



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CAMPUS AGRESTE  
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE  
CURSO DE FÍSICA - LICENCIATURA

MILLENA BRANDÃO MACIEL

**CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DAS ESTRELAS OBA DO AGLOMERADO  
ABERTO NGC 3766**

Caruaru  
2025

MILLENA BRANDÃO MACIEL

**CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DE ESTRELAS OBA DO AGLOMERADO  
ABERTO NGC 3766**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Física.

**Área de concentração:** Astrofísica.

**Orientador (a):** Prof. Dr. Heydson Henrique Brito da Silva

**Coorientador (a):** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Simone Daflon dos Santos

Caruaru

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Maciel, Millena Brandão.

Classificação espectral de estrelas OBA do aglomerado aberto NGC 3766 /  
Millena Brandão Maciel. - Caruaru, 2025.

114 p. : il., tab.

Orientador(a): Heydson Henrique Brito da Silva

Coorientador(a): Simone Daflon dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Física - Licenciatura, 2025.

Inclui referências, apêndices.

1. aglomerado aberto. 2. astrofísica estelar. 3. classificação espectral. 4.  
estrelas OBA. I. Silva, Heydson Henrique Brito da. (Orientação). II. Santos,  
Simone Daflon dos. (Coorientação). IV. Título.

520 CDD (22.ed.)

MILLENA BRANDÃO MACIEL

**CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DE ESTRELAS OBA DO AGLOMERADO  
ABERTO NGC 3766**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Licenciatura em  
Física do Campus Agreste da Universidade  
Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade  
de monografia, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de licenciado em Física.

Aprovada em: 20/03/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Heydson Henrique Brito da Silva (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Daflon dos Santos (Coorientadora)  
Observatório Nacional

---

Prof. Dr. Diogo Martins Souto (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Sergipe

Dedico este trabalho a todos os professores que, ao longo da minha trajetória, contribuíram para minha formação e estiveram presentes em cada etapa do meu aprendizado. Em especial, àqueles que me fizeram enxergar a beleza e a importância de lecionar.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os meus familiares, especialmente aos meus irmãos, Lennon e Guilherme, aos quais sempre me apoiaram e me incentivaram.

Agradeço ao meu namorado, Samuel, por todo companheirismo desde o início do curso, onde sempre compartilhamos e fortalecemos nossos sonhos, pela paciência e aprendizados.

Agradeço aos meus amigos de curso, Nicolas, Lucas, Mateus Eduardo, Berg e Pedro que me proporcionaram o primeiro período cheio de risadas.

Agradeço a toda equipe da UFPE-CAA, aos seguranças Pedro e Marcos e à responsável pela faxina do laboratório de física, Neide, onde os via diariamente na minha rotina.

Agradeço pelas bolsas que viabilizaram minha permanência e a conclusão do curso, como a de assistência estudantil da Proaes e a da CAPES, concedida pelo Programa de Residência Pedagógica.

Agradeço a todos os professores que estiveram comigo nessa jornada, principalmente aos professores, Ernesto Rodriguez, Tassiana Carvalho, João Eduardo, Diana Patrícia, Paulo Peixoto e Gustavo Camelo.

Agradeço ao professor Heydson Henrique que me deu a possibilidade de iniciar meus estudos em astrofísica estelar nas iniciações científicas produzidas na UFPE-CAA.

Agradeço a oportunidade pelo Observatório Nacional (ON) por ter sido bolsista no Programa de Iniciação Científica e Tecnológica (PICT/ON), cuja experiência resultou neste trabalho, e em especial a minha orientadora, Simone Daflon, por todos os ensinamentos, pelo apoio e pela confiança depositada em mim.

“Das estrelas ao pó, e do pó as estrelas. No Cosmos, nada se perde [...]” (Cosmos, 2014)

## RESUMO

Aglomerados estelares são conjuntos de estrelas ligadas gravitacionalmente, formadas a partir de uma mesma nuvem molecular, que possuem características comuns, como idade, composição química e distância. Eles são ferramentas fundamentais para o estudo da evolução estelar e da estrutura da galáxia que os formam. Neste trabalho, focamos no aglomerado aberto NGC 3766, localizado na constelação de Centauro. Sendo um aglomerado jovem, ele abriga predominantemente estrelas dos tipos espectrais B e A. Porém, uma grande fração de estrelas de NGC 3766 atualmente não possui classe espectral designada. Assim, este trabalho tem como objetivo classificar espectralmente as estrelas OBA no aglomerado aberto NGC 3766. Para isso, realizamos uma classificação baseada na intensidade de linhas espectrais chave para cada tipo espectral, como as do HeI (4471 Å) e MgII (4481 Å). Os dados observacionais são espectros de alta resolução do Gaia-ESO Survey, obtidos com o espectrógrafo FLAMES/GIRAFFE/UVES, no telescópio VLT. A amostra inclui 401 estrelas, cobrindo uma ampla gama de tipos espectrais, das quais selecionamos 374 com base em dados fotométricos sintéticos do Gaia DR3. Ao final, classificamos 142 estrelas de NGC 3766. Os resultados incluem um atlas detalhado dos espectros e um catálogo dos tipos espectrais das estrelas OBA do aglomerado, oferecendo uma base valiosa para investigações futuras sobre as propriedades, dinâmica e evolução desse sistema estelar.

**Palavras-chave:** aglomerado aberto; astrofísica estelar; classificação espectral; estrelas OBA.

## ABSTRACT

Star clusters are groups of stars gravitationally bound together, formed from the same molecular cloud, and sharing common characteristics such as age, chemical composition, and distance. They are fundamental tools for studying stellar evolution and the structure of the galaxy that formed them. In this work, we focus on the open cluster NGC 3766, located in the Centaurus constellation. As a young cluster, it predominantly hosts stars with spectral types B and A. However, a large fraction of NGC 3766 stars currently lacks an assigned spectral classification. Thus, this work aims to spectral classification of OBA-type stars in the NGC 3766 open cluster. For this purpose, we conducted a detailed classification based on the relative intensity of key absorption spectral lines for each spectral type, such as HeI (4471 Å) and MgII (4481 Å). The observational data consist of high-resolution spectra from the Gaia-ESO Survey, obtained with the FLAMES/GIRAFFE/UVES spectrograph on the VLT telescope. The sample includes 401 stars, covering a wide range of spectral types, from which we selected 374 based on synthetic photometric data from Gaia DR3. In the end, we classified 142 stars in NGC 3766. The results include a detailed atlas of the stellar spectra and a catalog of the spectral types of the cluster stars, providing a valuable basis for future investigations into the properties, dynamics, and evolution of this stellar system.

**Keywords:** OBA stars; open clusters; spectral classification; stellar astrophysics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 1 –  | Espectro Eletromagnético  | 20 |
| Figura 2 –  | O fluxo decai com o quadrado da distância à fonte   | 22 |
| Figura 3 –  | Sistema de magnitude UBVRI  | 23 |
| Figura 4 –  | Imagem de um espectro com linhas de absorção do hidrogênio  | 24 |
| Figura 5 –  | Espectro solar desenhado e colorido por Joseph von Fraunhofer   | 25 |
| Figura 6 –  | Uma litografia colorida dos espectros de linha de K, Na, Li, Sr, Ca e Ba conforme relatado por Bunsen e Kirchhoff em 1860 | 26 |
| Figura 7 –  | Os três tipos de espectros na classificação de Kirchhoff: o contínuo, o de emissão e o de absorção                        | 27 |
| Figura 8 –  | Formação de linhas de absorção e de emissão   | 27 |
| Figura 9 –  | O perfil de uma linha espectral típica de absorção  | 28 |
| Figura 10 – | Largura total na metade do máximo (FWHM) de uma linha espectral   | 29 |
| Figura 11 – | O grupo de mulheres computadores em 1900  | 30 |
| Figura 12 – | Intensidade da linha espectral em função da temperatura e do tipo espectral   | 32 |
| Figura 13 – | Espectros estelares de NGC 3766 com diferentes intensidades das linhas de HeI e MgII                                      | 32 |
| Figura 14 – | Formação Estelar  | 35 |
| Figura 15 – | Anatomia da Via Láctea  | 36 |
| Figura 16 – | Aglomerado aberto Caixa de Jóias  | 37 |
| Figura 17 – | Aglomerado globular Omega Centauri  | 37 |
| Figura 18 – | Representação de um diagrama HR, mostrando a localização de algumas estrelas conhecidas                                   | 38 |
| Figura 19 – | Diagrama CMD para vários aglomerados abertos  | 39 |
| Figura 20 – | Diagramas HR e CMD do aglomerado globular M55   | 40 |
| Figura 21 – | Aglomerado aberto NGC 3766  | 40 |
| Figura 22 – | Very Large Telescope, Cerro Paranal, ESO  | 42 |
| Figura 23 – | O instrumento FLAMES  | 44 |
| Figura 24 – | O espectrógrafo GIRAFFE   | 44 |
| Figura 25 – | O espectrógrafo UVES  | 45 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Figura 26 – | Visão geral dos campos e alvos observados  | 46  |
| Figura 27 – | Distribuição do índice de cor das estrelas OBAFGKM NGC 3766                                    | 47  |
| Figura 28 – | Integração por Gauss (HeI) e Simpson (MgII)  | 48  |
| Figura 29 – | Integração por Gauss (HeI) em um caso de assimetria  | 49  |
| Figura 30 – | Integração por Gauss (HeI) em um caso de componente secundária                                 | 49  |
| Figura 31 – | Distribuição do Sinal/Ruído dos espectros das estrelas OBA NGC 3766                            | 50  |
| Figura 32 – | Comparação entre LE (HeI) medidas pelos métodos Simpson X Gaussiana das estrelas OBA NGC 3766  | 51  |
| Figura 33 – | Comparação entre LE (MgII) medidas pelos métodos Simpson X Gaussiana das estrelas OBA NGC 3766 | 51  |
| Figura 34 – | Adaptação da medição da largura equivalente (HeI) por integral de Gauss no IRAF                | 52  |
| Figura 35 – | Intensidade da linha X tipo espectral  | 53  |
| Figura 36 – | Distribuição da classificação espectral das estrelas OBA NGC 3766                              | 55  |
| Figura 37 – | Classificação espectral literatura X este trabalho   | 57  |
| Figura 38 – | Diagrama cor-magnitude de NGC 3766   | 59  |
| Figura 39   | Diagrama cor-magnitude de NGC 3766 com as estrelas classificadas neste trabalho em destaque    | 59  |
| Figura 40 – | Diagrama cor-magnitude de NGC 3766 com binárias em destaque                                    | 61  |
| Figura 41 – | Espectro da estrela HD 306793 entre 4025Å e 4200Å  | 106 |
| Figura 42 – | Espectro da estrela HD 306793 entre 4330Å e 4550Å  | 107 |
| Figura 43 – | Espectro da estrela HD 306793 entre 6300Å e 6700Å  | 108 |
| Figura 44 – | Espectro da estrela HD 100840 entre 4200Å e 5000Å  | 108 |
| Figura 45 – | Espectro da estrela HD 100840 entre 4400Å e 4600Å  | 108 |
| Figura 46 – | Espectro da estrela HD 100943 entre 4330Å e 4600Å  | 109 |
| Figura 47 – | Espectro da estrela HD 100943 entre 6300Å e 6700Å  | 109 |
| Figura 48 – | Espectro da estrela HD 101105 entre 4400Å e 4600Å  | 110 |
| Figura 49 – | Detalhe do espectro da estrela HD 101105 entre 4450Å e 4500Å                                   | 110 |
| Figura 50 – | Espectros de SB2 identificadas em HeI  | 111 |
| Figura 51 – | Espectros de SB2 com tipos espectrais mais frios   | 112 |
| Figura 52 – | Espectros de SB2 identificadas em H $\alpha$   | 113 |



## LISTA DE TABELAS

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabela 1 – | Tipos espectrais, índices de cores e temperaturas efetivas                                 | 24  |
| Tabela 2 – | Intensidade da linha e seu respectivo tipo espectral                                       | 53  |
| Tabela 3 – | Dados fotométricos das estrelas de NGC 3766  | 67  |
| Tabela 4 – | Larguras equivalente medidas pelos métodos de Gauss e Simpson das estrelas OBA de NGC 3766 | 87  |
| Tabela 5 – | Classificação espectral das estrelas OBA de NGC 3766                                       | 96  |
| Tabela 6 – | Comparação dos tipos espectrais deste trabalho com dados da literatura                     | 104 |

## LISTA DE QUADROS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Quadro 1 – | Classificação espectral de acordo com a temperatura superficial | 31 |
| Quadro 2 – | Classificação espectral de acordo com a classe de luminosidade  | 33 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |  |
|----------|--|
| B        | Magnitude no filtro azul   |
| Be       | Estrelas do tipo B com linhas de emissão                                     |
| CMD      | Color Magnitude Diagram  |
| EB       | Binária Eclipsante   |
| ESO      | European Southern Observatory  |
| FLAMES   | Fibre Large Array Multi Element Spectrograph                                 |
| Gaia DR3 | Gaia Data Release 3  |
| GES      | Gaia-ESO Survey  |
| HD       | Catálogo de Henry Draper   |
| IRAF     | Image Reduction and Analysis Facility  |
| LE       | Largura Equivalente  |
| NGC      | New General Catalogue  |
| Pu       | Pulsares   |
| S/R      | Sinal-ruído  |
| SB       | Binária Espectroscópica  |
| SB1      | Binária Espectroscópica de linha simples                                     |
| SB2      | Binária Espectroscópica de linha dupla                                       |
| s*b      | Supergigante Azul  |
| SIMBAD   | Set of Identifications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data |
| SP       | Sequência Principal  |
| UVES     | Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph                                  |
| V        | Magnitude no filtro visível  |
| VLT      | Very Large Telescope   |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|               |  |
|---------------|--|
| Å             | Unidade de medida – Angstrom ( $10^{-10}m$ )               |
| arcmin        | Unidade de medida angular Minuto de arco (1/60 de um grau) |
| H $\alpha$    | Elemento químico – Hidrogênio alfa                         |
| H $\beta$     | Elemento químico – Hidrogênio beta                         |
| H $\gamma$    | Elemento químico – Hidrogênio gama                         |
| H $\delta$    | Elemento químico – Hidrogênio delta                        |
| HeI           | Elemento químico – Hélio neutro                            |
| MgII          | Elemento químico – Magnésio ionizado uma vez               |
| mÅ            | Unidade de medida – Miliangstrom ( $10^{-13}m$ )           |
| nm            | Unidade de medida – Nanômetro ( $10^{-9}m$ )               |
| pc            | Unidade de medida – Parsec ( $3.0857 \times 10^{16}m$ )    |
| SiIII         | Elemento químico – Silício ionizado duas vezes             |
| $W_{\lambda}$ | Largura equivalente da linha espectral                     |
| $\lambda$     | Letra grega minúscula Lambda                               |
| $\sigma$      | Letra grega minúscula Sigma                                |
| *             | Estrela  |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>2</b> | <b>PRINCÍPIOS DE ANÁLISE ASTRONÔMICA.....</b>                | <b>20</b> |
| 2.1      | FOTOMETRIA.....  | 21        |
| 2.1.1    | Fluxo.....   | 21        |
| 2.1.2    | Magnitudes.....  | 22        |
| 2.1.3    | Sistema Fotométricos.....                                    | 23        |
| 2.1.4    | Índice de Cor.....   | 23        |
| 2.2      | ESPECTROSCOPIA.....  | 24        |
| 2.2.1    | Contexto Histórico.....                                      | 25        |
| 2.2.2    | O Perfil da Linha Espectral.....                             | 27        |
| 2.2.3    | Classificação Espectral Estelar.....                         | 29        |
| 2.2.4    | Sistemas de Classificação MKK e MK.....                      | 33        |
| <b>3</b> | <b>AGLOMERADOS ESTELARES.....</b>                            | <b>35</b> |
| 3.1      | TIPOS DE AGLOMERADOS ESTELARES.....                          | 35        |
| 3.2      | DIAGRAMAS HR E CMD DOS AGLOMERADOS ESTELARES.....            | 37        |
| 3.3      | O AGLOMERADO ABERTO NGC 3766.....                            | 40        |
| <b>4</b> | <b>DADOS OBSERVACIONAIS.....</b>                             | <b>42</b> |
| 4.1      | VERY LARGE TELESCOPE - VLT.....                              | 42        |
| 4.1.1    | FLAMES e seus Espectrógrafos GIRAFFE e UVES.....             | 43        |
| 4.2      | GAIA-ESO SURVEY.....   | 45        |
| 4.3      | DESCRIÇÃO DA AMOSTRA.....                                    | 46        |
| <b>5</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                                      | <b>48</b> |
| 5.1      | MEDIÇÃO DA LARGURA EQUIVALENTE.....                          | 48        |
| 5.2      | RELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE DA LINHA E TIPO<br>ESPECTRAL.....  | 52        |
| <b>6</b> | <b>RESULTADOS.....</b>                                       | <b>55</b> |
| 6.1      | CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DAS ESTRELAS OBA DE NGC<br>3766..... | 55        |
| 6.2      | COMPARAÇÃO COM DADOS DA LITERATURA.....                      | 56        |
| 6.3      | DIAGRAMA COR-MAGNITUDE DE NGC 3766.....                      | 58        |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>62</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>63</b>  |
| <b>APÊNDICE A – DADOS FOTOMÉTRICOS DAS ESTRELAS<br/>OBA DE NGC 3766.....</b>   | <b>67</b>  |
| <b>APÊNDICE B – LARGURAS EQUIVALENTES MEDIDAS<br/>PELOS MÉTODOS DE GAUSS E SIMPSON DAS ESTRELAS<br/>OBA DE NGC 3766.....</b> | <b>87</b>  |
| <b>APÊNDICE C – CATÁLOGO DA CLASSIFICAÇÃO<br/>ESPECTRAL DAS ESTRELAS OBA DE NGC 3766.....</b>                                | <b>96</b>  |
| <b>APÊNDICE D – CATÁLOGO COMPARAÇÃO COM OS<br/>DADOS DA LITERATURA.....</b>  | <b>104</b> |
| <b>APÊNDICE E – ESPECTROS DAS ESTRELAS HD 306793, HD<br/>100840, HD 100943 E HD 101105.....</b>                              | <b>106</b> |
| <b>APÊNDICE F – SISTEMAS BINÁRIOS DE NGC 3766.....</b>   | <b>111</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A classificação espectral é uma ferramenta fundamental para categorizar estrelas e outros objetos celestes com base em suas características espectrais. Ela revela detalhes importantes por meio da análise de linhas de absorção (regiões mais escuras no espectro, onde a luz é absorvida) e linhas de emissão (regiões brilhantes, onde a luz é emitida), que surgem devido à interação entre a radiação que atravessa a atmosfera estelar e as partículas que a compõem nos átomos e íons presentes na atmosfera estelar. Essas linhas são influenciadas principalmente pela temperatura superficial do objeto, mas também por outros fatores, como a composição química, a densidade do gás, a velocidade de rotação e até mesmo a presença de campos magnéticos.

Usualmente, utilizamos como referência a classificação espectral desenvolvida em Harvard entre o final do século XIX e início do século XX. A astrônoma americana Annie Jump Cannon organizou a classificação em sete principais classes (ou tipos) espectrais: O, B, A, F, G, K e M, cada uma dividida em subclasses (ou subtipos) numeradas de 0 a 9, onde 0 representa as estrelas mais quentes e 9 as mais frias daquela classe. Para complementar essa classificação, o sistema Morgan-Keenan (MK) introduziu as classes de luminosidade, representadas por algarismos romanos de I (supergigantes) a V (anãs da sequência principal). A combinação dessas classificações permite uma compreensão mais detalhada da composição química e das propriedades físicas das estrelas, ampliando nosso conhecimento sobre o Universo e a evolução estelar.

Nesse contexto, os aglomerados estelares são laboratórios ideais para o estudo da evolução estelar. Formados a partir de uma mesma nuvem molecular, as estrelas de um aglomerado compartilham características similares como idade, composição química e distância em relação à Terra. Os aglomerados abertos, em particular, são compostos por estrelas jovens e quentes, localizadas no disco galáctico, e desempenham um papel crucial na compreensão da estrutura e evolução das galáxias.

