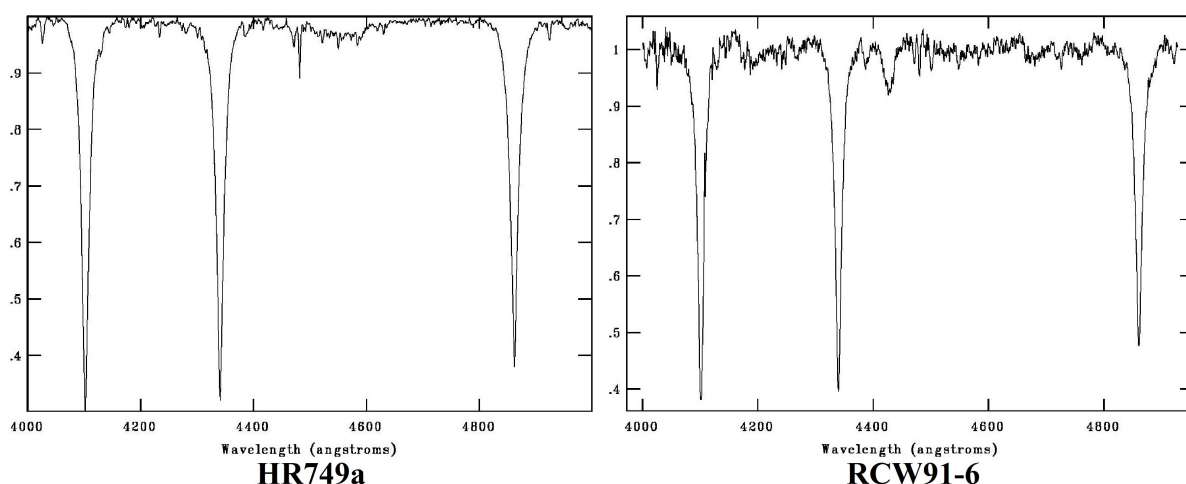


Figura 26: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B9 V e de RCW91-6.

de He II nos fornece a informação de que se trata de uma estrela do tipo O. Para as demais estrelas (RCW92-3 e 12) não vemos linhas de He II, e linha de He I vemos

apenas $\lambda 4471$, sendo esta muito pequena. As linhas da série de Balmer são mais intensas (veja Figura 27).

A tabela 13 mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais do tipo O. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha no espectro.

Tabela 13: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 92.

Estrela	H δ $\lambda 4101$	H γ $\lambda 4340$	H β $\lambda 4861$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4144$	He I $\lambda 4387$	He I $\lambda 4471$	He I $\lambda 4713$	He II $\lambda 4541$	He II $\lambda 4686$
RCW92_3	18.0	17.0	13.8							
RCW92_10	2.30	2.07	2.80				0.51		0.61	0.75
RCW92_12	16.4	15.9	13.9							

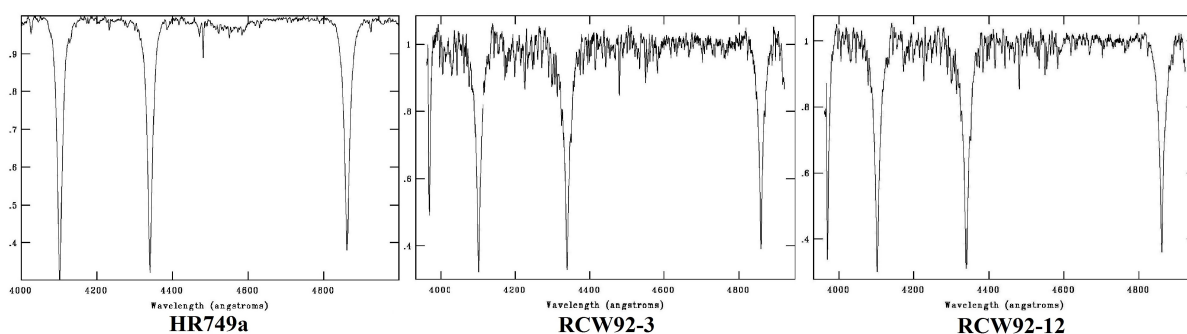


Figura 27: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B9 V e de RCW92-3 e 12.