Nosso trabalho dedica-se ao aglomerado aberto NGC 3766, localizado relativamente próximo ao Sol, na constelação de Centauro, a aproximadamente 7.000 anos-luz. Com uma idade estimada de aproximadamente 20 milhões de anos, NGC 3766 é um aglomerado jovem em comparação com outros aglomerados estelares. Contém centenas de estrelas, principalmente de tipos espectrais B e A, indicando que muitas das estrelas no NGC 3766 são quentes, jovens e brilhantes. No entanto, uma quantidade considerável dessas estrelas ainda não possui classe espectral definida na literatura. Logo, a classificação espectral dessas estrelas é essencial para

entender a dinâmica e evolução do aglomerado, além de fornecer uma compreensão mais precisa das propriedades físicas das estrelas.

Este trabalho tem como objetivo classificar as estrelas quentes de tipo espectral OBA (*early-type*) do aglomerado aberto NGC 3766, identificando-as dentro de suas respectivas classes e subclasses.

Para isso, utilizaremos espectros de alta resolução de estrelas do aglomerado NGC 3766, obtidos pelo projeto Gaia-ESO Survey, complementados por dados de fotometria sintética disponíveis no Gaia DR3. A classificação será baseada nas medições das razões de intensidade das linhas espectrais do HeI (4471 Å) e MgII (4481 Å), que servem como um indicador do tipo espectral B. Essa abordagem permitirá uma análise mais abrangente e precisa das propriedades estelares do aglomerado.

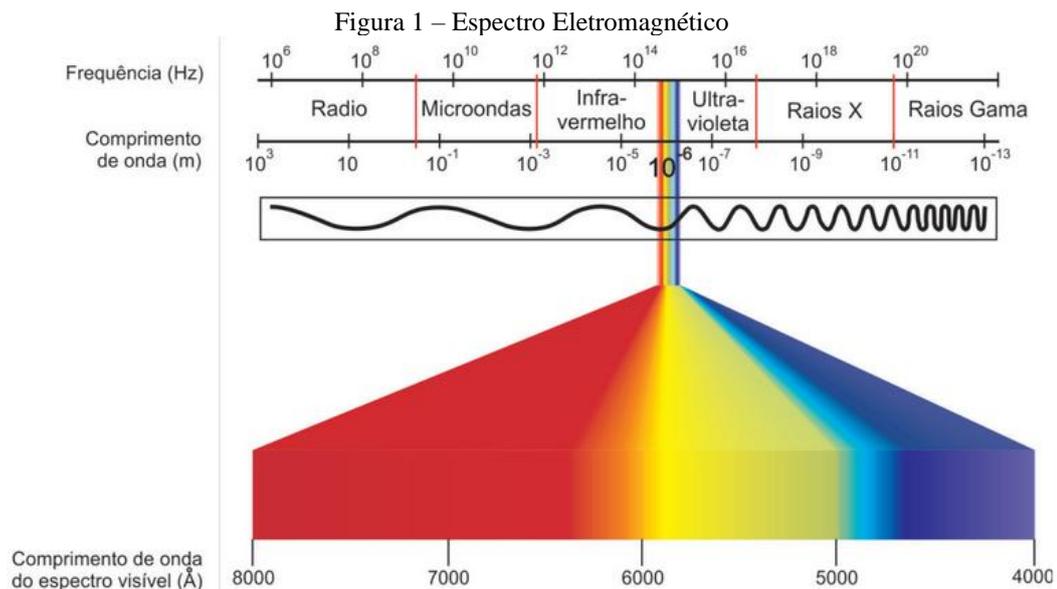
## 2 PRINCÍPIOS DE ANÁLISE ASTRONÔMICA

Na idade média, o estudo dos astros foi profundamente influenciado pelas contribuições de astrônomos árabes, persas, indianos e europeus. A forma mais comum de realizar tais observações era através do olho humano, e decorrente disso, tivemos vários aparatos mecânicos que possibilitam medir a posição dos corpos celestes, como: relógio solar, astrolábio, quadrante etc.

Galileo Galilei revolucionou as observações astronômicas após a adaptação da luneta<sup>1</sup> no século XVII, onde posteriormente, tivemos o aprimoramento em telescópios refratores e refletores, sendo este último inventado por Isaac Newton em 1668.

A fotografia astronômica teve início no século XIX com John William Draper, que, em 1840, capturou a primeira fotografia da Lua utilizando um telescópio. Henry Draper, filho de John Draper, também teve importantes contribuições na astrofotografia e na espectroscopia estelar, onde fotografou o primeiro espectro da estrela Vega em 1872.

Atualmente, utilizamos uma combinação de tecnologias e telescópios avançados, além de satélites, para detectarmos e analisarmos a radiação eletromagnética do espaço. Assim, permitindo a observação de todo o espectro eletromagnético, desde as ondas de rádio até os raios gama, como ilustrado na Figura 1. Essa radiação é fundamental para a observação mais profunda e abrangente dos objetos celestes que compõem o nosso Universo.



Fonte: Kepler & Saraiva (2014, p. 194).

<sup>1</sup> A luneta era uma ferramenta utilizada nas navegações marítimas, mas nunca tinha sido direcionada para estudar o céu, como o fez Galileo.

## 2.1 FOTOMETRIA

Para compreender a natureza das estrelas, recorreremos a uma entidade física fundamental que sempre esteve presente, desde as observações astronômicas mais antigas até as mais atuais: a luz. Na fotometria, investigamos a luz emitida de um objeto, buscando desvendar suas propriedades e características. A seguir, exploraremos alguns termos e parâmetros fundamentais que compõem os estudos da fotometria.

### 2.1.1 Fluxo

Quando caracterizamos a emissão de uma fonte astrofísica, nosso principal interesse é determinar a energia emitida. Contudo, o que os detectores de telescópios realmente medem é o fluxo. O fluxo, frequentemente associado ao brilho aparente da estrela, é uma grandeza que depende da energia recebida por unidade de área e tempo, sendo definido pela equação:

$$F = \frac{\text{energia}}{\text{área} \times \text{tempo}} \quad (2.1)$$

Ao estimar a distância da fonte em relação ao observador e conhecendo sua banda do espectro eletromagnético, podemos determinar o fluxo a uma distância  $r$  da estrela utilizando a seguinte equação:

$$F(r) = \frac{L}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

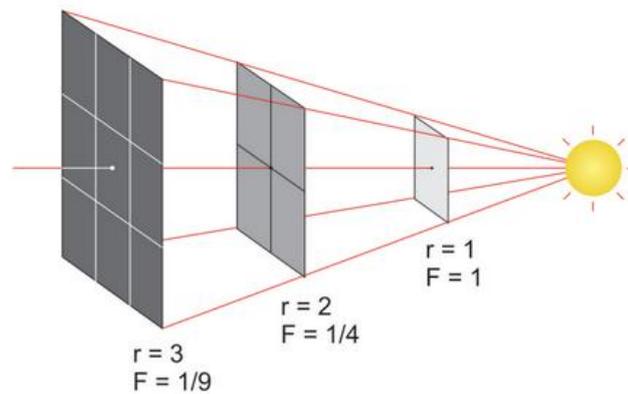
onde  $L$  é a luminosidade intrínseca ou potência, isto é, a energia total emitida por unidade de tempo em todas as direções. Lembrando que  $F = \sigma T^4$ , temos:

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^4 \quad (2.3)$$

onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$  é a constante de Stefan-Boltzmann,  $R$  é o raio da estrela, e  $T$  a temperatura superficial.

Conforme mostrado na Figura 2, o fluxo diminui com o quadrado da distância. Isso significa que o fluxo que chega ao detector do telescópio é significativamente menor do que aquele presente na superfície do astro.

Figura 2 – O fluxo decai com o quadrado da distância à fonte



Fonte: Kepler & Saraiva (2014, p. 197).

### 2.1.2 Magnitudes

Segundo Horvath et al. (2011, p. 13), o conceito de magnitude serve como um sistema de referência para medir os fluxos luminosos. A magnitude aparente ( $m$ ) é utilizada para quantificar o brilho de uma estrela em função de sua distância, sendo definida pela seguinte expressão:

$$m = -2,5 \log F + \text{constante} \quad (2.4)$$

Assim,  $m$  é baseada em dados fotométricos precisos captados por equipamentos eletrônicos que replicam a sensibilidade logarítmica da visão humana. O astrônomo grego Hiparco, há cerca de 2.000 anos, definiu este sistema utilizando a seguinte escala:  $m = 1$  para a estrela mais brilhante visível a olho nu e  $m = 6$  para a mais fraca. Dessa forma, quanto menor for a magnitude de uma estrela, mais brilhante ela é. A estrela Vega é utilizada como referência de ponto zero dessa escala, definindo a constante na equação mencionada.

Para a luminosidade, utiliza-se a magnitude absoluta ( $M$ ), que representa o brilho intrínseco de um objeto como se ele estivesse a uma distância padrão de 10 parsecs ( $pc$ ), definida pela expressão:

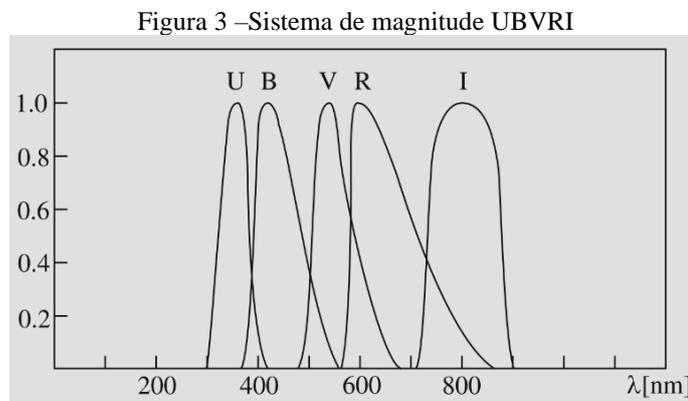
$$M = -2,5 \log [F(10pc)] + \text{constante} \quad (2.5)$$

Portanto, na astronomia, ao nos referirmos à potência ou luminosidade de um objeto, utilizamos a magnitude absoluta ( $M$ ). Por outro lado, a magnitude aparente ( $m$ ) descreve o fluxo luminoso ou brilho observado a partir da Terra.

### 2.1.3 Sistemas Fotométricos

Os sistemas fotométricos são sistemas padronizados compostos por filtros ou bandas fotométricas projetados para funcionar de forma integrada entre o telescópio e o detector. Esses filtros permitem a passagem da luz apenas em faixas específicas do espectro eletromagnético.

Um sistema bastante utilizado foi desenvolvido por Harold L. Johnson e William W. Morgan na década de 1950, também conhecido como Sistema Fotométrico Johnson (UBV). Posteriormente, o sistema UBV foi expandido com a implementação das bandas R e I, atualizado para o Sistema de Johnson-Cousins (UBVRI), conforme ilustrado na Figura 3.



No eixo x observamos o intervalo dos comprimentos de onda para cada banda, sendo a frequência central de cada banda  $U = 367$  nm,  $B = 436$  nm,  $V = 545$  nm,  $R = 638$  nm e  $I = 797$  nm. O eixo y está em unidades normalizadas para representar o pico máximo de transmissão das bandas.

### 2.1.4 Índice de Cor

Assim como a magnitude de uma estrela pode ser quantificada, sua cor também pode ser mensurada utilizando magnitudes em diferentes filtros. No sistema UBV, por exemplo, os índices de cor são definidos pelas diferenças  $B-V$  e  $U-B$ . Esses índices de cor indicam o quão avermelhado ou azulado é o fluxo da estrela, fornecendo, assim, informações sobre sua temperatura.

Se  $B-V > 0$ , a magnitude B da estrela é maior do que a magnitude V, o que significa que a estrela emite mais na região mais vermelha do espectro (com energia mais baixa) do que na região azul (com energia mais alta). Índice de cor positivo, portanto, caracteriza uma estrela de

cor avermelhada, associada a temperaturas mais baixas. Por outro lado, para  $B-V < 0$ , o índice corresponde a estrelas mais azuladas, que são mais quentes. Neste sistema, Vega é a estrela de referência, com  $B-V = 0$ , e temperatura efetiva em torno de 10.000 K. Na Tabela 1, podemos verificar alguns valores de índices de cores em diferentes filtros associados às suas temperaturas e tipos espectrais que será discutido no Subtópico 2.2.3.

Tabela 1 – Tipos espectrais, índices de cores e temperaturas efetivas

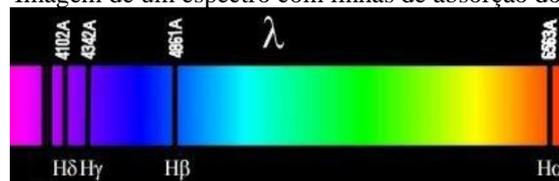
| Tipo | B-V   | U-B   | V-R   | R-I   | Teff (K) |
|------|-------|-------|-------|-------|----------|
| O5V  | -0.33 | -1.19 | -0.15 | -0.32 | 42.000   |
| B0V  | -0.30 | -1.08 | -0.13 | -0.29 | 30.000   |
| A0V  | -0.02 | -0.02 | 0.02  | -0.02 | 9.790    |
| F0V  | 0.30  | 0.03  | 0.30  | 0.17  | 7.300    |
| G0V  | 0.58  | 0.06  | 0.50  | 0.31  | 5.940    |
| K0V  | 0.81  | 0.45  | 0.64  | 0.42  | 5.150    |
| M0V  | 1.40  | 1.22  | 1.28  | 0.91  | 3.840    |

Fonte: Adaptado de Drilling & Landolt em Allen's Astrophysical Quantities (2000, p. 388).

## 2.2 ESPECTROSCOPIA

Quando a luz atravessa um prisma ou uma rede de difração, ela é decomposta em suas cores componentes, um processo conhecido como dispersão. Na natureza, esse fenômeno é observado no arco-íris, onde a luz solar é decomposta pelas gotas de água na atmosfera. Na espectroscopia, estudamos essa sequência de cores resultantes da decomposição da luz em função do comprimento de onda ou frequência, na Figura 4 observamos um exemplo de um espectro na faixa do visível com as principais linhas de absorção do hidrogênio.

Figura 4 – Imagem de um espectro com linhas de absorção do hidrogênio



Fonte: Kepler & Saraiva (2014, p. 217).

O método mais preciso para se obter propriedades físicas da atmosfera estelar é através da análise do seu espectro.

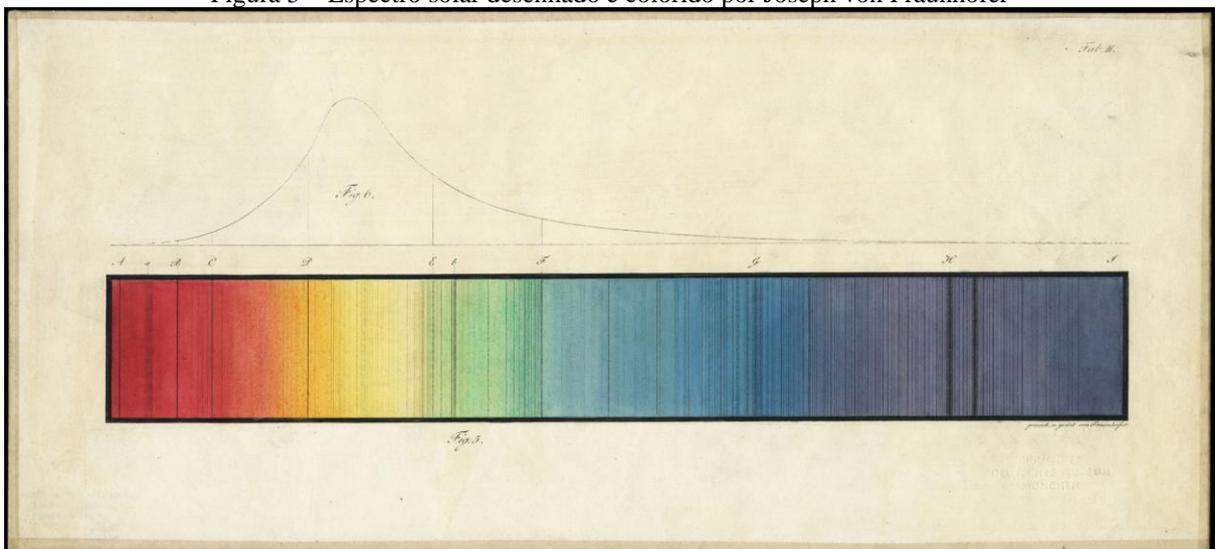
### 2.2.1 Contexto Histórico

Em 1672, Isaac Newton publica seu artigo sobre a refração da luz através de um prisma, tomando partida para a base da óptica moderna. Em seu relato inovador, Newton assume que a cor é uma propriedade inerente da luz, não do meio que ela viaja ou é refletida — teorias anteriores tentavam explicar que o próprio prisma era responsável pelas cores da luz branca.

Em 1802, o químico inglês William Hyde Wollaston observou características escuras no espectro óptico do Sol, conhecidas atualmente como linhas de absorção. Porém, em 1814, Joseph von Fraunhofer redescobriu de forma independente tais linhas e começou a estudá-las.

Fraunhofer foi um óptico alemão que fabricava excelentes vidros ópticos de alta qualidade para lentes. Ele utilizava as linhas do espectro solar para determinar as propriedades dos vidros e assim melhorar seus equipamentos. Consequentemente, descobriu a série de linhas escuras do espectro solar que hoje leva seu nome. Ao longo de seu trabalho, identificou mais de 570 linhas e nomeou alfabeticamente algumas regiões que são usadas até hoje, para as linhas mais fortes são utilizadas letras maiúsculas e para linhas mais fracas letras minúsculas. Na figura 5, observamos com uma riqueza de detalhes o espectro do Sol e a curva de distribuição de intensidade aparente aproximada da luz no espectro, feito por Fraunhofer.

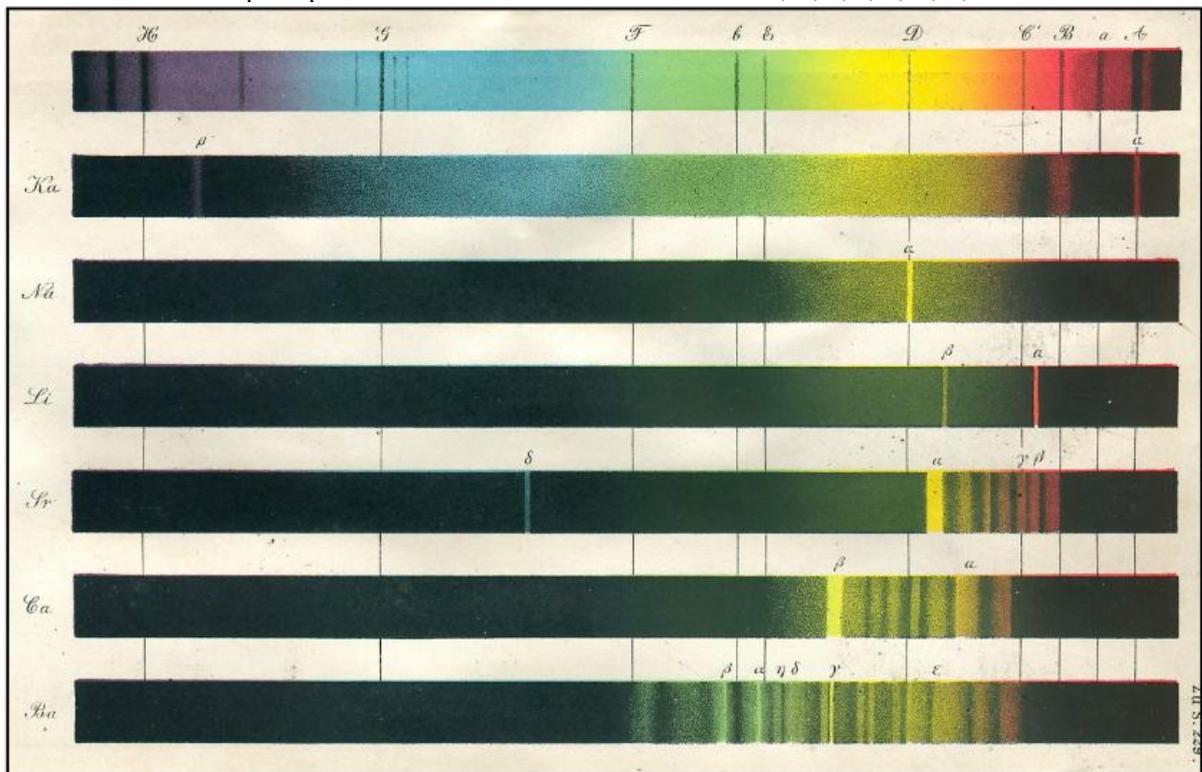
Figura 5 – Espectro solar desenhado e colorido por Joseph von Fraunhofer



Fonte: Deutsches Museum (2019).

Em torno de 1860, o químico alemão Robert Bunsen e o físico germanico Gustav Kirchhoff, notaram que várias linhas de Fraunhofer coincidem nos espectros de elementos químicos aquecidos, no entanto, as linhas do espectro dos elementos eram brilhantes (hoje, reconhecidas como linhas de emissão), como pode ser visto na Figura 6. Portanto, deduziram que as linhas de absorção presentes no espectro do Sol são causadas pela absorção de elementos químicos presentes na atmosfera solar.

Figura 6 – Uma litografia colorida dos espectros de linha de  $Ka$ ,  $Na$ ,  $Li$ ,  $Sr$ ,  $Ca$  e  $Ba$  conforme relatado por Bunsen e Kirchhoff em 1860. No topo, para comparação e calibração, está o espectro solar com as principais linhas de Fraunhofer marcadas como H, G, F, b, E, D, C, B e A.

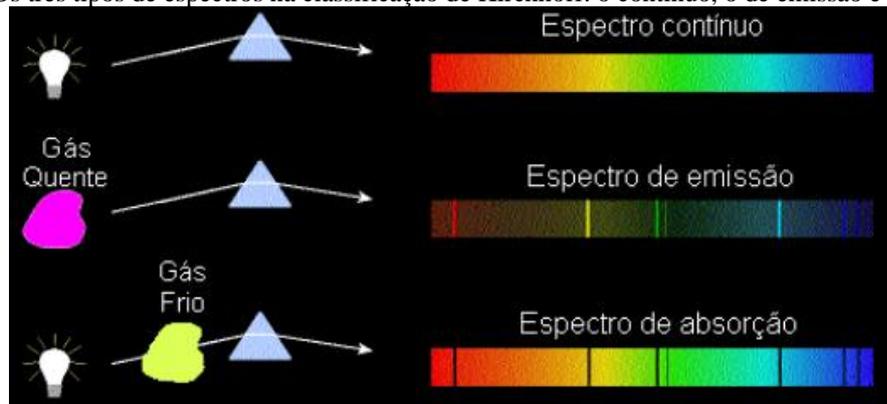


Fonte: Jensen (2014, p. 7).

Dessa forma, Kirchhoff formulou as três leis empíricas da espectroscopia para evidenciar as características entre os diferentes tipos de espectros observados. A Figura 7 ilustra tais leis, mostrando os espectros resultantes de diferentes processos físicos, que são eles: i) Espectro contínuo: característico de um corpo opaco (sólido, líquido ou gasoso) aquecido; ii) Espectro de emissão: característico de um gás transparente aquecido; iii) Espectro de absorção: formado pela superposição de um gás mais frio à fonte do espectro contínuo.

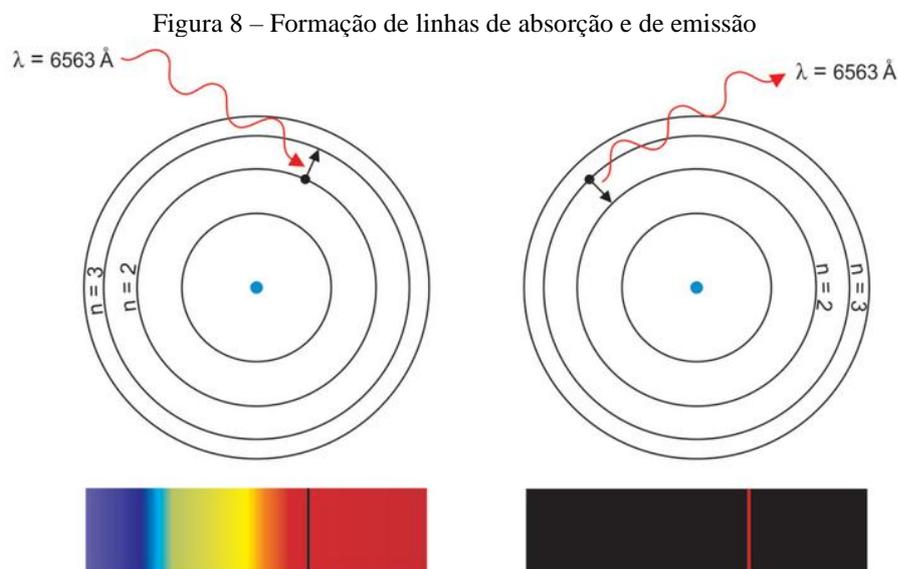
Assim, a razão pela qual os espectros estelares apresentam linhas de absorção pode ser explicada pelas leis de Kirchhoff: o espectro contínuo emitido pelo gás denso e opaco, que compõe a maior parte da estrela, passa pela atmosfera mais fria e transparente da estrela.

Figura 7 – Os três tipos de espectros na classificação de Kirchhoff: o contínuo, o de emissão e o de absorção



Fonte: Kepler & Saraiva (2024).

Posteriormente, com o avanço da teoria da quantização no início do século XX, tornou-se possível entender de forma mais detalhada o processo de formação das linhas de emissão e absorção. De maneira breve, na Figura 8 é descrito que, quando o átomo absorve um fóton com energia suficiente para realizar a transição para um nível superior (figura da esquerda), ocorre a formação de uma linha de absorção com um comprimento de onda correspondente ao fóton absorvido. Por outro lado, quando o átomo emite um fóton ao retornar a um nível inferior (figura da direita), forma-se uma linha de emissão com o mesmo comprimento de onda.



Fonte: Kepler & Saraiva (2014, p. 226)

## 2.2.2 O Perfil da Linha Espectral

As linhas espectrais também possuem perfis específicos que carregam detalhes adicionais sobre as condições físicas e dinâmicas da atmosfera estelar, como temperatura,

pressão, gravidade superficial, densidade e velocidade das partículas, além de revelar a presença e quantidade de elementos químicos. O perfil de linha descreve a distribuição de intensidade de luz em torno do comprimento de onda central da linha espectral, na Figura 9 está representada pela linha contornada preta.

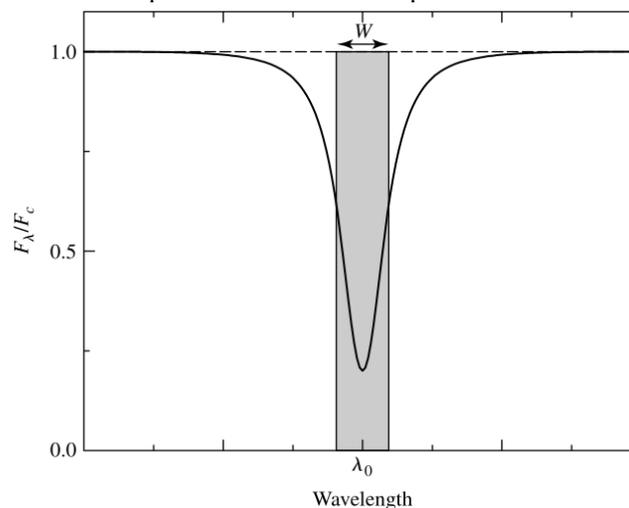
Se definirmos o centro da linha em  $\lambda_0$  e  $(F_c - F_\lambda)/F_c$  como a profundidade da linha, onde  $F_\lambda$  é o fluxo no comprimento de onda específico e  $F_c$  é o fluxo no espectro contínuo, temos a definição da largura equivalente ( $W$ ):

$$W = \int \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad (2.6)$$

Portanto, a largura equivalente pode ser utilizada para representar a energia removida do feixe em uma dada frequência, associada a uma linha espectral, independentemente do formato do seu perfil.

Na figura 9, o centro da linha  $\lambda_0$  corresponde à profundidade máxima formada nas camadas mais altas e frias da atmosfera estelar enquanto as “asas”, que ficam próximo ao contínuo (linha tracejada na horizontal), são formadas nas regiões mais quentes e internas da atmosfera. Nos referimos a asa azul do perfil de uma linha quando queremos indicar a região do perfil com comprimentos de onda menores que  $\lambda_0$ , e a asa vermelha para regiões com  $\lambda > \lambda_0$ .

Figura 9 – O perfil de uma linha espectral típica de absorção. A largura equivalente de uma linha espectral possui a mesma área do perfil da linha.

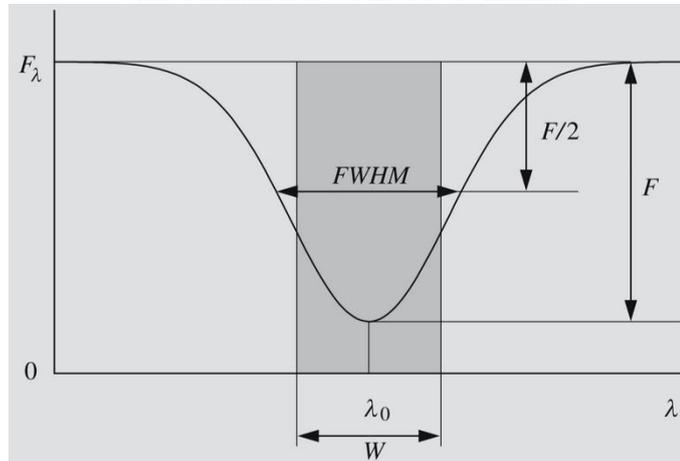


Fonte: Carroll & Ostlie (2017, p. 300).

Outra característica importante é a largura total na metade do máximo (FWHM sigla em inglês para *full width at half maximum*), representada na Figura 10. É definida como a largura

medida na metade da altura entre o contínuo e o máximo da linha, que é uma indicação dos processos de alargamento que ocorrem na atmosfera estelar.

Figura 10 – Largura total na metade do máximo (FWHM) de uma linha espectral. A largura na profundidade onde a intensidade é a metade do máximo.



Fonte: Karttunen et al. (2007, p. 100).

O alargamento e a forma das linhas podem estar relacionado a diversos fatores: i) Largura natural, ocorre devido à incerteza de Heisenberg associada aos níveis de energia dos átomos e íons, assim, definindo a largura mínima que uma linha espectral pode ter; ii) Alargamento pelo efeito Doppler, quando a fonte está em movimento; iii) Alargamento por colisões (efeito Stark), estando relacionado a função da densidade do gás, pois, os níveis de energia de um átomo são perturbados pela presença de outros átomos próximos; iv) Efeito Zeeman, pela presença de um campo magnético; v) Alargamento por rotação, estrelas que giram rapidamente apresentam perfis alargados; vi) Turbulência da atmosfera terrestre e o pelo instrumento de observação.

### 2.2.3 Classificação Espectral Estelar

Pietro Angelo Secchi, padre e cientista italiano, considerado como pai da classificação espectral estelar, foi um dos pioneiros em 1863 ao publicar seus estudos na área de observações em espectroscopia estelar. Ele notou que os padrões das linhas dependiam da cor da estrela e classificou pelo menos 4.000 estrelas. Dessa forma, demonstrou uma gama de variedades nos espectros estelares, influenciando o futuro das classificações estelares.

Em torno de 1890, Edward Charles Pickering, diretor do observatório do colégio de Harvard, liderou um grupo de pesquisa para catalogar espectros em fotografias produzidas por Henry Draper. Falecido em 1882, seus arquivos foram doados para Harvard por sua esposa, em

sua memória. Em 1890 nasce o primeiro fruto deste trabalho, o Draper Catalogue of Stellar Spectra.

Para isso, Pickering contratou diversas mulheres para realizar as classificações, conhecidas em Harvard por “mulheres computadores” vistas na Figura 11. Naquela época, apesar da complexidade de tal trabalho, era considerado de menor dificuldade e, por isso, recebia uma remuneração inferior, sendo associado ao "caráter feminino". Enquanto isso, os cientistas homens concentravam-se principalmente no desenvolvimento de teorias, cálculos e publicações, já que a eles cabia a escolha das funções (Vieira et al., 2021).

Entre as mulheres computadores, se destacam alguns nomes: Williamina Paton Stevens Fleming, Antonia Caetana de Paiva Pereira Maury – sobrinha de Henry Draper, Annie Jump Cannon, Henrietta Swan Levi e Cecília Payne-Gaposchkin.

Figura 11 – O grupo de mulheres computadores em 1900.



Fonte: Harvard University.

Inicialmente, a classificação espectral desenvolvida em Harvard por Williamina Fleming seguindo sugestões de Pickering, baseava-se na intensidade das linhas de hidrogênio. As estrelas eram organizadas em classes alfabéticas de A a Q, onde as estrelas da classe A exibiam as linhas de hidrogênio mais intensas, seguidas pela classe B, e assim por diante. Antonia Maury chegou a introduzir algumas mudanças e em busca de melhorias para a classificação, Annie Jump Cannon<sup>2</sup> se juntou à equipe de Pickering em 1896.

---

<sup>2</sup> No decorrer de sua carreira, Annie Cannon classificou mais de 400.000 estrelas. Se tornou a primeira mulher a receber um diploma honorário da Universidade de Oxford e em 1923 foi nomeada pela League of Women Voters como uma das 12 maiores mulheres americanas vivas.

Cecília Payne, em sua tese de doutorado publicada em 1925<sup>3</sup>, demonstrou que todas as estrelas são feitas principalmente de hidrogênio e hélio, e que a temperatura da superfície de uma estrela determina a força de suas linhas espectrais.

Portanto, a ordem OBAFGKM, segue a temperatura atmosférica decrescente das estrelas classificadas, sendo O a classe das estrelas mais quentes e M mais frias, e para as subclasses numéricas, sendo 0 a mais quente dentro daquela classe e 9 a mais fria. Dessa forma, a sequência tomou significado físico refletindo o reconhecimento de que as características espectrais observadas dependem principalmente da temperatura efetiva da estrela.

Atualmente, as estrelas são classificadas com base nas intensidades das linhas de absorção presentes nos seus espectros. A intensidade das linhas depende da composição química e dos parâmetros físicos do gás, como temperatura e pressão. Conforme a temperatura varia, as intensidades das linhas presentes nos espectros vão mudando também, como pode ser visto no Quadro 1 e na Figura 12.

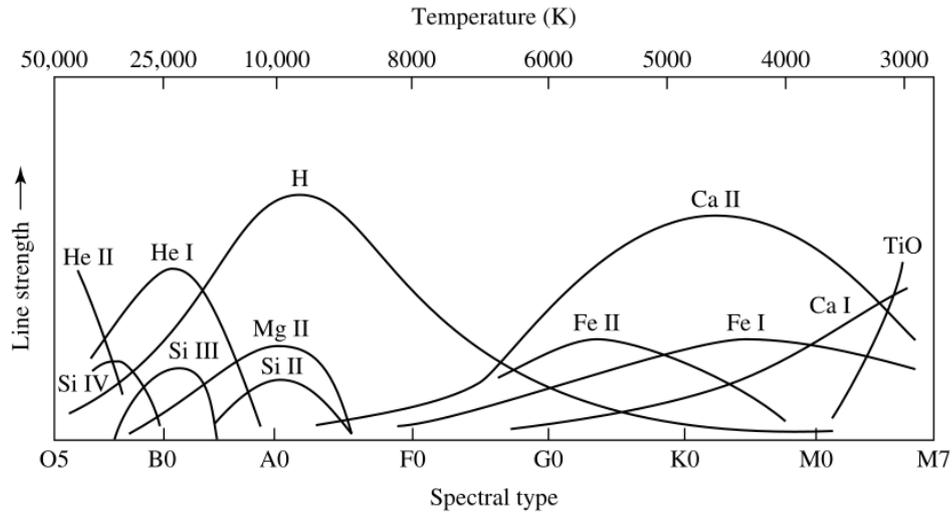
Quadro 1 - Classificação espectral de acordo com a temperatura superficial

| <b>Tipo espectral</b> | <b>Temperatura superficial (K)</b> | <b>Linhas características</b>                   |
|-----------------------|------------------------------------|---|
| O                     | > 30.000 K                         | H, HeII/I, OII/III, NII/III, SiIV/III           |
| B                     | 10.000 - 30.000 K                  | He, H, OIII/II/I, CIII/CII, NII/NI, SiIV/III/II |
| A                     | 7.500 - 10.000 K                   | H(intensa), CaI, MgI, FeII/I                    |
| F                     | 6.000 - 7.500 K                    | H(mais fraca), CaI, MgI, FeII/I                 |
| G                     | 5.200 - 6.000 K                    | H(mais fraca), CaI, metais neutros              |
| K                     | 3.700 - 5.200 K                    | CaI(intensa), metais neutros, H(fraca)          |
| M                     | < 3.700 K                          | Átomos neutros, moléculas, TiO                  |

Fonte: Adaptado de Harvard Smithsonian Center for Astrophysics.

<sup>3</sup> Os astrônomos Otto Struve e Velta Zebergs consideraram a tese de Cecília Payne como "a mais brilhante já escrita na astronomia".

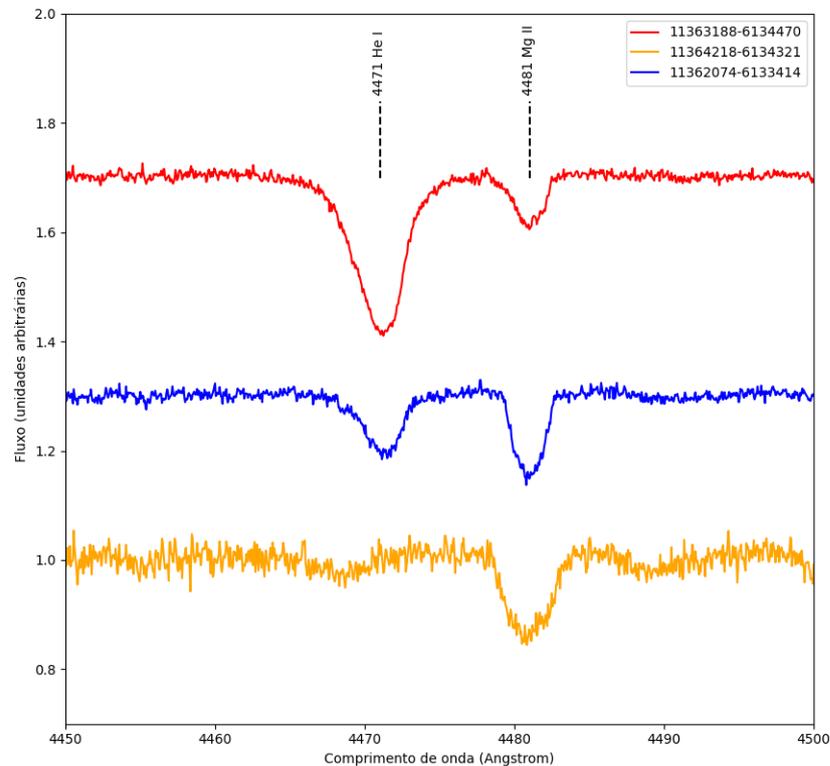
Figura 12 – Intensidade da linha espectral em função da temperatura e do tipo espectral. Acima na horizontal, temos a temperatura, abaixo temos o tipo espectral e na vertical a intensidade da linha.



Fonte: Carroll & Ostlie (2017, p. 248).

Podemos ver de outra maneira esta relação observando a variação na intensidade dos perfis de absorção de He I e Mg II nos espectros de 3 estrelas de NGC 3766 apresentados na Figura 13, com temperaturas diferentes, diminuindo de cima para baixo.

Figura 13 – Espectros estelares de NGC 3766 com diferentes intensidades das linhas de He I e Mg II. Resultado da variação de temperatura das estrelas, de cima para baixo.



Fonte: A autora (2025).

### 2.2.4 Sistemas de Classificação MKK e MK

Com os avanços da física nuclear e o crescente entendimento sobre a evolução estelar, tornou-se necessário adaptar e expandir o sistema de classificação de Harvard. Essa expansão foi implementada em 1943 por William Wilson Morgan, Philip Childs Keenan e Edith Kellman, do Observatório Yerkes, dando origem ao sistema MKK (em referência às iniciais dos autores). A principal inovação foi a inclusão de um novo critério de classificação baseado na luminosidade, representado por números romanos de I a V. A luminosidade é determinada pela intensidade de linhas espectrais sensíveis à pressão do gás, como as do hidrogênio, hélio, metais ionizados e moléculas.