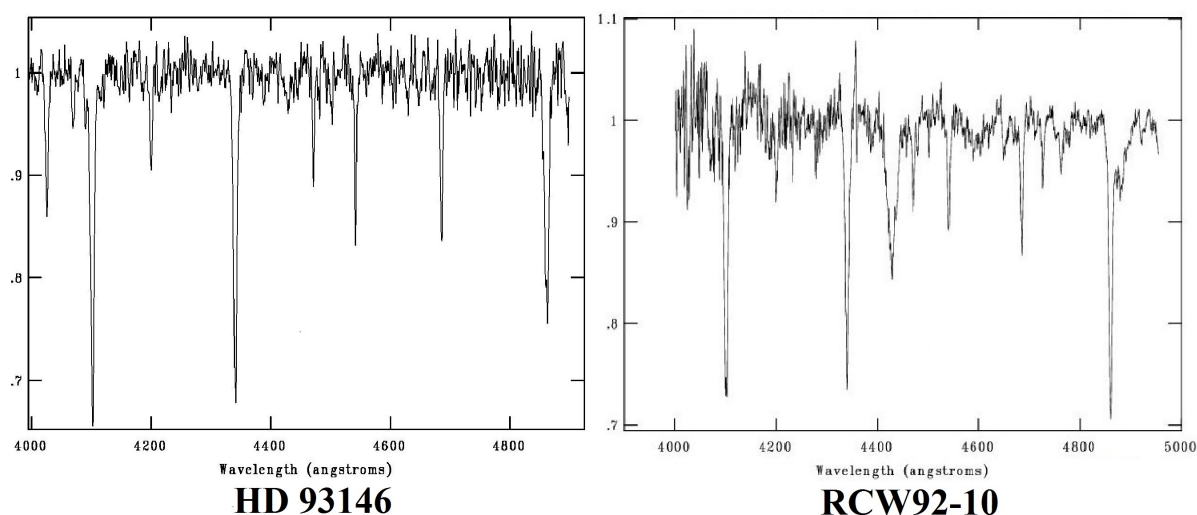


Figura 28: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral O6.5 V e de RCW92-10.

Comparamos esses valores aos das tabelas 3 e 4 podemos concluir que RCW92-10 está entre O6 V e O8 V e RCW92-3 e 12 entre B8 V e A0 V. Comparamos também o espectro dessas estrelas com espectros da literatura que já possuem uma classificação

bem definida. Na Figura 28 vemos o espectro de RCW92-10 comparado ao de uma estrela do tipo espectral O6.5 V e na Figura 27 os espectros de RCW92-3 e 12 comparados ao de uma estrela do tipo B9 V. Podemos concluir, com base nessas informações, que RCW92-10 realmente se trata de uma estrela do tipo espectral O6.5 V e RCW92-3 e 12 de uma B9 V.

A.4 Estrelas de RCW 94

Analisando o espectro dessas estrelas, cuja identificações são RCW94-5, RCW94-6, RCW94-16 (SE_p63), RCW94-NW_p143, RCW94-SE_p112, RCW94-SE2_p70, RCW94-19, RCW94_NE_p103 e RCW94_p35, podemos notar linhas de He II em RCW94-16 e em RCW94-SE_p112. Linhas de He I só não vemos na estrela 6 (veja tabela 11). Essas estrelas foram classificadas como B4 V, B9 V, O6 V, B5 V, B5 V, B3 V, B9 V, B7 V e B9 V, respectivamente .

A tabela 14 mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais do tipo O. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha no espectro.

Tabela 14: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 96.

Estrela	H δ λ 4101	H γ λ 4340	H β λ 4861	HeI λ 4026	HeI λ 4144	HeI λ 4387	HeI λ 4471	HeI λ 4713	HeII λ 4541	HeII λ 4686
RCW94.5	11.3	9.22	9.26	0.54	0.24	0.33	0.68	0.14		
RCW94.6	15.8	16.0	13.0							
RCW94.16	1.86	1.43	1.64	0.25			0.36		0.63	-0.44
RCW94.19	10.2	12.3	11.4	0.37		0.50	0.25			
RCW94_NE_p103	9.25	8.90	8.48			0.27	0.37			
RCW94_NW_p143	8.23	7.54	7.42	0.70	0.35	0.46	0.93	0.18		
RCW94_SE_p112	7.44	9.06	8.85	0.82	0.12	0.49	0.45	0.35	0.30	
RCW94_SE2_p70	3.30	5.08	4.90	1.25	0.45	0.74	1.10	0.73		
RCW94_p35	10.2	9.62	9.95	0.13			0.17			

Comparamos esses valores aos das tabelas 3 e 4 e com espectros de estrelas padrões da literatura já com sua classe espectral bem definida (ver Figuras 29, 30, 31, 32, 33 e 34) e podemos concluir que a classificação obtida para as nossas estrelas são, de fato, coerentes.

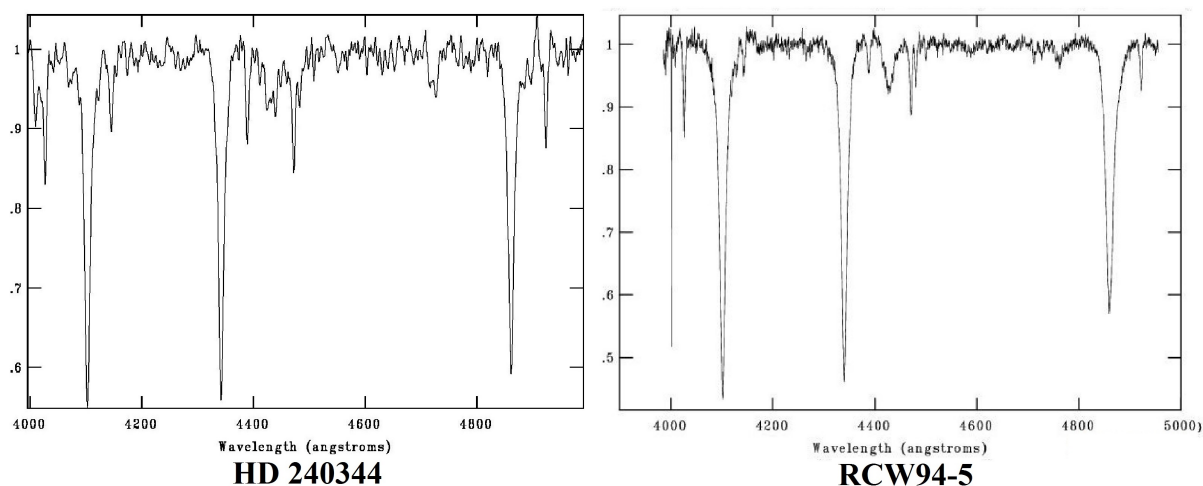


Figura 29: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B4 V e de RCW94-5.