Em 1953, o sistema MKK passou por atualizações significativas, tornando-se reconhecido como o sistema Morgan-Keenan (MK), amplamente utilizado até os dias de hoje. No Quadro 2 apresentamos com maiores detalhes a classificação referente a luminosidade.

Quadro 2 – Classificação espectral de acordo com a classe de luminosidade

| Classe de luminosidade | Descrição           | Comentários             |
|------------------------|---------------------|-------------------------|
| 0                      | Hipergigantes       | extremo                 |
| Ia                     | Supergigantes       | grande e luminosa       |
| Ib                     | Supergigantes       | menos luminosa que a Ia |
| II                     | Gigantes Brilhantes |                         |
| III                    | Gigantes            |                         |
| IV                     | Sub-Gigantes        |                         |
| V                      | Anãs                | Sequência principal     |
| sd                     | Sub-Anãs            |                         |
| D                      | Anãs brancas        |                         |

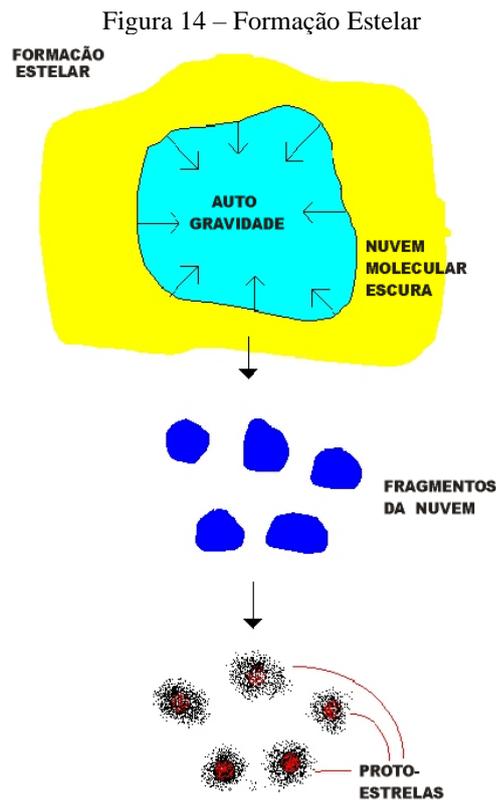
Fonte: Adaptado de Harvard Smithsonian Center for Astrophysics.

Dessa forma, este esquema de classificação incorpora características espectrais sensíveis à gravidade superficial, que está diretamente relacionada à luminosidade e ao raio da estrela, enquanto o sistema de classificação de Harvard considerava apenas a temperatura superficial. Isso levou ao reconhecimento de que, dentro de uma mesma classe espectral,

estrelas podem apresentar luminosidades absolutas completamente distintas, principalmente em função dos diferentes estágios de sua evolução estelar.

### 3 AGLOMERADOS ESTELARES

As estrelas são formadas em “berçários estelares”, que são nuvens moleculares densas e frias, compostas principalmente por gás (como hidrogênio molecular) e poeira. Essas nuvens, ao sofrerem colapso gravitacional, ganham energia e se fragmentam em núcleos menores, cada um podendo dar origem a uma estrela a depender da massa inicial da nuvem, conforme ilustrado no esquema da Figura 14. O conjunto de estrelas que continuam ligadas gravitacionalmente após sua formação é chamado de aglomerado estelar. Logo, as estrelas dos aglomerados tendem a compartilhar características semelhantes como idade, composição química (metalicidade) e mesma distância ao Sol. Isso torna os aglomerados excelentes laboratórios, fundamentais para a compreensão da formação e evolução da região da galáxia que os hospedam, além de descrever processos astrofísicos que envolvem a formação, evolução e morte das estrelas.



Fonte: Kepler & Saraiva (2024).

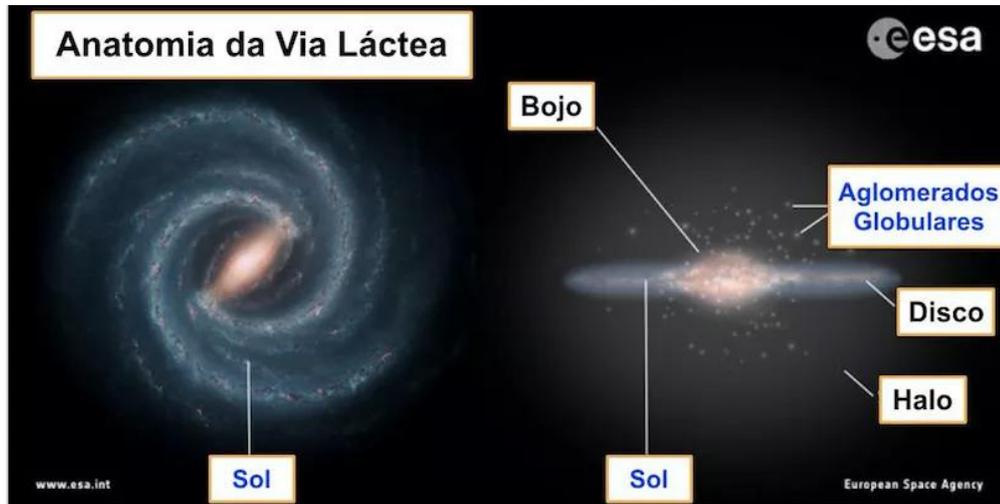
#### 3.1 TIPOS DE AGLOMERADOS

Os aglomerados são classificados principalmente em dois tipos: globulares ou abertos.

Diferenciamos eles a partir de certas características: tamanho, morfologia, densidade, localização, idade, cor das estrelas, velocidades e composição química.

Os aglomerados abertos estão localizados no disco Galáctico, enquanto os aglomerados globulares se encontram no bojo e halo, podemos evidenciar essas regiões pela anatomia da Via Láctea ilustrada na Figura 15. Estima-se que na Via Láctea tenha pelo menos 2 mil aglomerados abertos e aproximadamente 150 aglomerados globulares (Brito, 2020). A localização influencia e traz consequências sobre as características das estrelas que formam esses aglomerados.

Figura 15 – Anatomia da Via Láctea. A distância do Sol ao centro Galáctico é cerca de 30 mil anos-luz.



Fonte: Brito (2018). Créditos: NASA/JPL-Caltech (imagem da esquerda); ESA (imagem da direita).

O disco da galáxia, onde há abundância de gás e poeira, é propício para a formação de estrelas. Por isso, as estrelas dos aglomerados abertos são jovens, e estão fracamente ligadas gravitacionalmente, ocasionando uma estrutura mais dispersa, como demonstrado na Figura 16 pelo aglomerado aberto Caixa de Jóias. Por serem jovens, os aglomerados abertos podem apresentar ainda estrelas de alta massa (que evoluem muito rápido, quando comparado às estrelas de baixa massa).

Figura 16 – Aglomerado aberto Caixa de Jóias



Fonte: ESO (2009). Créditos: Y. Beletsky.

Já o halo e o bojo da Galáxia são regiões com pouco gás e poeira, logo, há menor ocorrência de formação de novas estrelas. Assim, os aglomerados globulares são compostos por estrelas menos massivas, mais antigas e frias (cores avermelhadas) e são fortemente ligadas gravitacionalmente, causando um formato esférico, conforme é evidenciado pelo aglomerado globular Omega Centauri na Figura 17. Nos aglomerados globulares, as estrelas de alta massa que se formaram inicialmente já evoluíram para estágios finais como anãs brancas ou estrelas de nêutrons, por exemplo, dependendo da massa inicial.

Figura 17 – Aglomerado globular Omega Centauri



Fonte: ESO (2008).

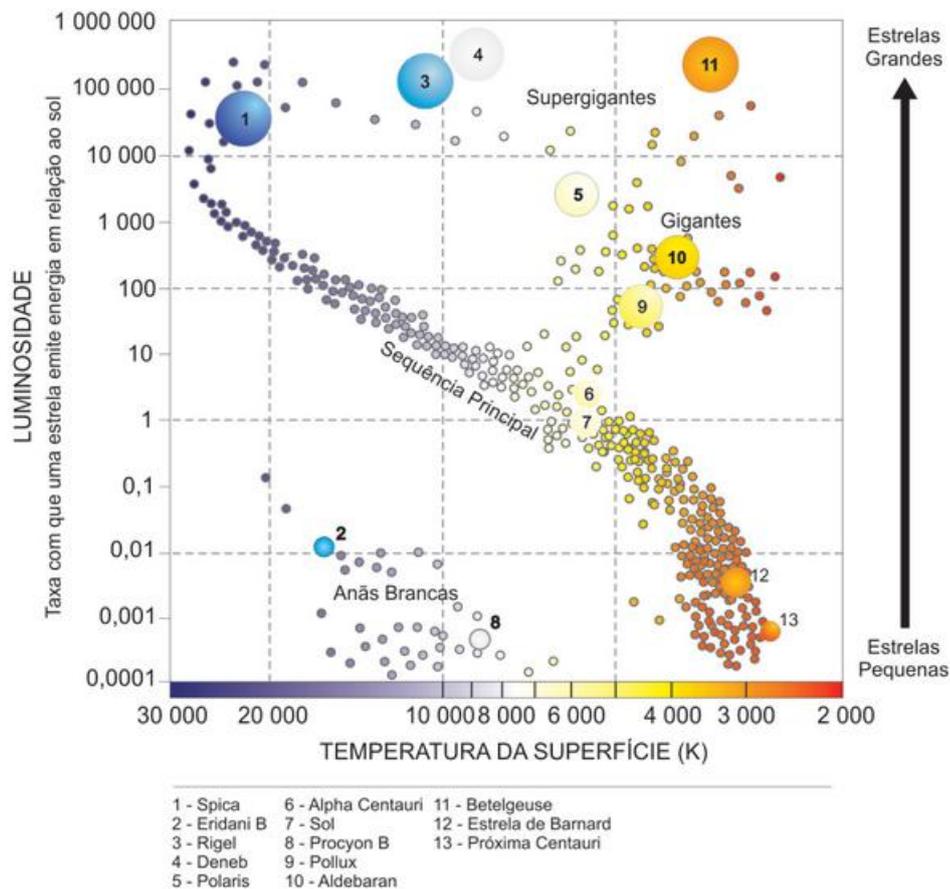
### 3.2 DIAGRAMAS HR E CMD DE AGLOMERADOS ESTELARES

Em 1911, o químico e astrônomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung relacionou a magnitude absoluta das estrelas em relação à sua cor. De forma independente, o astrônomo

americano Henry Norris Russell em 1913 comparou a classe espectral com a magnitude absoluta.

Esses trabalhos resultaram no Diagrama Hertzsprung-Russell (HR) demonstrado na Figura 18, que representa, tanto do ponto de vista teórico quanto observacional, a distribuição das estrelas com base em seus parâmetros. A evolução estelar está intrinsecamente interligada a variações nos parâmetros estelares, como luminosidade/magnitude absoluta e temperatura superficial/índice de cor/classe espectral.

Figura 18 – Representação de um diagrama HR, mostrando a localização de algumas estrelas conhecidas. A sequência principal é a região onde as estrelas vivem a maior parte de suas vidas, convertendo hidrogênio em hélio no núcleo.



Fonte: Kepler & Saraiva (2014, p. 242).

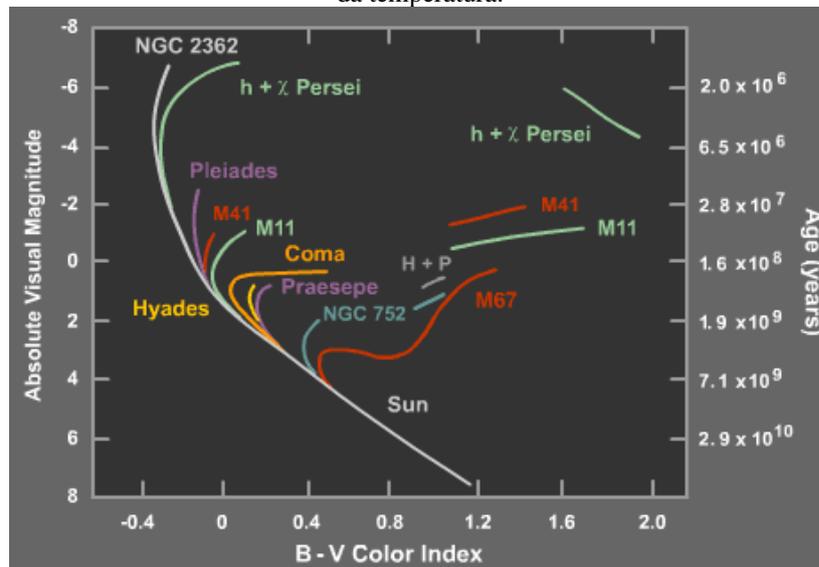
A massa e a composição química iniciais do fragmento da nuvem molecular que deu origem a uma estrela determina seu estágio evolutivo. Esses parâmetros funcionam como “combustível” que alimentam as reações nucleares que ocorrem no núcleo, definindo, assim, o tempo de vida da estrela. Estrelas muito massivas têm uma vida curta, em torno de alguns milhões de anos, pois consomem o seu combustível de forma mais rápida em comparação com estrelas de menor massa, que chegam a viver dezenas de bilhões de anos.

O diagrama cor-magnitude (CMD, sigla em inglês para *color magnitude diagram*) e o diagrama HR essencialmente possuem os mesmos objetivos, analisar a distribuição de estrelas em termos de suas propriedades luminosas e espectrais, permitindo investigar sua evolução, composição e idade. A diferença entre esses diagramas está relacionada ao tipo de dados apresentados nos gráficos: o HR utiliza dados de propriedades intrínsecas (temperatura efetiva e luminosidade absoluta) e dependentes de modelos, enquanto o CMD trabalha com dados observacionais (magnitudes em diferentes bandas fotométricas).

Conforme citado na Seção 3.1, os aglomerados abertos são constituídos por estrelas mais jovens, e os aglomerados globulares por estrelas mais velhas e frias, o que reflete no formato do diagrama HR ou CMD para cada tipo de aglomerado.

O diagrama HR ou CMD de um aglomerado aberto apresenta a maioria das estrelas na sequência principal, incluindo estrelas jovens, conforme é visto na Figura 19 com alguns exemplos de aglomerados abertos. Muitas vezes, dependendo da massa da nuvem que originou o aglomerado, podemos observar estrelas quentes e azuis (ex. NGC 2362). Dependendo da idade do aglomerado, algumas das estrelas mais massivas já podem ter saído da sequência principal e evoluído para as fases de gigantes ou supergigantes (ex.  $\eta$  e  $\chi$  Persei).

Figura 19 – Diagrama CMD para vários aglomerados abertos. Ao lado esquerdo no eixo y temos a magnitude absoluta e ao lado direito a idade em anos. No eixo x temos o índice de cor (B-V), que serve como uma medida da temperatura.

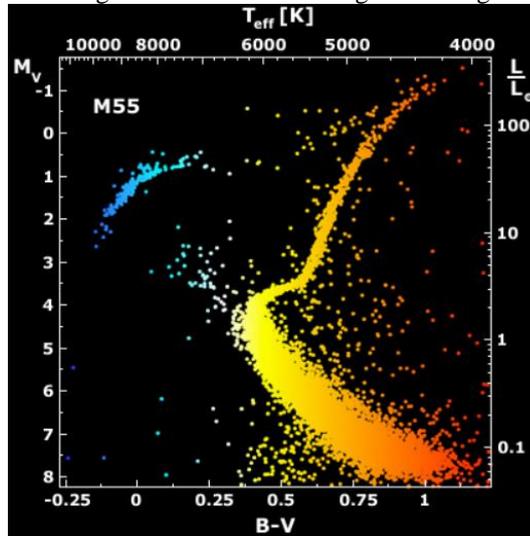


Fonte: Penn State University. Créditos: Mike Guidry, University of Tennessee.

Em contrapartida, o diagrama HR ou CMD de um aglomerado globular, como por exemplo o M55 apresentado na Figura 20, revela principalmente estrelas mais evoluídas e avermelhadas, com um crescimento predominante de luminosidade em temperaturas mais

baixas, do centro para a direita no gráfico. Sua sequência principal é curta, o que indica a ausência de estrelas jovens e massivas, reforçando uma idade mais antiga para o aglomerado.

Figura 20 – Diagramas HR e CMD do aglomerado globular M55



Fonte: NASA (2001).

### 3.3 AGLOMERADO ABERTO NGC 3766

O aglomerado aberto NGC 3766 está localizado na constelação de *Centaurus*, a aproximadamente 7.000 anos-luz da Terra. Possui uma magnitude V de 5.3, sendo possível observá-lo a olho nu em locais com pouca poluição luminosa e metalicidade próxima a do Sol. Com uma idade estimada de cerca de 20 milhões de anos, trata-se de um aglomerado relativamente jovem, composto por centenas de estrelas, predominantemente quentes (azuladas), como ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Aglomerado aberto NGC 3766



Fonte: ESO (2013).

Grande parte dos artigos publicados sobre o NGC 3766 encontrados na literatura se concentram nos estudos de suas estrelas variáveis, cujo brilho muda com o tempo, e nas estrelas do tipo Be, que são conhecidas por sua rápida rotação e muitas vezes envoltas por um disco de matéria que podem exibir linhas de emissão no seu espectro, especialmente na região do hidrogênio alfa ( $H\alpha$ ).

## 4 DADOS OBSERVACIONAIS

Os dados observacionais analisados neste trabalho são espectros de alta resolução de estrelas do aglomerado aberto NGC 3766, obtidos com o espectrógrafo Fibre Large Array Multi Element Spectrograph (FLAMES) instalado no Very Large Telescope (VLT) de 8 metros do European Southern Observatory (ESO), localizado no Cerro Paranal, Chile. O FLAMES pode ser acoplado a dois espectrógrafos, o GIRAFFE<sup>4</sup> e o Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph (UVES), que podem ser usados separadamente ou em conjunto com o FLAMES, para a observação simultânea de vários objetos.

Os espectros foram obtidos para estrelas com uma vasta variedade de tipos espectrais e foram reduzidos e normalizados por membros da colaboração Gaia-ESO Survey (GES). Os dados estão disponíveis ao público no repositório de dados do GES. Para dar ênfase à nossa pesquisa, dedicada a estrelas quentes do tipo OBA, realizamos uma classificação preliminar através de uma análise fotométrica com os dados do Gaia Data Release 3 (Gaia DR3).

### 4.1 VERY LARGE TELESCOPE - VLT

O observatório astronômico óptico mais avançado do mundo, o VLT, apresentado na Figura 22, é um conjunto de telescópios operado pela ESO no deserto do Atacama no Chile. Ele está localizado no topo do Cerro Paranal a uma altitude de 2.635 m, sendo uma região seca, céu escuro, com baixa poluição luminosa, assim, cumprindo os requisitos de condições ideais para o funcionamento de um observatório astronômico.

Figura 22 – Very Large Telescope, Cerro Paranal, ESO. Da esquerda para a direita temos os UTs: Antu, Kueyen, Melipal e Yepun. Podemos ver também no canto esquerdo da imagem os ATs.



Fonte: ESO (2012). Créditos: ESO/B. Tafreshi.

O VLT é composto por quatro telescópios principais (UTs - Unit Telescopes), cada um com um espelho primário de 8.2 metros de diâmetro e com um campo de visão de aproximadamente 27 arcmin, similar ao tamanho aparente da Lua cheia. Os telescópios

<sup>4</sup> O nome vem do primeiro design, onde o espectrógrafo estava de pé verticalmente em uma plataforma.

principais são homenageados por nomes de objetos celestes na língua Mapuche, uma antiga língua nativa dos povos indígenas do Chile e da Argentina: Antu (UT1; o Sol), Kueyen (UT2; a Lua), Melipal (UT3; o Cruzeiro do Sul) e Yepun (UT4; Vénus). Há também quatro telescópios auxiliares móveis (ATs - Auxiliary Telescopes) de 1.8 metros de diâmetro (ESO, 2012).