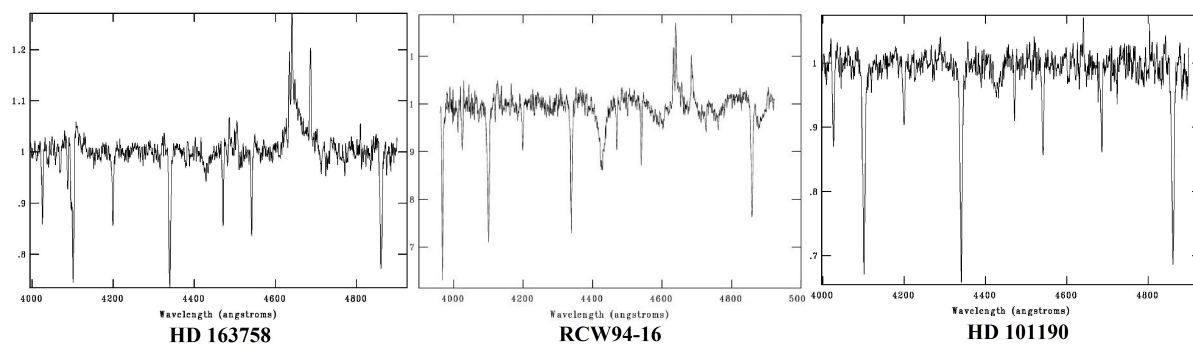


Figura 30: Comparação entre os espectros de duas estrelas padrões de tipo espectral O6 V e O6.5Iaf com o espectro de RCW94-16.

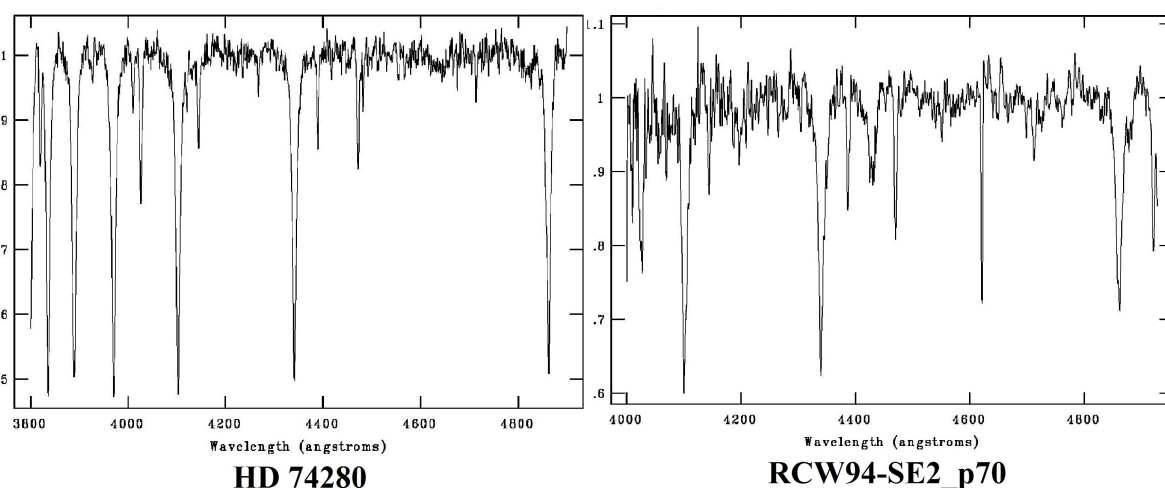


Figura 31: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B3 V e de RCW94-SE2.p70.

A.5 Estrelas de RCW 96

As estrelas RCW96-1 e 2 têm espectros muito semelhantes (veja Figura 35). Linhas de He II são observadas neste espectro, tais como $\lambda 4541$ e 4686 e vemos também

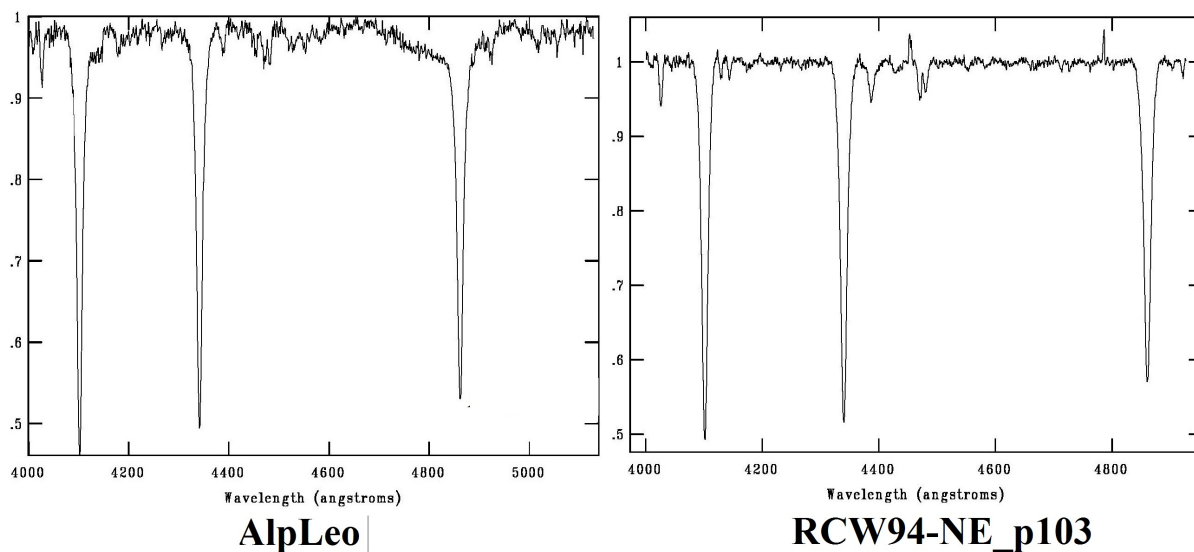


Figura 32: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B7 V e de RCW94-NE_p103.

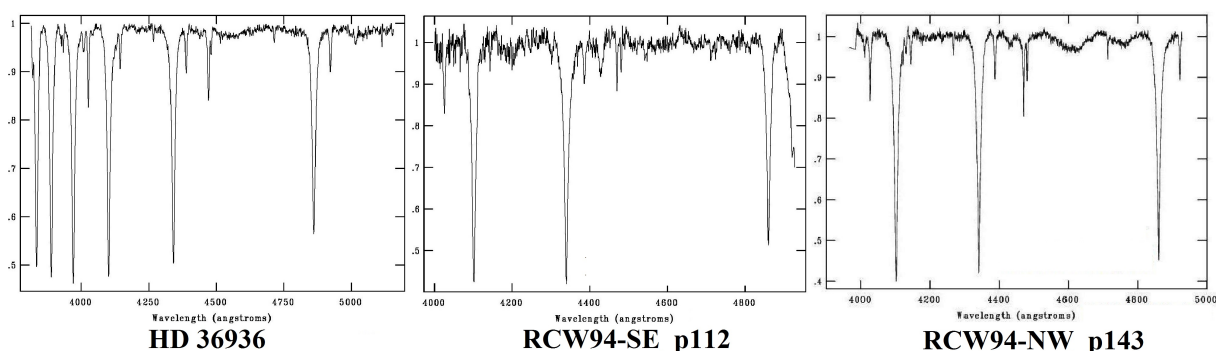


Figura 33: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B5 V e dos espectros de RCW94-NW_p143 e RCW94-SE_p112.

várias linhas de He I como $\lambda 4471$, 4026 , 4144 entre outras. A presença de linhas de He II e de He I nos fornece a informação de que se tratam de estrelas do tipo O ou B(0-2).

A tabela 15 mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais do tipo O e B. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha no espectro.

Tabela 15: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 96.

Estrela	H δ $\lambda 4101$	H γ $\lambda 4340$	H β $\lambda 4861$	He I $\lambda 4009$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4144$	He I $\lambda 4387$	He I $\lambda 4471$	He I $\lambda 4713$	He I $\lambda 4921$	He II $\lambda 4541$	He II $\lambda 4686$
RCW96.1	3.89	3.57	3.75	0.15	0.82	0.38	0.46	1.02	0.18		0.19	0.63
RCW96.2	4.18	4.22	3.37	0.77	1.18	0.65	0.84	1.32	0.24	0.79		

Comparamos esses valores aos das tabelas 3 e 4 e podemos concluir que RCW96-1 e RCW96-2 estão entre o tipo espectral B0 V e B2 V. Comparamos também o espectro dessas estrelas com espectros de estrelas do tipo B0 V à B2 V da literatura. Na