Na maior parte do tempo, os telescópios principais do VLT operam de forma individual. No entanto, em algumas noites ao longo do ano, eles podem ser combinados para funcionar como um único telescópio gigante, conhecido como Very Large Telescope Interferometer (VLTI). Essa configuração permite aos astrônomos observar o céu com mais detalhes.

Dessa forma, o VLT teve um impacto incontestável na astronomia observacional. Destacando-se algumas das suas principais descobertas<sup>5</sup>: a primeira imagem de um exoplaneta, estrelas individuais movendo-se em torno do buraco negro de grande massa no centro da Via Láctea, e o brilho residual da mais distante explosão de Raios Gama conhecida (ESO, 2025).

#### **4.1.1 FLAMES e seus Espectrógrafos GIRAFFE E UVES**

FLAMES é o espectrógrafo multi-objeto do VLT montado em UT2 (Pasquini et al. 2002) e pode ser visto na Figura 23. Ele foi projetado para realizar observações simultaneamente com múltiplos alvos em um único campo de visão de 25 arcmin de diâmetro. O FLAMES trabalha com espectros de resolução<sup>6</sup> intermediária e alta, sendo acoplado a dois espectrógrafos principais que cobrem toda a faixa espectral visual: UVES, para objetos mais brilhantes, e o GIRAFFE, para os mais fracos (ESO, 2021).

O GIRAFFE é um espectrógrafo óptico que trabalha com espectros de resolução média-alta (R 5500-65000) cobrindo toda a faixa do visível de 370-900 nm, ilustrado na Figura 24. Portanto, o GIRAFFE busca observar objetos galácticos e extragalácticos com alta densidade espacial, podendo observar até 130 alvos ao mesmo tempo ou fazer espectroscopia de campo integral (ESO, 2020).

---

<sup>5</sup> Disponível em: <https://www.eso.org/public/portugal/science/top10/>

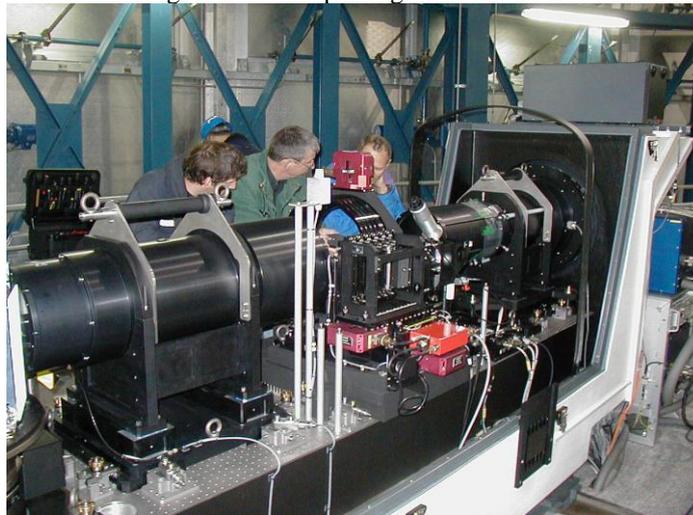
<sup>6</sup> A resolução espectral (R) é definida como a razão entre o comprimento de onda observado e a menor diferença em comprimento de onda que o instrumento consegue distinguir. Em um espectrógrafo com alta resolução de R = 47000, isso significa que ele pode diferenciar comprimentos de onda que diferem na proporção de 1 para 47000.

Figura 23 – O instrumento FLAMES. Montado na plataforma Nasmyth A de Kueyen, UT2 do Very Large Telescope do ESO.



Fonte: ESO (2009). Créditos: ESO/H.H.Heyer.

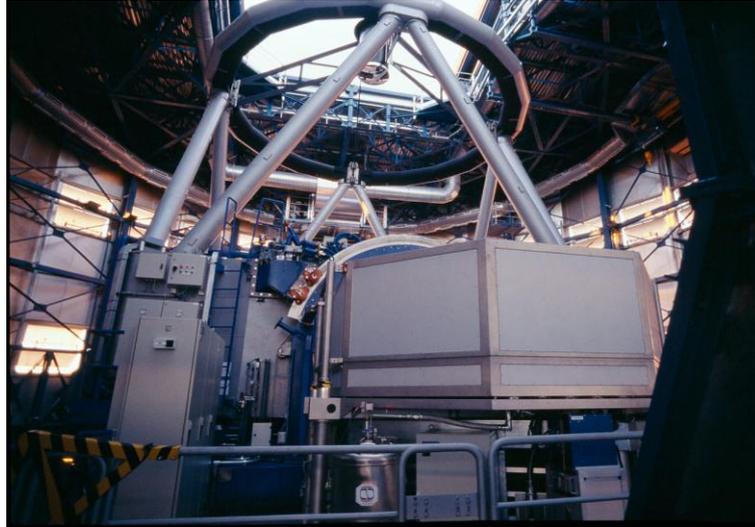
Figura 24 – O espectrógrafo GIRAFFE



Fonte: ESO (2020).

Na Figura 25 temos o UVES, ele é o espectrógrafo óptico de alta resolução ( $R \sim 40000$ ) em UT2 do VLT, projetado para operar com alta eficiência desde o corte atmosférico a 300 nm até o limite aproximado de 1110 nm (comprimento de onda dos detectores CCD). Logo, o feixe de luz do telescópio é dividido em dois braços dentro do instrumento, otimizados para observar no azul e vermelho. Acoplado ao FLAMES, ele pode acessar até 8 objetos simultaneamente. UVES é utilizado para se ter uma estabilidade mecânica máxima permitindo a calibração do comprimento de onda, como também para medições precisas para velocidade radial (ESO, 2021).

Figura 25 – O espectrógrafo UVES. Montado no telescópio principal nº 2 do VLT - Kueyen



Fonte: ESO (2013).

## 4.2 GAIA-ESO SURVEY

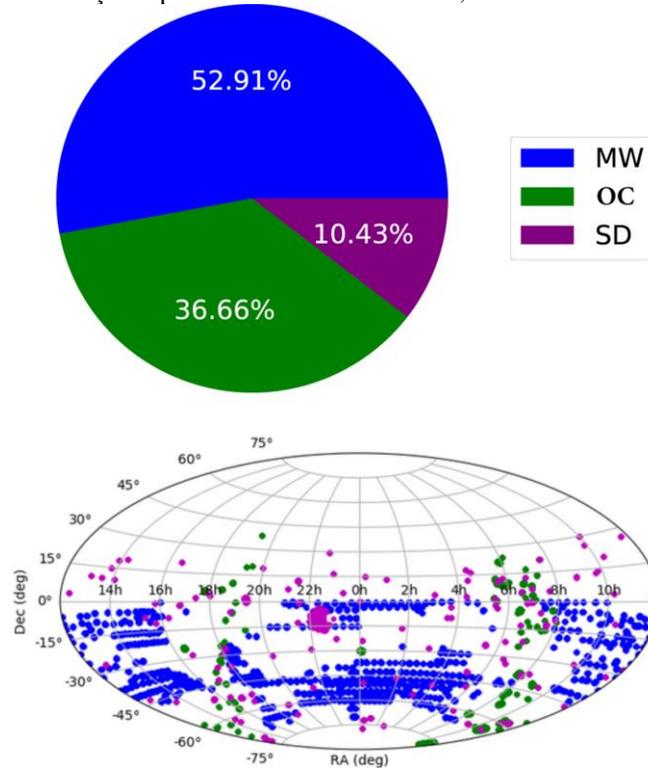
O GES é um grande levantamento espectroscópico público que tem como objetivo geral fornecer parâmetros estelares e abundâncias elementares de aproximadamente 100.000 estrelas, abrangendo diversas populações estelares da Via Láctea, com foco especial nos aglomerados estelares abertos, cobrindo uma faixa de idade entre milhões e bilhões de anos. As observações foram realizadas utilizando o instrumento FLAMES, equipado com os espectrógrafos GIRAFFE e UVES, instalado no VLT do ESO, no Chile. O levantamento complementa os dados de astrometria e fotometria da missão espacial Gaia (Randich et al., 2022). Na Figura 26 notamos os objetos e a região da Galáxia mapeada pelo GES.

Por ser realizado com um telescópio de 8 metros, o GES tornou-se o maior levantamento desse tipo até o momento, permitindo observar, com alta precisão, estrelas de baixo brilho aparente e distantes com alta precisão. Entre 2011 e 2018, o projeto coletou um extenso conjunto de dados, culminando na publicação do catálogo final em 2022<sup>7</sup>, incluindo muitos parâmetros astrofísicos: velocidades radiais, parâmetros estelares, metalicidade global e a abundância de muitos elementos químicos (Hourihane et al., 2023). Esses dados revolucionaram o conhecimento sobre a estrutura, formação e evolução galáctica e estelar, oferecendo um potencial científico para pesquisas atuais e futuras.

---

<sup>7</sup> Disponível em: <https://www.eso.org/qi/catalog/show/393>

Figura 26 – Visão geral dos campos e alvos observados. A figura superior mostra a fração de tempo dedicada aos diferentes tipos de campo: Via Láctea (MW), aglomerados abertos (OC), padrões e calibrações (SD). A figura inferior mostra a distribuição espacial dos alvos observados, usando o mesmo esquema de cores.



Fonte: Randich et al. (2022).

### 4.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Nossa amostra inicial consistiu em 1579 espectros de alta resolução obtidos pelo GES, abrangendo 401 estrelas localizadas no campo de observação do aglomerado aberto NGC 3766. Esses espectros, já processados e normalizados, foram disponibilizados pela colaboração GES. As observações, realizadas em abril de 2016, apresentam diferentes coberturas espectrais, determinadas pelas configurações instrumentais utilizadas. As configurações que contêm as linhas de interesse para esta pesquisa cobrem o intervalo entre 434.0 nm e 458.7 nm com resolução igual a 20250 para os espectros obtidos pelo GIRAFFE, e entre 414 nm e 621 nm com resolução igual a 47000 para os espectros do UVES (Gilmore et al., 2022).

Para prosseguir com a análise de forma mais eficiente foi necessário identificar as estrelas mais quentes da amostra, correspondentes aos tipos espectrais OBA, que são os objetos de interesse nesta pesquisa.

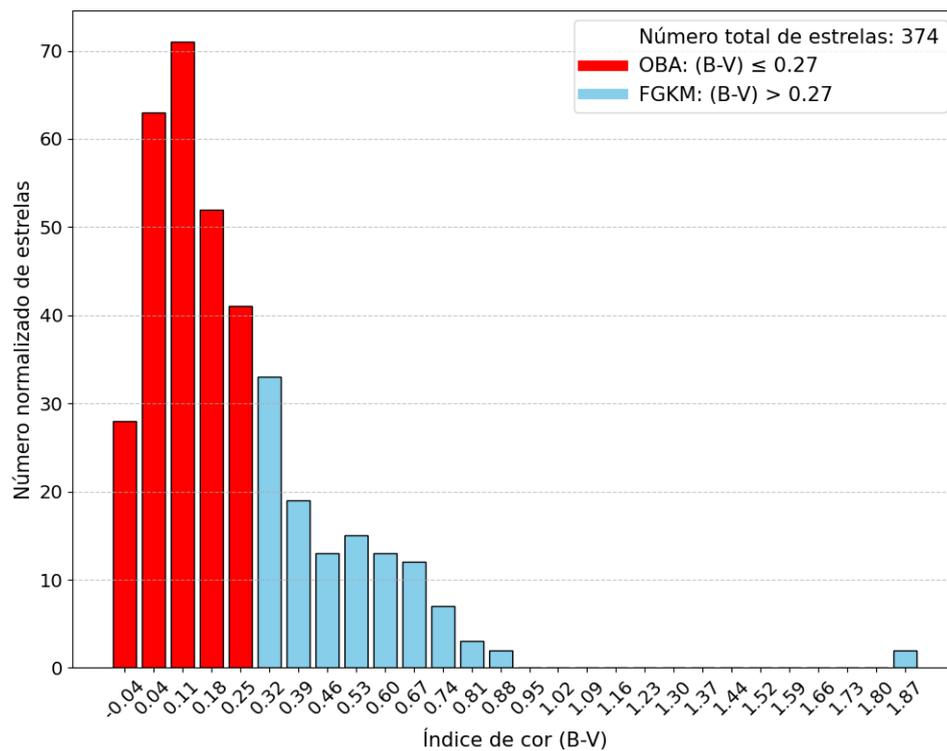
A seleção foi realizada com base no sistema fotométrico Johnson (UBV) pois, a partir desses filtros, é possível calcular o índice de cor (B-V), um indicador da temperatura estelar e, conseqüentemente, do tipo espectral. Não encontramos dados de fotometria Johnson para todas

as estrelas da nossa amostra disponível na literatura, mas obtivemos dados fotométricos obtidos pelo satélite Gaia para 374 estrelas, disponibilizados na Tabela 3.

No entanto, o satélite Gaia observa apenas nas bandas G,  $G_{BP}$  e  $G_{RP}$ <sup>8</sup>. Montegriffo et al. (2023) forneceram calibrações que permitem calcular magnitudes em outros sistemas fotométricos, a partir das magnitudes observadas pelo Gaia, possibilitando a transformação e análise dos dados do Gaia em diferentes sistemas.

Dessa maneira, utilizamos dados de fotometria UVV sintética disponibilizados no catálogo Gaia DR3 (Montegriffo et al., 2023) para selecionar as estrelas da nossa amostra. A seleção fotométrica das estrelas OBA foi realizada com base na condição do índice de cor  $(B-V) \leq 0.27$ , que equivale aproximadamente à transição entre os tipos espectrais A para F (Tabela 1). Após a classificação fotométrica preliminar, 252 estrelas com tipos espectrais OBA foram selecionadas, como mostra a Figura 27.

Figura 27 – Distribuição do índice de cor das estrelas OBAFGKM NGC 3766



Fonte: A autora (2025).

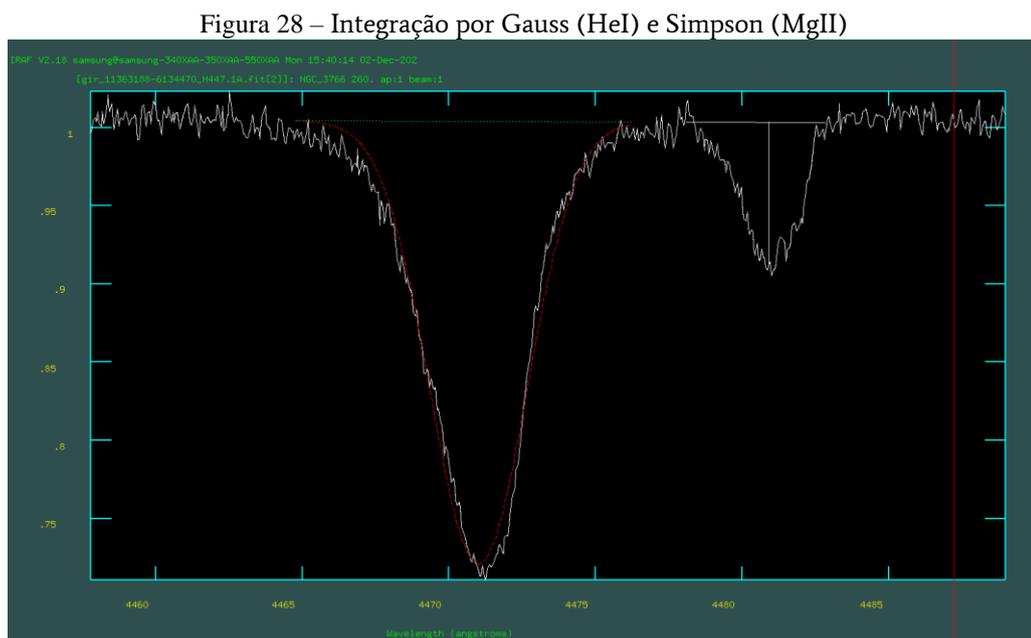
<sup>8</sup> As observações fotométricas são realizadas em três bandas principais: G (banda que cobre todo o espectro óptico, 350–1000 nm);  $G_{BP}$  (banda fotométrica na região azul do espectro, 330–680 nm);  $G_{RP}$  (banda fotométrica na região vermelha do espectro, 640–1000 nm).

## 5 METODOLOGIA

A razão da intensidade das linhas HeI e MgII é um dos métodos que pode ser usado para classificar os subtipos de estrelas do tipo B, pois reflete as variações nas condições físicas das estrelas, como a temperatura efetiva. Com base nisso, analisamos os espectros das estrelas selecionadas nas linhas de interesse: HeI 4471 Å e MgII 4481 Å. As larguras equivalentes dessas linhas foram medidas utilizando a rotina `splot` do pacote Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)<sup>9</sup>. Após as medições, realizamos uma calibração dos nossos resultados referentes a subtipos espectrais sintéticos disponibilizados na literatura.

### 5.1 MEDIÇÃO DA LARGURA EQUIVALENTE

A largura equivalente (LE) é uma medida da área do perfil de uma linha e serve como um indicador de intensidade da linha. Para medir a LE das linhas de HeI e MgII, usamos dois métodos do IRAF: integração por Gauss e por Simpson. Na Figura 28 observamos a representação da Gaussiana (curva vermelha) ajustada ao perfil de absorção de HeI. As retas brancas (vertical e horizontal) delimitam a região da linha de absorção do MgII em que foi realizada a integração por Simpson.

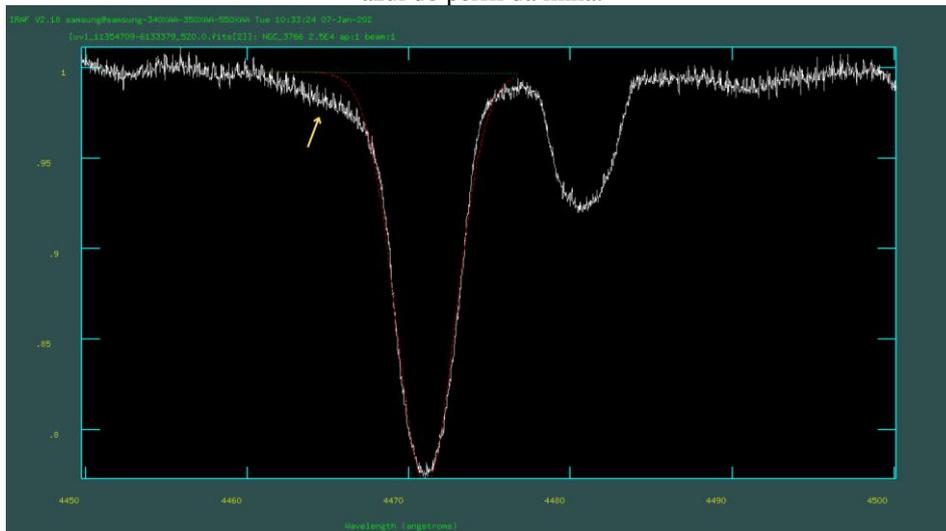


Fonte: A autora (2025).

<sup>9</sup> Disponível em: <https://iraf-community.github.io/>

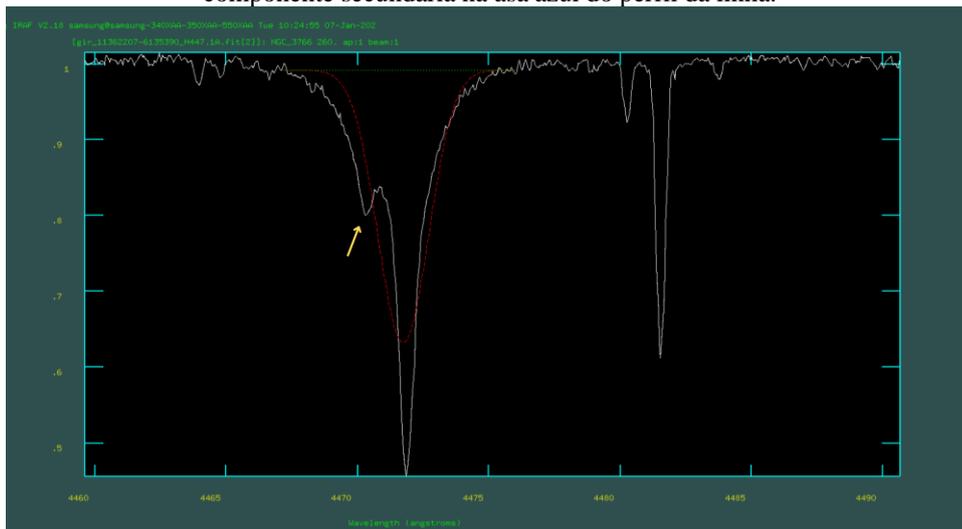
A escolha entre os métodos de integração no IRAF depende da complexidade da área medida. A curva de integração por Gauss se adequa melhor para casos em que as linhas de absorção apresentam curvas mais suaves e simétricas, enquanto o método por Simpson é mais adequado para os casos de perfis assimétricos ou quando existem componentes secundárias no perfil<sup>10</sup>. É possível identificar nas Figuras 29 e 30 os casos em que a Gaussiana não se ajusta tão bem ao perfil de absorção do HeI.