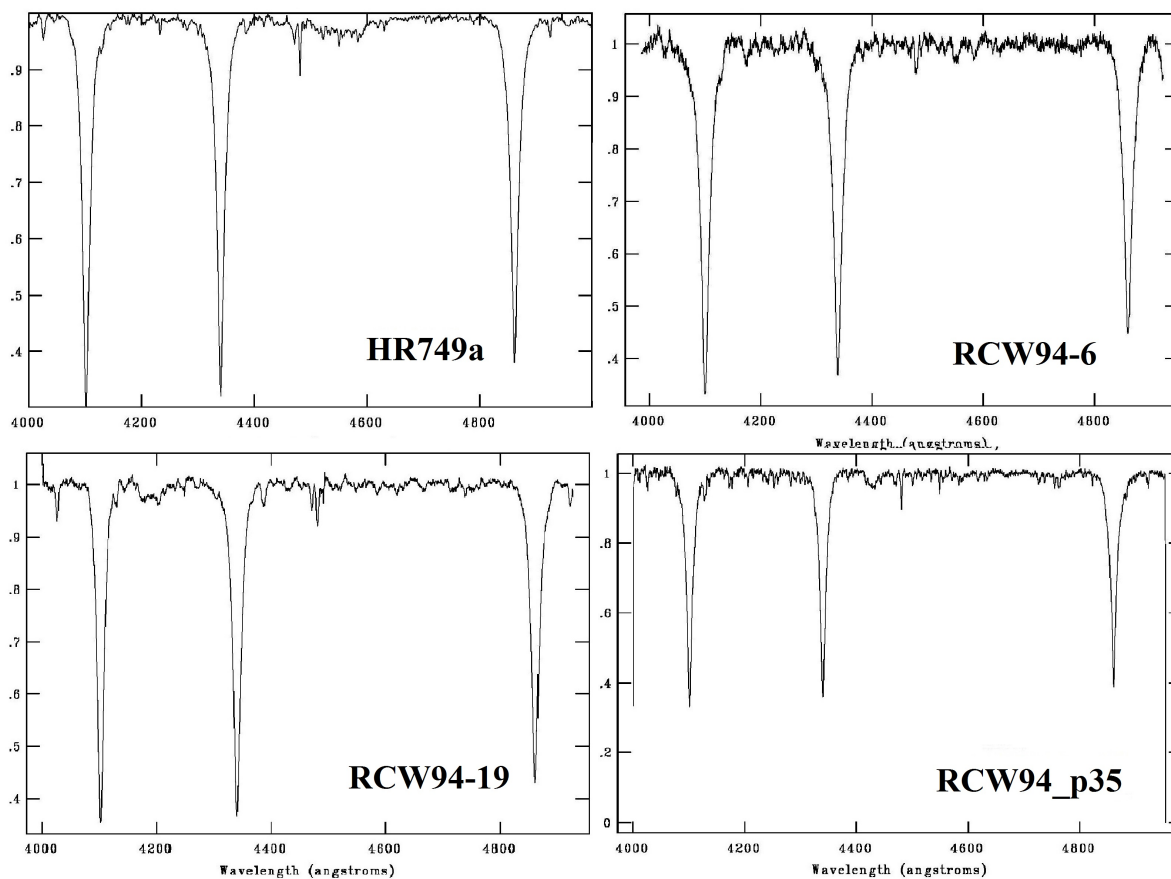


Figura 34: Comparação entre o espectro de uma estrela padrão para o tipo espectral B9 V e dos espectros de RCW94-6, 19 e p35.

Figura 35 vemos os espectros de RCW96-1 e 2 comparados ao de uma estrela do tipo espectral B1 V. Podemos concluir então que ambas se tratam de estrelas de tipo espectral B1 V.

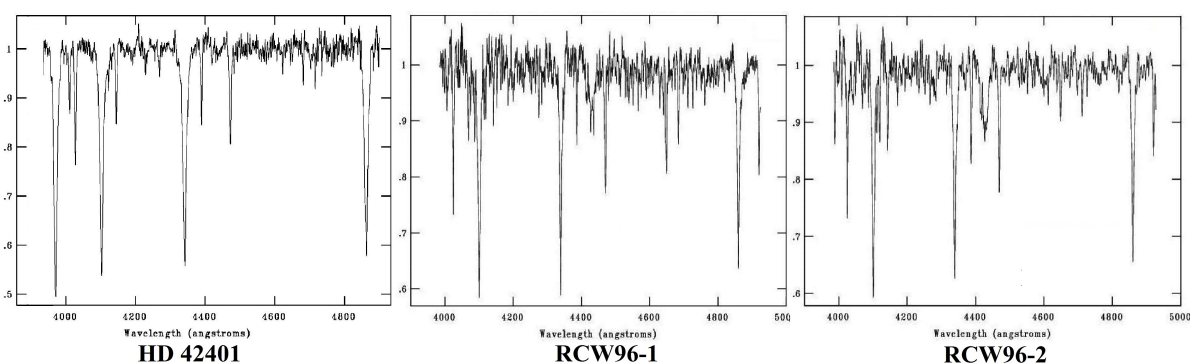


Figura 35: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B1 V e de RCW96-1 e 2.

A.6 Estrelas de RCW 110

Algumas linhas de He I como $\lambda 4026$, 4387 , 4471 e 4713 , característica de estrelas O e B, estão bem visíveis nos espectros dessas estrelas (veja Figuras 36 e 37). Como há também presença de linhas do He II no espectro de RCW110-1 podemos concluir que esta pode ser uma estrela do tipo espectral O.

A tabela 16 mostra a largura equivalente das linhas presentes nos espectros dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais O e B. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha correspondente.

Tabela 16: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 110.

Estrela	H δ $\lambda 4101$	H γ $\lambda 4340$	H β $\lambda 4861$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4144$	He I $\lambda 4387$	He I $\lambda 4471$	He I $\lambda 4713$	He I $\lambda 4921$	He II $\lambda 4541$	He II $\lambda 4686$	
RCW110.1	2.63	2.81	2.73		0.62	0.17	0.38	0.80	0.25	0.85	0.58	0.82
RCW110.4	3.01	4.09	3.81	1.27	0.39	0.52	0.99	0.17	0.87			

Comparamos esses valores aos das tabelas 3 e 4 e podemos concluir que RCW110-1 está entre os tipos espectrais O8 V e B0 V e RCW110-4 entre B0 V e B2 V . Comparamos também seus espectros com os de estrelas dos tipos citados acima, retirados da literatura. Nas Figuras 36 e 37 vemos o espectro de RCW110-1 comparado ao de uma estrela do tipo espectral O8 V e o de RCW110-4 ao de uma estrela B1 V, respectivamente. Observamos as semelhanças entre eles podemos concluir que de fato RCW110-1 é uma O8 V e RCW110-4 uma B1 V .

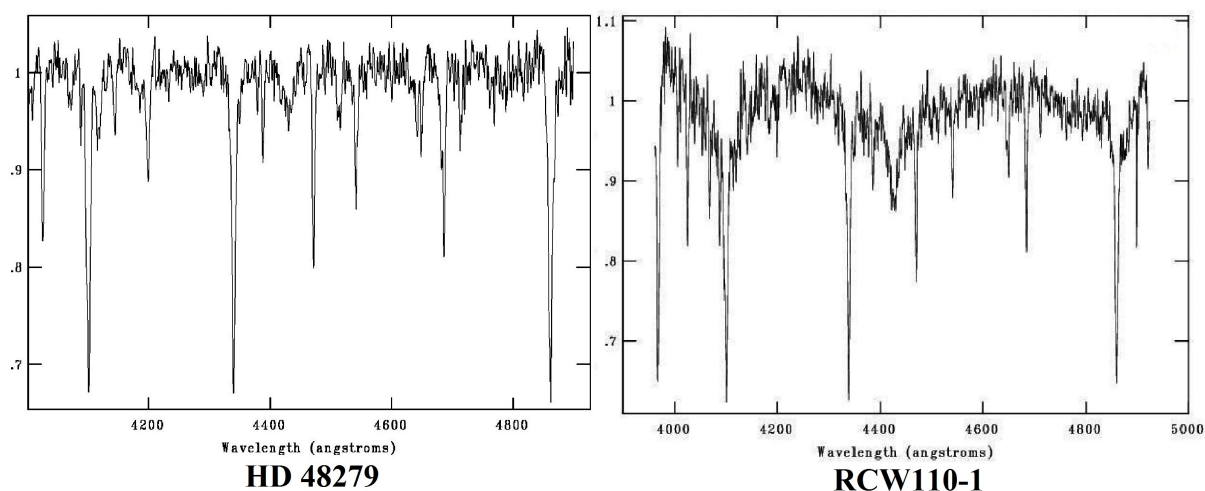


Figura 36: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral O8 V e de RCW110-1.

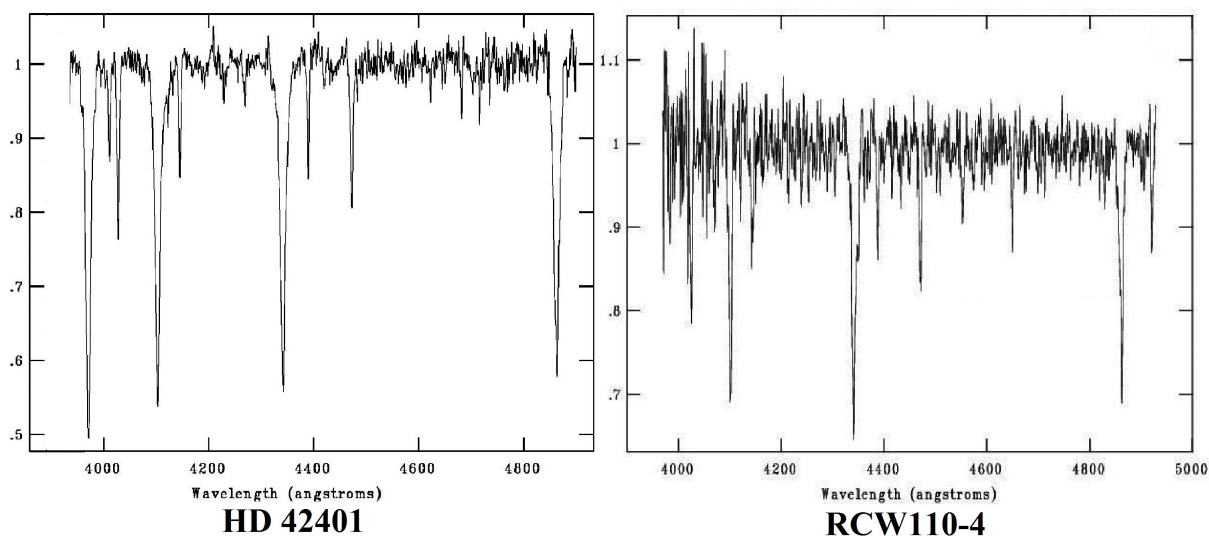


Figura 37: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B1 V e de RCW110-4.

A.7 Estrelas de RCW 111

Muitas linhas de He I são visíveis no espectro, aparecem também linhas de He II como $\lambda 4541$ e 4686 (veja Figura 38), podendo então se tratar de uma estrela do tipo O.

A tabela 17 nos mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessa estrela e que são importantes para as classes espectrais O e B. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha correspondente.

Tabela 17: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 111.

Estrela	H δ $\lambda 4101$	H γ $\lambda 4340$	H β $\lambda 4861$	He I $\lambda 4009$	He I $\lambda 4026$	He I $\lambda 4144$	He I $\lambda 4387$	He I $\lambda 4471$	He I $\lambda 4713$	He II $\lambda 4541$	He II $\lambda 4686$
RCW111.5	3.08	2.75	3.00	0.30	0.64	0.36	0.54	0.55	0.11	0.34	0.56

Comparando esses valores aos das tabelas 3 e 4 podemos concluir que RCW111-5 está entre o tipo espectral O8 V e B0 V. Comparamos então o espectro dessa estrela com espectros de estrelas do tipo O8V à B0V da literatura. Na Figura 38 vemos o espectro de RCW111-5 comparado ao de uma estrela do tipo espectral O8 V. Devido a suas semelhanças podemos concluir que esta estrela é uma O8 V.