Figura 29 – Integração por Gauss (HeI) em um caso de assimetria. A seta amarela indica uma assimetria na asa azul do perfil da linha.



Fonte: A autora (2025).

Figura 30 – Integração por Gauss (HeI) em um caso de componente secundária. A seta amarela indica uma componente secundária na asa azul do perfil da linha.



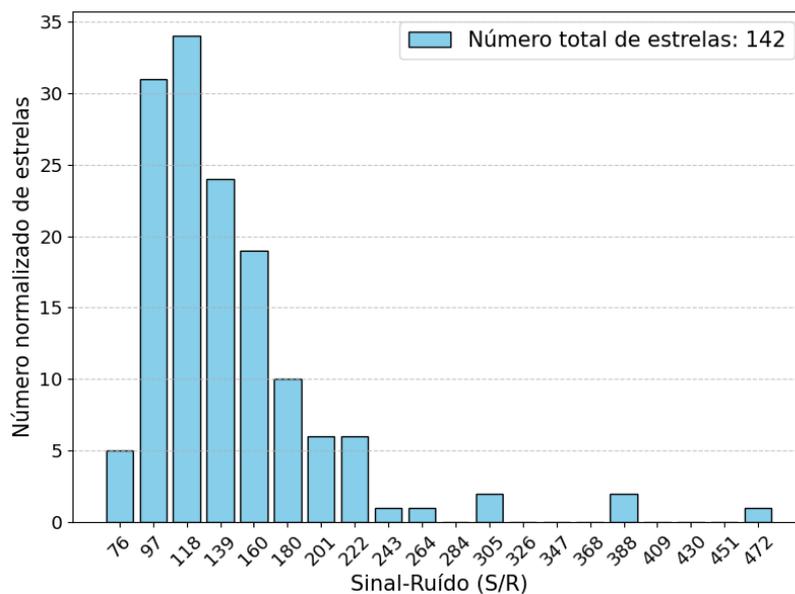
Fonte: A autora (2025).

<sup>10</sup> A asa azul do perfil da linha de HeI é perturbada por perfis secundários.

A causa dessas assimetrias em torno do perfil da linha de HeI pode ser o resultado da mistura de perfis próximos (*blend*) no caso de estrelas com altas velocidades rotacionais ( $v \sin i$ ). Ao longo deste trabalho, notamos que espectros de estrelas com  $v \sin i$  baixo, como o da Figura 30, apresentam perfis secundários semelhantes aos descritos por Daflon et al. (2007, p. 1572), que são misturados ao perfil principal de HeI à medida que  $v \sin i$  aumenta, como ilustrado na Figura 29.

Dessa maneira, foi possível medir ambas as LE de HeI e MgII para 142 estrelas das 252 selecionadas na classificação preliminar. Para verificar a qualidade dos espectros dessas 142 estrelas, medimos a razão sinal-ruído no intervalo espectral entre 4450 e 4460 Å. Os valores obtidos podem ser verificados na Tabela 5. Os resultados, apresentados na Figura 31, demonstram que a maior parte dos espectros apresentam S/R maior que 70, o que é considerado adequado para o tipo de análise que vamos realizar.

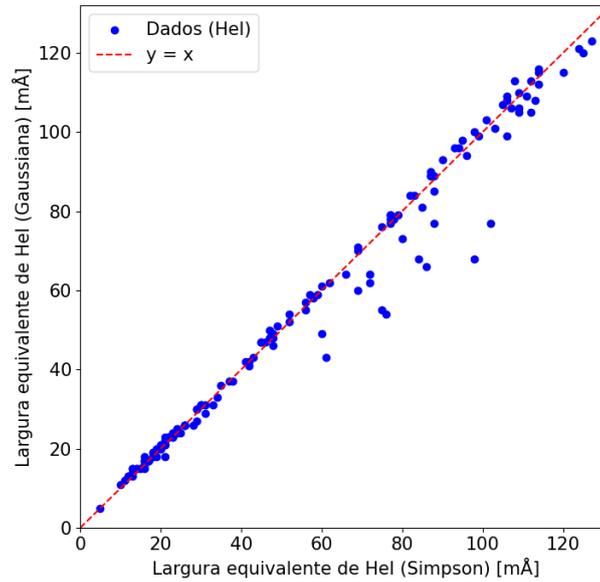
Figura 31 – Distribuição do Sinal/Ruído dos espectros das estrelas OBA NGC 3766



Fonte: A autora (2025).

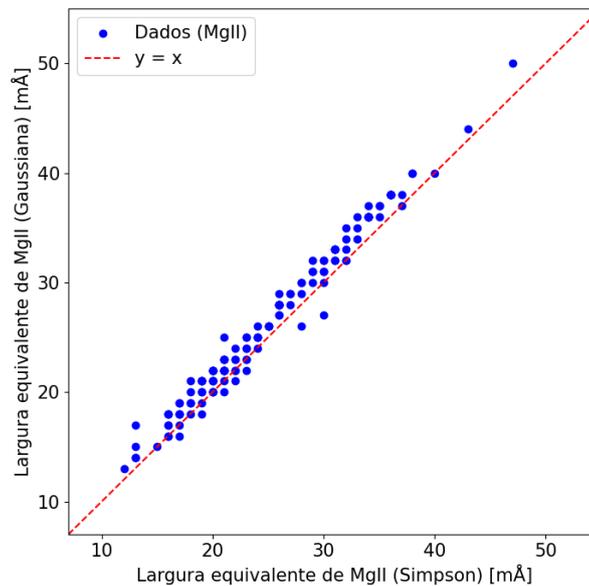
Posteriormente, realizamos uma comparação entre os valores de LE obtidas pelos dois métodos – Gauss e Simpson – disponibilizados na Tabela 4. As Figuras 32 e 33 mostram os gráficos de dispersão em que as LE das linhas de HeI e de MgII medidas pelos dois métodos são consistentes entre si.

Figura 32 – Comparação entre LE (HeI) medidas pelos métodos Simpson X Gaussiana das estrelas OBA NGC 3766



Fonte: A autora (2025).

Figura 33 – Comparação entre LE (MgII) medidas pelos métodos Simpson X Gaussiana das estrelas OBA NGC 3766

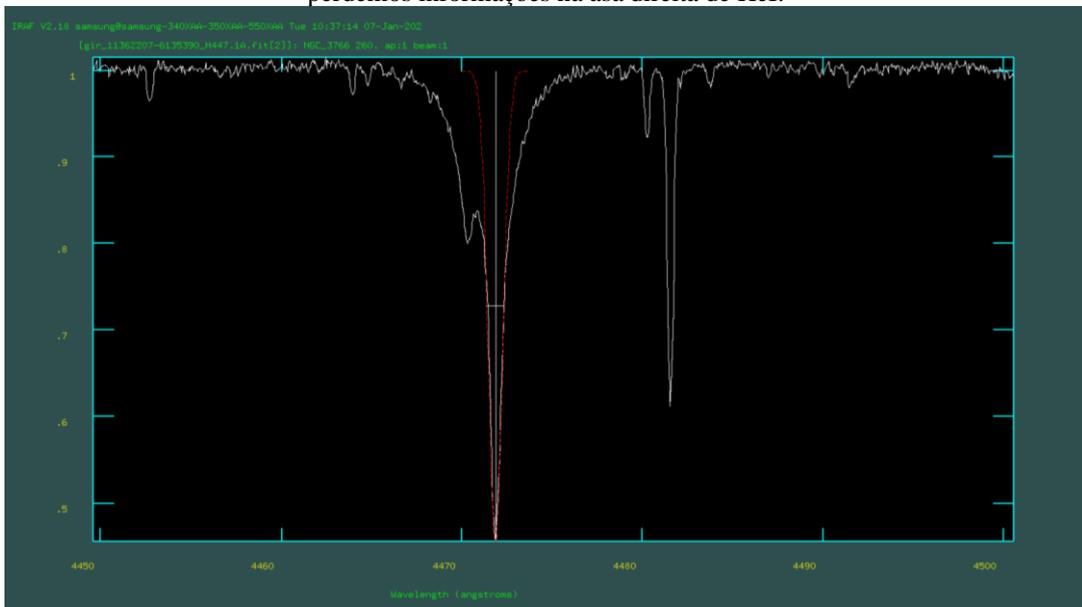


Fonte: A autora (2025).

No caso de HeI, a diferença média entre as medidas foi de 1.28, com um desvio padrão de 5.46. Para MgII, a diferença média foi de -1.20, com um desvio padrão de 1.10. Isso demonstra que as medidas de HeI apresentam maior dispersão entre 60 a 100 mÅ na Figura 32. A causa dessa discrepância está relacionada a assimetrias ou presença de componentes secundárias nos perfis medidos pelo ajuste de Gaussianas, geralmente observadas nas linhas de absorção do HeI conforme discutido anteriormente.

Nesses casos, optamos por medir apenas a asa vermelha da linha de HeI e multiplicar o valor por dois, conforme uma das opções de medida do pacote `splot` do IRAF, aplicada também por Daflon et al. (2007), como mostrado na Figura 34. Isto resultou no aumento da diferença entre as medidas de LE obtidas pelos dois métodos, sendo que as medidas por Simpson resultaram em maiores LE. Por isso, optamos por prosseguir com as medidas das larguras equivalentes de HeI e MgII usando o método de integração por Simpson para todas os espectros estelares.

Figura 34 – Adaptação da medição da largura equivalente (HeI) por integral de Gauss no IRAF. Note que perdemos informações na asa direita de HeI.



Fonte: A autora (2025).

## 5.2 RELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE DA LINHA E TIPO ESPECTRAL

Após obter os valores das larguras equivalentes de HeI e MgII, utilizamos a relação entre a razão HeI/MgII e os subtipos espectrais B sintéticos apresentada na Tabela 2, de acordo com Jaschek & Jaschek (1987), para classificar as estrelas da nossa amostra.

Tabela 2 – Intensidade da linha e seu respectivo tipo espectral

| Razão HeI/MgII | Tipo Espectral |
|----------------|----------------|
| 1.0/0.1        | B0             |
| 1.4/0.2        | B2             |
| 0.8/0.3        | B5             |
| 0.3/0.4        | B8             |
| 0.1/0.4        | A0             |

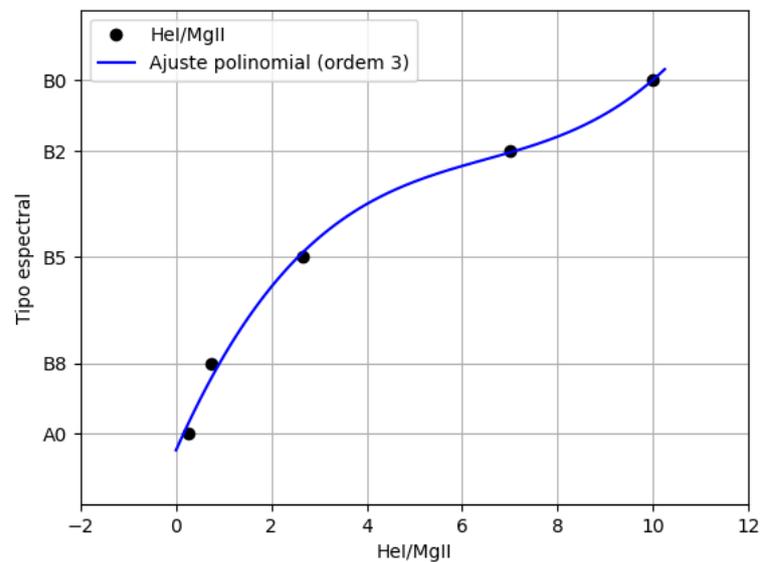
Fonte: Adaptado de Jaschek & Jaschek (1987).

Para isso, realizamos um ajuste polinomial de ordem 3, modelando a relação por meio da seguinte equação:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (5.1)$$

onde  $x$  representa a razão HeI/MgII,  $y$  o subtipo espectral, e os coeficientes são dados por  $a = -0.02$ ,  $b = 0.41$ ,  $c = -3.05$ ,  $d = 10.46$ . O ajuste resultante é ilustrado na Figura 35.

Figura 35 – Intensidade da Linha X Tipo Espectral



Fonte: A autora (2025).

A partir das razões de intensidades de HeI/MgII obtidas nos espectros das estrelas da nossa amostra e utilizando o polinômio da Equação (5.1), determinamos os tipos e subtipos espectrais de 142 das 252 estrelas classificadas preliminarmente. As demais 110 estrelas não tiveram seus tipos espectrais determinados, sendo identificadas como pertencentes às seguintes

categorias: 15 sistemas binários (Apêndice F); 21 estrelas cujos espectros apresentavam apenas a linha de MgII, indicando estrelas com temperaturas mais frias, consistentes com tipo espectral F; 69 estrelas com espectros com sinal-ruído baixo, o que dificultava a medição das LE; e 5 casos de erros no espectro.

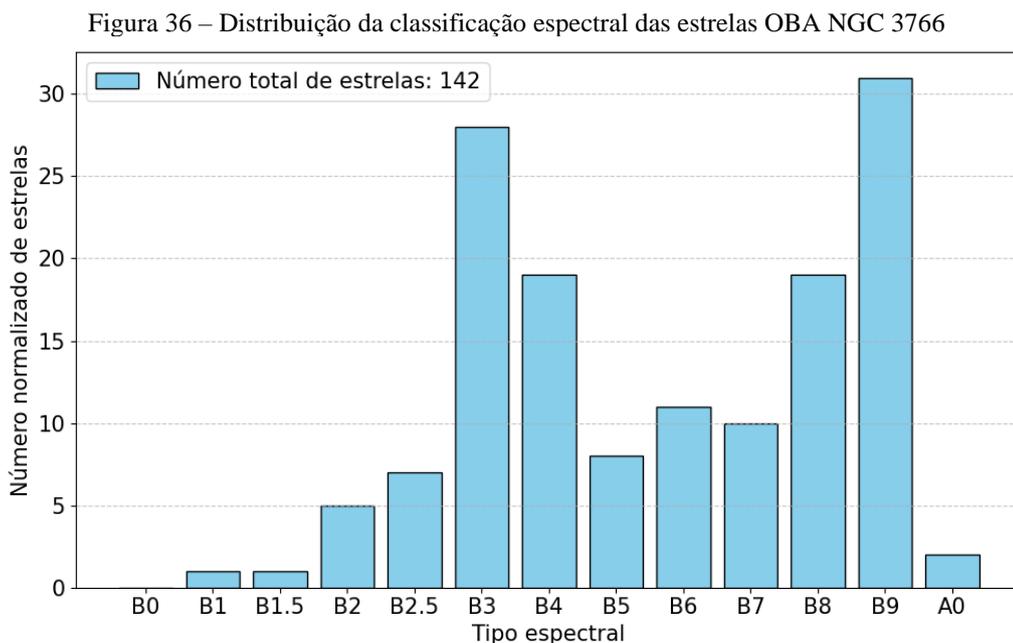
Devido ao formato da curva ajustada (polinômio de grau 3), determinamos a incerteza na classificação espectral em três intervalos: i) para as estrelas com razões de HeI/MgII correspondentes aos subtipos espectrais entre B6 e B4, a incerteza foi estimada em  $\pm 2$  subtipos espectrais; ii) entre os subtipos B3 e B2, a incerteza diminuiu para  $\pm 1$  subtipo espectral; iii) entre B2 e B1.5 a incerteza foi reduzida para  $\pm 0.5$  subtipos espectrais. Notamos que a sensibilidade da classificação espectral varia nas três regiões da curva de acordo com o gradiente da relação sendo mais sensível nas regiões mais inclinadas, como entre A0 e B4.

## 6 RESULTADOS

Nesta seção apresentaremos a classificação espectral de estrelas OBA do aglomerado aberto NGC 3766. Essa classificação foi realizada com base nos métodos descritos no Capítulo 5. Comparamos nossas classificações com as disponíveis na literatura a fim de validar nossos resultados e corrigir possíveis discrepâncias nas classificações das referências. Como consequência, identificamos estrelas que ainda não possuíam classificação espectral, sendo este trabalho responsável por fornecer suas primeiras classificações. Para complementar nossos estudos, incluímos o Diagrama cor-magnitude de NGC 3766, elaborado com os dados fotométricos adquiridos da classificação preliminar apresentada no Capítulo 4.3.

### 6.1 CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DAS ESTRELAS OBA DE NGC 3766

Como resultado principal deste trabalho, atribuímos classes espectrais a 142 estrelas *early-type* de NGC 3766. O número de estrelas em cada subtipo espectral é: B1 = 1 estrela, B1.5 = 1, B2 = 5, B2.5 = 7, B3 = 28, B4 = 19, B5 = 8, B6 = 11, B7 = 10, B8 = 19, B9 = 31 e A0 = 2 – dispostas na Tabela 5. A distribuição dos tipos espectrais das estrelas da nossa amostra está representada no histograma da Figura 36.



Fonte: A autora (2025).

A maioria dos espectros para as quais conseguimos medir a razão HeI/MgII alcançaram classificações dos subtipos espectrais B, poucas estrelas foram classificadas como A0, e nenhuma estrela foi classificada como tipo O.

De acordo com a função de massa inicial<sup>11</sup> (IMF, sigla em inglês para *initial mass function*), o número de estrelas de alta massa é significativamente menor em comparação às estrelas de baixa massa. Isso ocorre porque o material disponível em uma nuvem molecular tende a se fragmentar em partes menores, formando mais estrelas de menor massa. Estima-se que estrelas dos tipos espectrais mais frios, que são FGKM, representam cerca de 97% da população estelar da nossa Galáxia, enquanto as estrelas do tipo OBA correspondem a menos de 3% (Ledrew, 2001). Logo, caso nossa amostra incluísse todas as estrelas do aglomerado, a Figura 36 apresentaria um aumento progressivo de estrelas com subtipos espectrais mais frios.

## 6.2 COMPARAÇÃO COM DADOS DA LITERATURA

Para verificar as classificações dos tipos espectrais neste trabalho em comparação com a literatura, recorreremos ao SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg)<sup>12</sup>. O SIMBAD fornece dados básicos, bibliografia, identificadores e medições de objetos astronômicos que tenham seus dados publicados em artigos científicos. Após o levantamento feito no SIMBAD, constatamos que 34% das estrelas da nossa amostra já foram classificadas e têm pelo menos o tipo espectral atribuído, por exemplo, tipo B.