A.8 Estrelas de RCW 125

As linhas de He I $\lambda 4026$, 4144 , 4387 , 4471 e 4713 estão bem visíveis nos espectros dessas estrelas (veja Figura 39 e 40). Como não há presença de linhas do He II nos espectros podemos concluir que não são estrelas do tipo O, sendo assim estamos diante de estrelas do tipo espectral B.

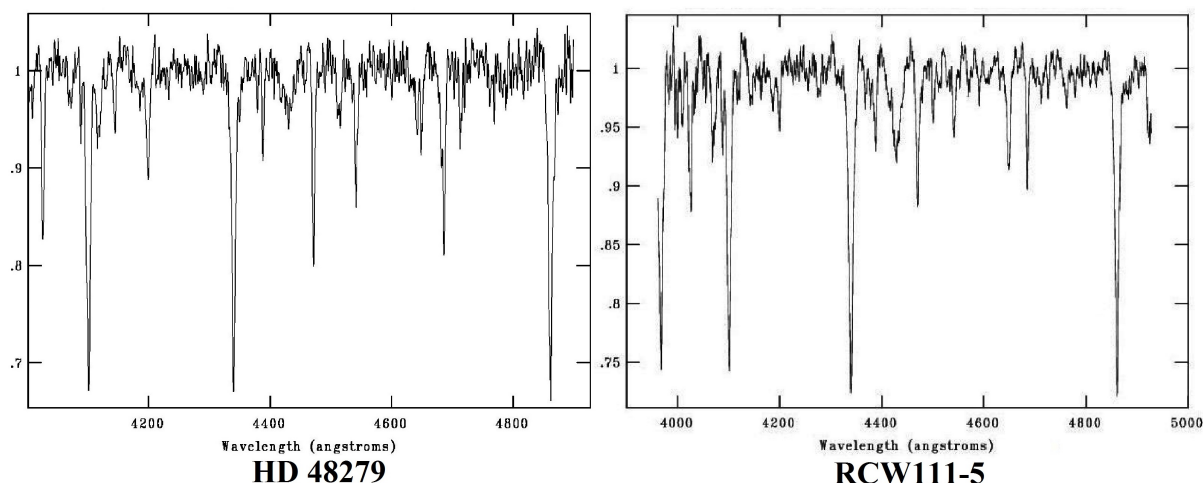


Figura 38: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral O8 V e de RCW111-5.

A tabela 18 mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessas estrelas e que são importantes para as classes espectrais O e B. As lacunas em branco indicam que não há presença da linha correspondente.

Tabela 18: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 125.

Estrela	H δ λ 4101	H γ λ 4340	H β λ 4861	He I λ 4009	He I λ 4026	He I λ 4144	He I λ 4387	He I λ 4471	He I λ 4713	He I λ 4921	He II λ 4541
RCW125_3	11.9	9.45	8.72				0.35	0.36			
RCW125_4	7.66	7.61	7.82	0.25	1.00	0.38	0.58	0.91	0.19	0.60	
RCW125_6	5.84	6.00	6.640	0.50	0.95	0.54	0.65	1.01	0.23	0.62	

Comparando esses valores aos das tabelas 3 e 4 podemos concluir que as estrelas 4 e 6 estão entre os tipos espectrais B2 V e B5 V e a estrela 3 entre B5 V e B8 V. Comparamos então o espectro dessas estrelas com espectros da literatura. Nas Figuras 39 e 40 vemos o espectro da estrela 3 comparado ao de uma estrela B7 V, e os de 4 e 6 comparados ao de uma estrela B3 V, respectivamente. Devido a suas semelhanças podemos concluir que tratam-se de duas estrelas B3 V para 4 e 6 e de uma B7 V para a estrela 3.

A.9 Estrelas de RCW 130

As linhas de He I λ 4026, 4144, 4387, 4471 e 4713 estão bem visíveis no espectro dessa estrela (veja Figura 41). Como não há presença de linhas do He II nos espectros podemos concluir que ela não é uma estrela do tipo O e sim uma de tipo espectral B.

A tabela 19 mostra a largura equivalente das linhas presentes no espectro dessa estrela e que são importantes para as classes espectrais O e B. As lacunas em branco