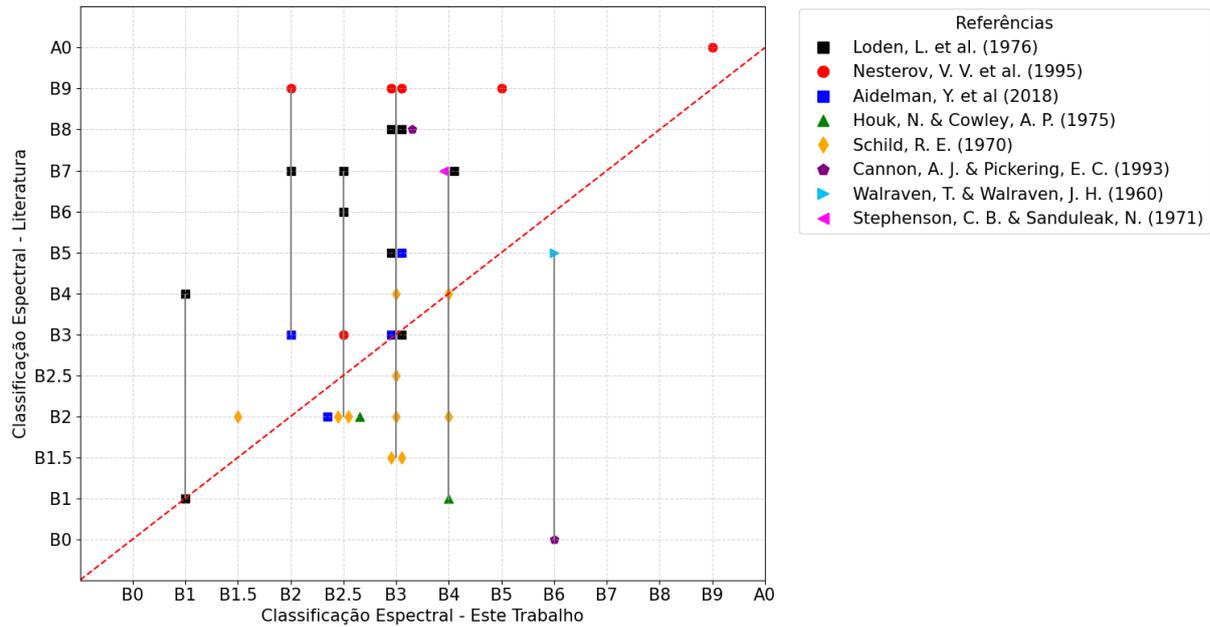
Contudo, filtramos a amostra para incluir apenas as estrelas com subtipos espectrais definidos, a fim de garantir uma comparação direta e consistente entre nossos resultados e os dados disponíveis na literatura, reduzindo a proporção para 18%, correspondendo a 25 estrelas, que está ilustrado na Figura 37 por um gráfico de dispersão. Para as estrelas que possuíam mais de 1 subtipo espectral no SIMBAD, consideramos apenas o subtipo mais quente e o mais frio para fins de comparação que estão conectados pela linha vertical cinza. Os subtipos espectrais estão dispostos na Tabela 6.

---

<sup>11</sup> A IMF descreve a distribuição inicial de massas de uma população estelar formada em uma nuvem molecular durante o processo de formação de estrelas.

<sup>12</sup> Disponível em: <https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/>

Figura 37 – Classificação espectral literatura X este trabalho



Fonte: A autora (2025).

Observa-se que a maioria das classificações espectrais atribuídas da literatura são de fontes antigas e baseadas em espectros de baixa resolução. Chamamos a atenção para três referências que se basearam em técnicas mais parecidas com a que usamos neste trabalho: i) Loden et al. (1976), utilizou espectroscopia de baixa resolução observada em  $H\gamma$ ; ii) Schild (1970), baseado em dados fotométricos e espectrogramas<sup>13</sup>; e iii) Aidelman et al. (2018), que empregou o sistema espectrofotométrico Barbier-Chalonge-Divan (BCD)<sup>14</sup> e espectroscopia de alta resolução em  $H\alpha$ .

Houve 2 casos específicos de duas classificações da literatura, das estrelas HD 306793 e HD 100840, onde seus subtipos espectrais mais frios encontrados no SIMBAD são K5 e M0, respectivamente. Esses subtipos não foram inseridos na Figura 37 por serem classificações extremamente diferentes do que foram encontrados neste trabalho e de outras referências. A fim de verificar essas classificações, inspecionamos todo o espectro das respectivas estrelas para identificar possíveis linhas características de tipos espectrais mais frios, que estão localizados no Apêndice E: nos espectros de HD 306793 (Figura 41 a 43) avistamos linhas de  $H\delta$  4101 Å,  $H\gamma$  4340 Å, HeI 4388 e 4471 Å, MgII 4481 Å e  $H\alpha$  6563 Å (onde há emissão neste perfil de linha). O espectro de HD 100840 (Figura 44 e 45) contém  $H\gamma$  4340 Å,  $H\beta$  4860 Å,

<sup>13</sup> Gráficos que analisam dinamicamente a densidade espectral de energia da luz (tempo X frequência) emitida por estrelas e outros objetos celestes.

<sup>14</sup> Refere-se às iniciais dos parâmetros observáveis usados para descrever a descontinuidade de Balmer nas estrelas.

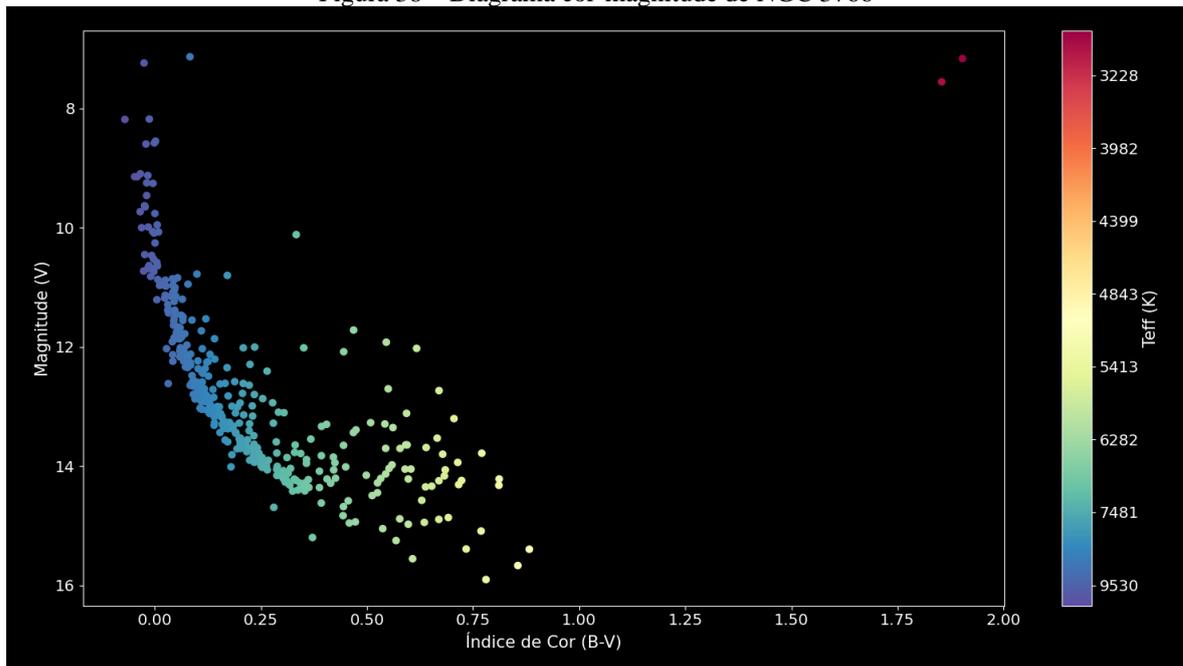
HeI 4471 Å, MgII 4481 Å e SiIII 4550 Å. Tais linhas, tanto para HD 306793 e HD 100840, são características de estrelas do tipo mais quente, reforçando corretamente a nossa classificação.

Em resumo, a comparação das classificações espectrais obtidas neste trabalho com aquelas disponíveis na literatura destaca tanto as limitações das técnicas mais antigas quanto a relevância da aplicação de métodos modernos disponíveis atualmente. Essas ferramentas permitem não apenas validar dados antigos, mas também corrigir discrepâncias significativas. A concordância com referências recentes valida os métodos aplicados nesta pesquisa, enquanto as discordâncias observadas, especialmente nos casos das estrelas HD 306793 e HD 100840, ilustram a necessidade de revisar dados antigos com abordagens mais precisas.

### 6.3 DIAGRAMA COR-MAGNITUDE DE NGC 3766

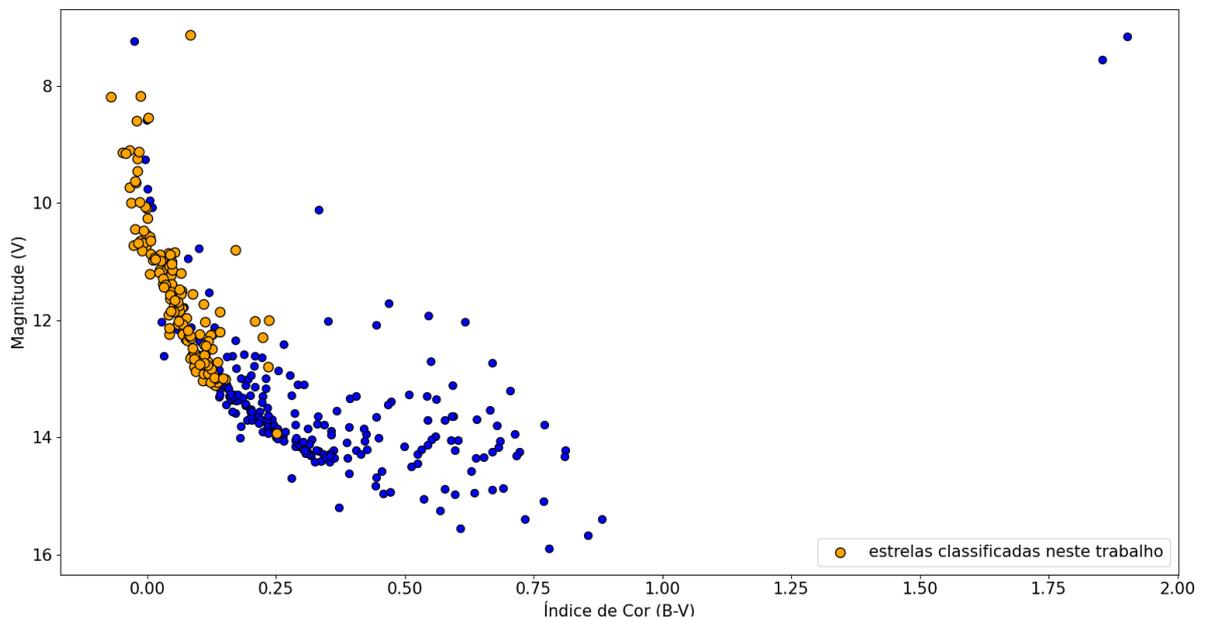
Com o propósito de complementar nossos resultados e aproveitar os dados disponíveis, utilizamos dados fotométricos fornecidos pelo Gaia DR3, como a magnitude no filtro V e o índice de cor (B-V), conforme apresentados no Capítulo 4.3. Esses dados fotométricos fornecem as informações necessárias para construir o diagrama cor-magnitude do aglomerado aberto NGC 3766 apresentado na Figura 38. A fim de tornar a leitura do diagrama mais completa, adicionamos a escala da temperatura efetiva ( $T_{\text{eff}}$ ), calculada com base na calibração de Flower (1996, p.360), para os valores de B-V expostos no eixo x da Figura 38. Na Figura 39 destacamos em laranja as 142 estrelas no CMD de NGC 3766 que foram classificadas neste trabalho.

Figura 38 – Diagrama cor-magnitude de NGC 3766



Fonte: A autora (2025).

Figura 39 – Diagrama cor-magnitude de NGC 3766 com as estrelas classificadas neste trabalho em destaque



Fonte: A autora (2025).

A análise do diagrama revela informações extremamente ricas, nas quais discorreremos a seguir. Notamos uma sequência principal (SP) bem definida, indo de  $B-V \sim 0.00$  até  $B-V \sim 0.40$ . A partir de  $B-V > 0.40$  observa-se uma grande dispersão entre as estrelas, podendo ser ocasionado por um problema no avermelhamento<sup>15</sup>. Como as estrelas nessa região possuem

<sup>15</sup> Quando a luz de uma estrela passa por uma nuvem de poeira, ela se torna mais avermelhada, pois os comprimentos de onda mais azulados são filtrados no processo.

magnitudes maiores, ou seja, brilho mais fraco, isso também aumenta a probabilidade de erros na fotometria, tornando os dados mais suscetíveis a incertezas.

Além disso, há 4 estrelas nas regiões das gigantes que possuem  $V < 8$ , são elas: V\*V910 Cen e HD 306799, duas estrelas gigantes vermelhas; HD 100943 e HD 101105 na região das gigantes azuis. A posição da estrela HD 100943 (a mais roxa), em  $V = 7.13$ , pode representar o ponto de turn-off<sup>16</sup> do aglomerado, por ser o ponto mais alto da SP.

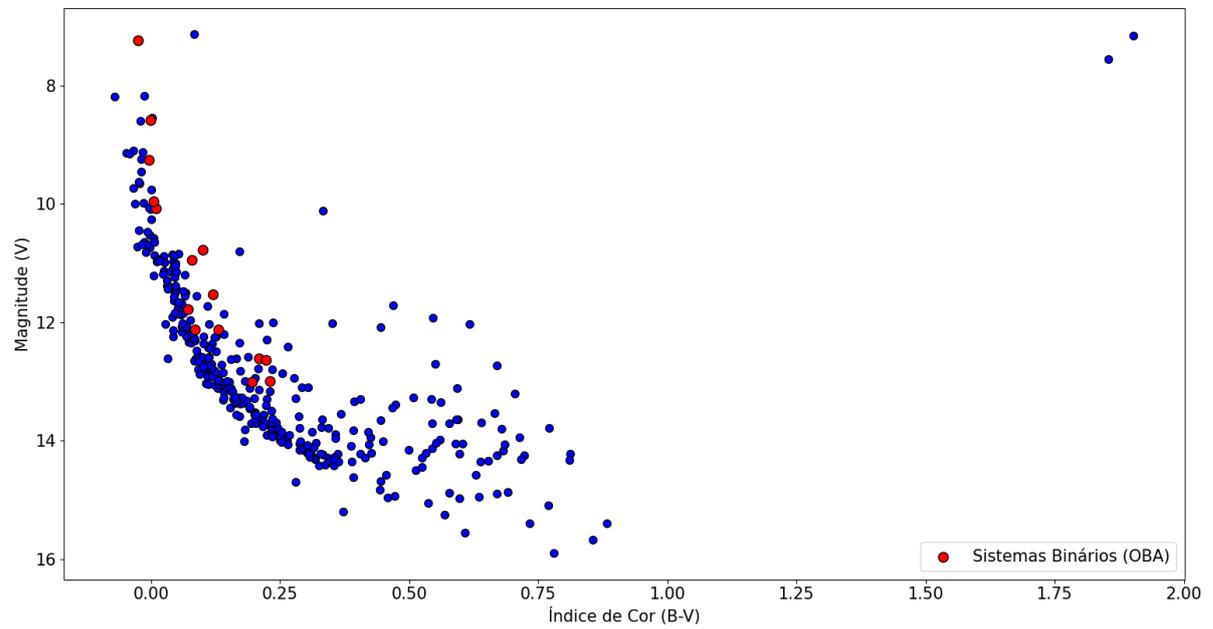
Para validar as características visualizadas no diagrama sobre as 4 estrelas gigantes, realizamos um breve levantamento no SIMBAD e analisamos alguns espectros disponíveis no Apêndice E: seus identificadores estão associados a NGC 3766, confirmando o pertencimento dessas 4 estrelas ao aglomerado; V\*V910 Cen e HD 306799 estão classificadas como supergigantes vermelhas e seus espectros possuem o sinal-ruído baixo, o que dificulta a observação de características típicas de estrelas evoluídas. HD 100943 é uma supergigante azul, as linhas de absorção no seu espectro são estreitas (Figura 46), características de estrelas evoluídas, e a linha de  $H\alpha$  (Figura 47) apresenta emissão central. HD 101105, embora classificada apenas como “estrela” na literatura, apresenta linhas espectrais estreitas (Figura 48), e com assimetrias nos perfis que sugerem que essa estrela é provavelmente um sistema binário (Figura 49).

Outro aspecto significativo do CMD é que algumas estrelas localizadas um pouco acima da SP podem ser sistemas binários. Quinze estrelas da nossa amostra identificadas como binárias neste trabalho ao observar linhas duplicadas ou assimétricas em seus espectros, conforme detalhado no Apêndice F e citadas no final do Capítulo 5.2, estão destacadas em vermelho no CMD de NGC 3766 ilustrado na Figura 40. Assim, reforçando a possibilidade de que sistemas binários contribuem para a dispersão em direção ao avermelhamento, observada paralelamente à SP, conforme discutido por Cordoni et al. (2023).

---

<sup>16</sup> Traduzido para o português como ponto de desligamento, o turn-off representa o estágio em que as estrelas mais massivas do aglomerado começam a sair da sequência principal. Esse ponto é usado como referência para estimar a idade do aglomerado: quanto mais baixo for o ponto de turnoff no diagrama, mais antigo é o aglomerado; enquanto um ponto de turnoff mais alto indica um aglomerado mais jovem.

Figura 40 – Diagrama cor-magnitude de NGC 3766 com binárias em destaque



Fonte: A autora (2025).

De forma geral, o CMD de NGC 3766 está de acordo com os modelos de evolução estelar para aglomerados abertos, conforme discutido no Capítulo 3.2, e destaca diferentes estágios evolutivos de estrelas do aglomerado, incluindo uma sequência principal bem definida e populações estelares em transição para fases mais avançadas, como as gigantes.

## 7 CONCLUSÃO

Considerando os métodos aplicados neste trabalho, notamos a importância de implementar, caso seja possível, mais de uma abordagem metodológica. Como por exemplo, a nossa classificação preliminar, feita através de dados fotométricos, foi suficiente para identificar e separar os tipos espectrais mais quentes dos mais frios, no entanto, não era eficiente para uma classificação mais detalhada a fim de definir os subtipos espectrais. Para isso, foi indispensável a análise de espectros de alta resolução.

Na medição das larguras equivalentes, identificamos que o método de Simpson foi o mais adequado para os perfis das linhas de HeI e MgII. Notamos que diferentes métodos serviram como um apoio para contribuir nas escolhas seguintes, e assim, alcançar os resultados mais precisos e alinhados de acordo com os nossos objetivos.

Definimos a classificação espectral de **142** estrelas de NGC 3766, atribuindo seus respectivos tipos e subtipos espectrais, resultando em nosso catálogo localizado no Apêndice C. A partir do levantamento realizado na literatura, constatamos que, das 142 estrelas analisadas, 48 possuíam algum tipo de classificação espectral publicada. Dentre essas, apenas **25** tinham seus subtipos espectrais definidos. Em resumo, classificamos pela primeira vez **94** estrelas e incluímos subtipos espectrais inéditos para **23** estrelas. Além disso, revisamos classificações que, em muitos casos, não eram atualizadas há aproximadamente **50** anos ou mais.

Com isso, constatamos que o avanço tecnológico, aliado a colaborações científicas voltadas para a atualização de dados astronômicos, tem sido fundamental para viabilizar pesquisas como esta, contribuindo para o desenvolvimento de estudos que ampliem o entendimento sobre os aglomerados estelares. A utilização de ferramentas computacionais com métodos atualizados e o cruzamento de diferentes abordagens, demonstram a importância de visitar e atualizar informações que permaneciam imprecisas ou incompletas por décadas.

Portanto, este trabalho não apenas enriquece a literatura astronômica com novos dados das estrelas mais quentes do aglomerado aberto NGC 3766, mas também reforça a relevância de investigações que integram técnicas modernas e análises detalhadas dos espectros estelares.