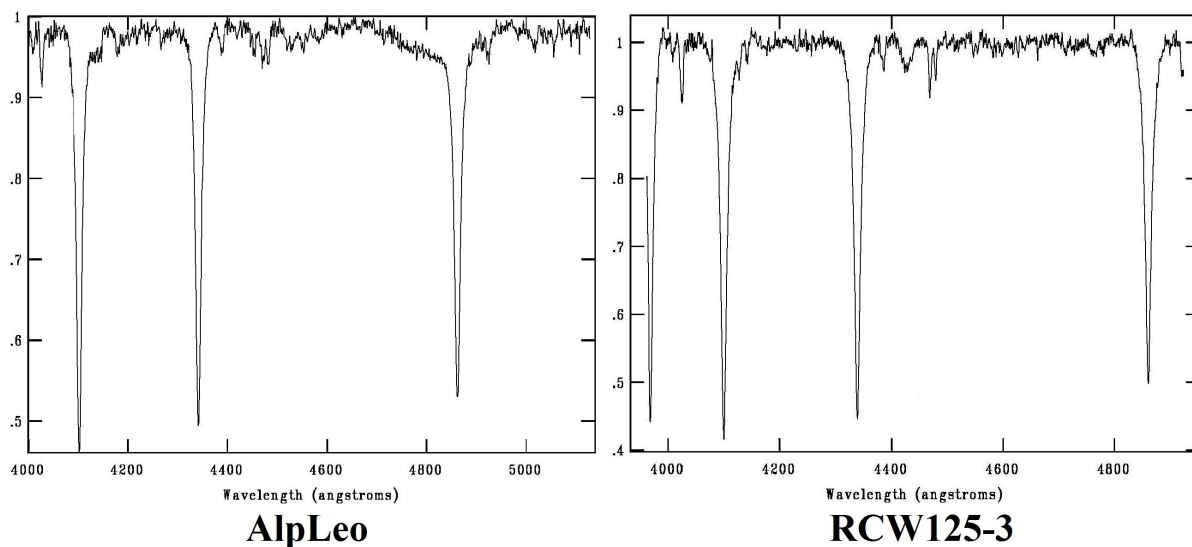


Figura 39: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B7 V e de RCW125-3.

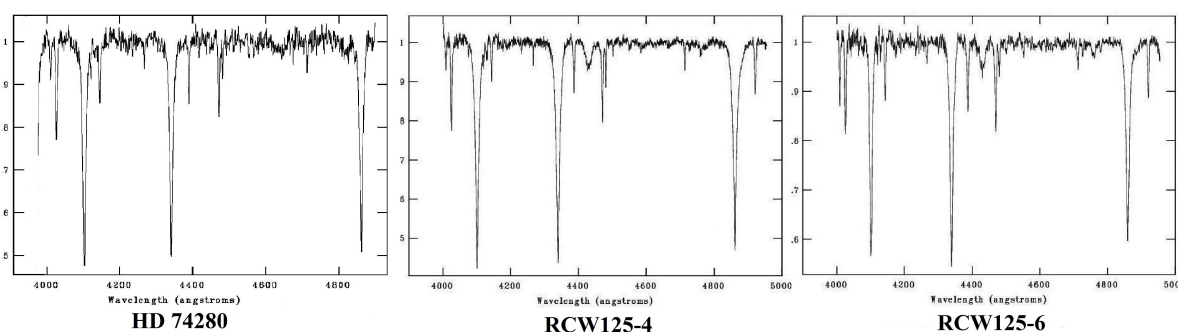


Figura 40: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B3 V e de RCW125-4 e 6.

indicam que não há presença da linha correspondente.

Tabela 19: Largura equivalente de importantes linhas de estrelas quentes de RCW 130.

Estrela	H δ λ 4101	H γ λ 4340	H β λ 4861	He I λ 4009	He I λ 4026	He I λ 4144	He I λ 4387	He I λ 4471	He I λ 4713	He I λ 4921	He II λ 4541
RCW130_4	5.44	5.74	5.64	0.76	1.80	1.36	1.18	1.90	0.33	1.16	

Comparando esses valores aos das tabelas 3 e 4 podemos concluir que esta estrela está entre os tipos espectrais B0 V e B3 V. Comparamos então o espectro dessa estrela com espectros de estrelas do tipo B0 V à B3 V da literatura. Na Figura 41 vemos o espectro de RCW130-4 comparado ao de uma estrela do tipo espectral B1.5 V. Devido a sua semelhanças podemos concluir que trata-se de uma estrela B1.5 V.

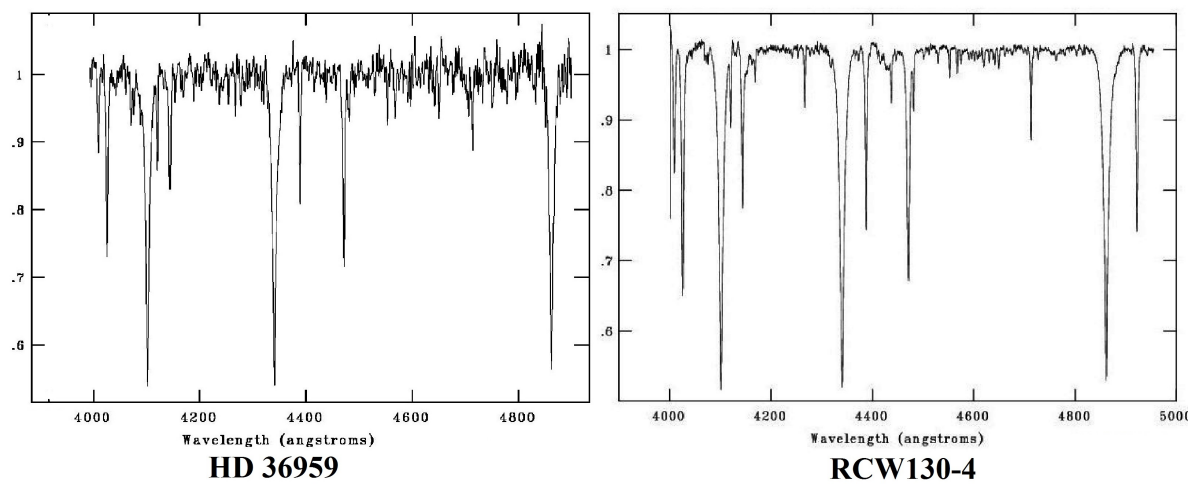


Figura 41: Comparação entre os espectros de uma estrela padrão para o tipo espectral B1.5 V e RCW130-4.