## REFERÊNCIAS

- AIDELMAN, Y. et al. Open clusters-III. Fundamental parameters of B stars in NGC 6087, NGC 6250, NGC 6383, and NGC 6530 B-type stars with circumstellar envelopes. **Astronomy & Astrophysics**, v. 610, p. A30, 2018. DOI: 10.1051/0004-6361/201730995.
- ALVES-BRITO, Alan. Aglomerados Estelares. **Revista Brasileira de Astronomia**, Sociedade Astronômica Brasileira, ano 2, n. 5, 2020.
- ALVES-BRITO, Alan. Morfologia e populações estelares da Via Láctea: “ora (direis) ouvir estrelas”. **O Globo – Ciência e Matemática**, 31 out. 2018. Disponível em: <https://blogs.oglobo.globo.com/ciencia-matematica/post/morfologia-e-populacoes-estelares-da-lactea-ora-direis-ouvir-estrelas.html>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- CARROLL, Bradley W.; OSTLIE, Dale A. **An introduction to modern astrophysics**. Cambridge University Press, 2017.
- CORDONI, Giacomo et al. Photometric binaries, mass functions, and structural parameters of 78 Galactic open clusters. **Astronomy & Astrophysics**, v. 672, p. A29, 2023. DOI: 10.1051/0004-6361/202245457
- COSMOS. Criadores: Ann Druyan, Steven Soter. Direção: Brannon Braga, Bill Pope, Ann Druyan. Apresentação: Neil deGrasse Tyson. **Cosmos: A Spacetime Odyssey**. EUA: National Geographic Channel, 2014. 1 temporada, Episódio 8 – "As Irmãs do Sol". Documentário Científico.
- DAFLON, Simone et al. The projected rotational velocity distribution of a sample of OB stars from a calibration based on synthetic He I lines. **The Astronomical Journal**, v. 134, n. 4, p. 1570, 2007. DOI: 10.1086/521707
- DEUTSCHES MUSEUM. Brechung und Berechnung: Joseph Fraunhofer und das Spektrum der Sonne. **Deutsches Museum Blog**, 20 fev. 2019. Disponível em: <https://blog.deutsches-museum.de/2019/02/20/brechung-und-berechnung-joseph-fraunhofer-und-das-spektrum-der-sonne>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- DRILLING, John S.; LANDOLT, Arlo U. Normal Stars. In: COX, Arthur N. (Ed.). **Allen's Astrophysical Quantities**. 4. ed. New York: AIP Press; Springer, 2000. p. 381-395.
- ESO. Aglomerado Aberto NGC 3766. 2013. Disponível em: <https://www.eso.org/public/portugal/images/eso1326a/>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- ESO. Aglomerado Globular Omega Centauri. 2008. Disponível em: <https://www.eso.org/public/portugal/images/eso0844a/>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- ESO. FLAMES at the VLT. 2009. Disponível em: [https://www.eso.org/public/portugal/images/flames\\_close/?lang](https://www.eso.org/public/portugal/images/flames_close/?lang). Acesso em: 5 jan. 2025.
- ESO. FLAMES - Fibre Large Array Multi Element Spectrograph. 2021. Disponível em: <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/flames.html>. Acesso em: 5 jan. 2025.

ESO. O espectrógrafo UVES montado no Telescópio Principal nº 2 do VLT - Kueyen. 2013. Disponível em: [https://www.eso.org/public/portugal/images/uves\\_startup\\_dec04/](https://www.eso.org/public/portugal/images/uves_startup_dec04/). Acesso em: 06 jan. 2025.

ESO. Uma fotografia do Aglomerado Aberto Caixa de Jóias com o VLT do ESO. 2009. Disponível em: <https://www.eso.org/public/portugal/images/eso0940a/>. Acesso em: 26 jan. 2025.

ESO. Um duro dia de trabalho pela noite dentro. 2012. Disponível em: <https://www.eso.org/public/portugal/images/potw1239a/>. Acesso em: 5 jan. 2025.

ESO. The GIRAFFE Spectrograph. 2020. Disponível em: <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/flames/inst/Giraffe.html>. Acesso em: 5 jan. 2025.

ESO. UVES Overview. 2021. Disponível em: <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/uves/overview.html>. Acesso em: 06 jan. 2025.

ESO. Very Large Telescope (VLT). Disponível em: <https://www.eso.org/public/portugal/teles-instr/paranal-observatory/vlt/>. Acesso em: 5 jan. 2025.

FLOWER, Phillip J. Transformations from theoretical Hertzsprung-Russell diagrams to color-magnitude diagrams: effective temperatures, BV colors, and bolometric corrections. **Astrophysical Journal**, v. 469, p. 355, v. 469, p. 355, 1996. DOI: 10.1086/177785

GILMORE, Gerard et al. The Gaia-ESO Public Spectroscopic Survey: Motivation, implementation, GIRAFFE data processing, analysis, and final data products. **Astronomy & Astrophysics**, v. 666, p. A120, 2022. DOI: 10.1051/0004-6361/202243134

HARVARD-SMITHSONIAN. Center for Astrophysics. A note on the spectral atlas and spectral classification. Disponível em: <https://lweb.cfa.harvard.edu/~pberlind/atlas/htmls/note.html>. Acesso em: 25 jan. 2025.

HARVARD UNIVERSITY. Archives Photograph Collection: Subjects, HUPSF, HUPSF Observatory (41-45), HUPSF Observatory (45). **Harvard University Archives**. Disponível em: <https://id.lib.harvard.edu/ead/c/hua20004c01183/catalog>. Acesso em: 25 jan. 2025.

HORVATH, Jorge E. et al. **Fundamentos da evolução estelar, supernovas e objetos compactos**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011.

HOURIHANE, A. et al. The Gaia-ESO Survey: Homogenisation of stellar parameters and elemental abundances. **Astronomy & Astrophysics**, v. 676, p. A129, 2023. DOI: 10.1051/0004-6361/202345910

JASCHEK, Carlos; JASCHEK, Mercedes. **The classification of stars**. Cambridge university press, 1987.

JENSEN, William B. **Spectroscopes, Spectrometers, Spectrographs**. Oesper Museum Booklets on the History of Chemical Apparatus, No. 7. Photography by Jay Yocis. Oesper Collections, University of Cincinnati, 2014. Disponível em: <https://homepages.uc.edu/~jensenwb/museum-booklets/07.%20Spectroscopes.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2025.

KARTTUNEN, Hannu et al. (Ed.). **Fundamental Astronomy**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Aglomerados Estelares. **Astronomia e Astrofísica**. Instituto de Física da UFRGS. 20 nov. 2024. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/cumulos.htm>. Acesso em: 23 jan. 2025.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. Departamento de Astronomia - Instituto de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 11 de fevereiro de 2014. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>. Acesso: 18 jan. 2025.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Espectroscopia. **Astronomia e Astrofísica**. Instituto de Física da UFRGS. 18 nov. 2024. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>. Acesso em: 23 jan. 2025.

LEDREW, Glenn. The real starry sky. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**, Vol. 95, p. 32, v. 95, p. 32, 2001.

LODEN, L. O. et al. A spectral survey of the Southern Milky Way III. O-B9 and M Stars L= 280 to 306. **Astronomy and Astrophysics**, Suppl. Ser. Vol. 23, p. 283-392, 1976.

MONTEGRIFFO, Paolo et al. Gaia Data Release 3-The Galaxy in your preferred colours: Synthetic photometry from Gaia low-resolution spectra. **Astronomy & Astrophysics**, v. 674, p. A33, 2023. DOI: 10.1051/0004-6361/202243709

NASA. Astronomy Picture of the Day, 23 fev. 2001. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap010223.html>. Acesso em: 26 jan. 2025.

PASQUINI, L. et al. Installation and commissioning of FLAMES, the VLT Multifibre Facility. **The Messenger** (ISSN 0722-6691), No. 110, p. 1-9 (December 2002), v. 110, p. 1-9, 2002.

PENN STATE UNIVERSITY. Astronomy 801: Planets, Stars, Galaxies, and the Universe - Lesson 7: Measuring the Age of a Star Cluster. **Penn State College of Earth and Mineral Sciences**. Disponível em: [https://www.e--education-psu.edu.translate.goog/astro801/content/17\\_p6.html? x tr sl=en& x tr tl=pt& x tr hl=pt& x tr\\_pto=tc](https://www.e--education-psu.edu.translate.goog/astro801/content/17_p6.html? x tr sl=en& x tr tl=pt& x tr hl=pt& x tr_pto=tc). Acesso em: 26 jan. 2025.

RANDICH, Sofia et al. The Gaia-ESO Public Spectroscopic Survey: Implementation, data products, open cluster survey, science, and legacy. **Astronomy & Astrophysics**, v. 666, p. A121, 2022. DOI: 10.1051/0004-6361/202243141

SCHILD, Rudolph E. Red supergiants in open clusters. **Astrophysical Journal**, vol. 161, p. 855, v. 161, p. 855, 1970. DOI: 10.1086/150589

VIEIRA, Patrese Coelho; MASSONI, Neusa Teresinha; ALVES-BRITO, Alan. O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210028, 2021. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0028

**APÊNDICE A – DADOS FOTOMÉTRICOS SINTÉTICOS DAS ESTRELAS DE NGC 3766**

Tabela 3 – Dados fotométricos sintéticos das estrelas de NGC 3766

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11343713-6135132  | 12.224877   | 12.016204   | 0.208673     |
| 11344022-6136305  | 15.464018   | 14.886812   | 0.577206     |
| 11344247-6137166  | 12.822629   | 12.614056   | 0.208573     |
| 11344603-6136294  | 14.974343   | 14.693786   | 0.280557     |
| 11345134-6137102  | 10.701182   | 10.727184   | -0.026002    |
| 11345209-6139261  | 15.205339   | 14.576292   | 0.629047     |
| 11345424-6136332  | 13.728065   | 13.335066   | 0.392999     |
| 11345701-6133539  | 13.867036   | 13.393011   | 0.474025     |
| 11350029-6138511  | 13.220668   | 12.990747   | 0.229921     |
| 11350047-6141577  | 14.590085   | 14.228174   | 0.361911     |
| 11350057-6141343  | 14.638879   | 14.320634   | 0.318245     |
| 11350333-6137149  | 12.772706   | 12.584271   | 0.188435     |
| 11350922-6140167  | 14.248538   | 13.890992   | 0.357546     |
| 11351040-6129578  | 14.360124   | 14.040128   | 0.319996     |
| 11351227-6145147  | 13.90694    | 13.438859   | 0.468081     |
| 11351367-6137093  | 16.686384   | 15.906059   | 0.780325     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11351406-6129463  | 12.367018   | 12.016012   | 0.351006     |
| 11351500-6135103  | 12.336821   | 12.235044   | 0.101777     |
| 11351539-6142351  | 14.808261   | 14.283361   | 0.5249       |
| 11351595-6137397  | 14.134355   | 13.790455   | 0.3439       |
| 11351616-6139271  | 12.642365   | 12.025378   | 0.616987     |
| 11352122-6135204  | 11.856257   | 11.789642   | 0.066615     |
| 11352207-6132109  | 10.733074   | 10.735323   | -0.002249    |
| 11352228-6143593  | 14.677115   | 14.132992   | 0.544123     |
| 11352413-6140236  | 13.24843    | 13.116011   | 0.132419     |
| 11352521-6144268  | 15.574738   | 14.977407   | 0.597331     |
| 11352611-6133368  | 14.575659   | 14.242604   | 0.333055     |
| 11352729-6138562  | 13.94622    | 13.720469   | 0.225751     |
| 11353037-6143023  | 14.169576   | 13.857928   | 0.311648     |
| 11353133-6138245  | 12.61816    | 12.491644   | 0.126516     |
| 11353147-6132071  | 12.672333   | 12.407578   | 0.264755     |
| 11353155-6133292  | 13.388906   | 13.097396   | 0.29151      |
| 11353266-6135423  | 11.157292   | 11.132692   | 0.0246       |
| 11353304-6138130  | 14.916807   | 14.247298   | 0.669509     |
| 11353325-6136019  | 13.780841   | 13.272233   | 0.508608     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11353446-6141185  | 13.847272   | 13.643034   | 0.204238     |
| 11353539-6136410  | 11.412796   | 11.382076   | 0.03072      |
| 11353553-6145270  | 13.453354   | 13.29068    | 0.162674     |
| 11353568-6140147  | 13.993404   | 13.811486   | 0.181918     |
| 11353573-6137301  | 12.28419    | 12.241482   | 0.042708     |
| 11353683-6129115  | 10.898712   | 10.857004   | 0.041708     |
| 11353687-6134050  | 10.622839   | 10.636521   | -0.013682    |
| 11353715-6141097  | 11.85971    | 11.809525   | 0.050185     |
| 11353832-6138121  | 13.318161   | 13.177675   | 0.140486     |
| 11353857-6144028  | 14.479648   | 13.80134    | 0.678308     |
| 11353915-6139370  | 12.238789   | 12.003299   | 0.23549      |
| 11354044-6132523  | 13.456896   | 13.31687    | 0.140026     |
| 11354117-6137324  | 12.407626   | 12.335203   | 0.072423     |
| 11354133-6136560  | 10.525911   | 10.528384   | -0.002473    |
| 11354196-6144467  | 10.877104   | 10.77755    | 0.099554     |
| 11354268-6132490  | 13.776808   | 13.558339   | 0.218469     |
| 11354289-6139303  | 14.449656   | 14.155006   | 0.29465      |
| 11354291-6140534  | 11.010768   | 10.968461   | 0.042307     |
| 11354332-6137324  | 14.312802   | 13.955396   | 0.357406     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11354353-6135187  | 14.197753   | 13.532235   | 0.665518     |
| 11354394-6143099  | 16.127033   | 15.393373   | 0.73366      |
| 11354406-6136044  | 11.682521   | 11.638173   | 0.044348     |
| 11354434-6136233  | 12.218335   | 12.148209   | 0.070126     |
| 11354488-6135049  | 12.696457   | 12.60957    | 0.086887     |
| 11354497-6134411  | 9.06362     | 7.160723    | 1.902897     |
| 11354500-6138159  | 13.962963   | 13.731088   | 0.231875     |
| 11354512-6138034  | 12.99632    | 12.823298   | 0.173022     |
| 11354646-6135177  | 13.90933    | 13.204363   | 0.704967     |
| 11354669-6146030  | 12.518671   | 12.294228   | 0.224443     |
| 11354688-6138252  | 12.124979   | 12.065704   | 0.059275     |
| 11354709-6133379  | 8.163202    | 8.175984    | -0.012782    |
| 11354719-6146079  | 15.008246   | 14.495995   | 0.512251     |
| 11354731-6135217  | 14.815402   | 14.217991   | 0.597411     |
| 11354756-6138245  | 13.532751   | 13.368411   | 0.16434      |
| 11354791-6137197  | 12.308582   | 12.240288   | 0.068294     |
| 11354823-6132339  | 12.370088   | 12.29272    | 0.077368     |
| 11354857-6129192  | 9.696958    | 9.731256    | -0.034298    |
| 11354868-6146465  | 14.749844   | 14.36176    | 0.388084     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11354888-6145040  | 11.026057   | 10.947544   | 0.078513     |
| 11354903-6142077  | 15.565393   | 14.896032   | 0.669361     |
| 11354973-6132236  | 14.623838   | 14.217948   | 0.40589      |
| 11354991-6135442  | 13.350901   | 13.141285   | 0.209616     |
| 11355031-6133130  | 14.991433   | 14.338847   | 0.652586     |
| 11355064-6136303  | 13.144271   | 13.036072   | 0.108199     |
| 11355071-6135468  | 12.888505   | 12.797571   | 0.090934     |
| 11355086-6141564  | 12.206682   | 12.122066   | 0.084616     |
| 11355123-6131160  | 14.198748   | 13.94253    | 0.256218     |
| 11355199-6139397  | 10.676519   | 10.68346    | -0.006941    |
| 11355204-6142363  | 13.705066   | 13.300242   | 0.404824     |
| 11355225-6138075  | 9.627547    | 9.650046    | -0.022499    |
| 11355231-6144351  | 16.279367   | 15.396922   | 0.882445     |
| 11355236-6138150  | 11.924143   | 11.865447   | 0.058696     |
| 11355355-6139479  | 14.10218    | 13.858823   | 0.243357     |
| 11355362-6136425  | 12.987688   | 12.780844   | 0.206844     |
| 11355440-6134305  | 10.807908   | 10.817564   | -0.009656    |
| 11355447-6126206  | 15.556526   | 14.864864   | 0.691662     |
| 11355460-6127584  | 15.581513   | 14.946357   | 0.635156     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11355467-6124458  | 15.571688   | 15.200084   | 0.371604     |
| 11355502-6143066  | 12.424872   | 12.347467   | 0.077405     |
| 11355522-6130347  | 15.41518    | 14.956761   | 0.458419     |
| 11355544-6136137  | 8.574187    | 8.594828    | -0.020641    |
| 11355571-6132319  | 11.188511   | 11.151064   | 0.037447     |
| 11355585-6133577  | 13.547555   | 13.375398   | 0.172157     |
| 11355655-6137474  | 13.00418    | 12.879779   | 0.124401     |
| 11355670-6138229  | 13.24646    | 13.11772    | 0.12874      |
| 11355699-6131105  | 14.653587   | 14.155151   | 0.498436     |
| 11355702-6138155  | 11.257142   | 11.211113   | 0.046029     |
| 11355799-6130394  | 14.368862   | 13.944441   | 0.424421     |
| 11355899-6135588  | 13.152945   | 13.023018   | 0.129927     |
| 11355917-6136446  | 13.180962   | 13.039477   | 0.141485     |
| 11355952-6138586  | 11.851559   | 11.780696   | 0.070863     |
| 11355966-6135436  | 14.703752   | 14.289253   | 0.414499     |
| 11355991-6131422  | 14.270282   | 14.017192   | 0.25309      |
| 11355995-6130266  | 11.563528   | 11.496789   | 0.066739     |
| 11360004-6134271  | 12.227935   | 12.168449   | 0.059486     |
| 11360020-6139168  | 12.389606   | 12.30491    | 0.084696     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11360075-6132227  | 11.804279   | 11.75309    | 0.051189     |
| 11360078-6127499  | 14.24074    | 13.646281   | 0.594459     |
| 11360094-6134174  | 11.840693   | 11.730766   | 0.109927     |
| 11360110-6137185  | 10.08933    | 10.090734   | -0.001404    |
| 11360143-6137413  | 13.301211   | 13.111007   | 0.190204     |
| 11360151-6131489  | 13.872659   | 13.657519   | 0.21514      |
| 11360179-6128378  | 16.164127   | 15.556634   | 0.607493     |
| 11360197-6135381  | 12.729686   | 12.646219   | 0.083467     |
| 11360218-6135097  | 14.126576   | 13.902886   | 0.22369      |
| 11360218-6137436  | 13.002076   | 12.877914   | 0.124162     |
| 11360241-6137264  | 12.647938   | 12.616081   | 0.031857     |
| 11360242-6133577  | 13.135858   | 13.02882    | 0.107038     |
| 11360246-6147102  | 10.448817   | 10.115459   | 0.333358     |
| 11360340-6139153  | 11.903934   | 11.841186   | 0.062748     |
| 11360412-6134242  | 15.276559   | 14.832955   | 0.443604     |
| 11360439-6133166  | 12.710397   | 12.60979    | 0.100607     |
| 11360453-6135226  | 8.111841    | 8.18218     | -0.070339    |
| 11360480-6149215  | 13.560644   | 13.281191   | 0.279453     |
| 11360543-6138488  | 12.986331   | 12.847106   | 0.139225     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11360548-6142060  | 9.761592    | 9.761202    | 0.00039      |
| 11360557-6134091  | 13.515275   | 13.291826   | 0.223449     |
| 11360577-6130568  | 14.032191   | 13.786668   | 0.245523     |
| 11360584-6137515  | 11.490802   | 11.441189   | 0.049613     |
| 11360642-6144220  | 11.050008   | 11.002191   | 0.047817     |
| 11360696-6136126  | 12.97202    | 12.862885   | 0.109135     |
| 11360722-6134257  | 14.629365   | 14.286716   | 0.342649     |
| 11360796-6131003  | 13.40386    | 12.734115   | 0.669745     |
| 11360803-6138382  | 10.080452   | 10.071424   | 0.009028     |
| 11360825-6134194  | 10.670339   | 10.687145   | -0.016806    |
| 11360840-6137477  | 12.003913   | 11.862963   | 0.14095      |
| 11360847-6139137  | 13.473217   | 13.302835   | 0.170382     |
| 11360848-6135585  | 13.434732   | 13.266029   | 0.168703     |
| 11360874-6138129  | 10.904078   | 10.879222   | 0.024856     |
| 11360899-6135217  | 11.203517   | 11.179996   | 0.023521     |
| 11360907-6136333  | 12.149167   | 12.088709   | 0.060458     |
| 11360908-6135132  | 13.766397   | 13.594664   | 0.171733     |
| 11360910-6143149  | 16.526005   | 15.670645   | 0.85536      |
| 11360917-6131557  | 11.44307    | 11.404755   | 0.038315     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11360936-6141415  | 9.440035    | 9.45903     | -0.018995    |
| 11360959-6135382  | 9.227588    | 9.246535    | -0.018947    |
| 11361009-6135471  | 12.969874   | 12.87498    | 0.094894     |
| 11361016-6137398  | 9.251153    | 9.255346    | -0.004193    |
| 11361048-6132429  | 13.916059   | 13.35484    | 0.561219     |
| 11361076-6137211  | 12.373562   | 12.247997   | 0.125565     |
| 11361087-6136389  | 12.350797   | 12.270118   | 0.080679     |
| 11361105-6138286  | 11.283087   | 11.237157   | 0.04593      |
| 11361125-6133474  | 12.381244   | 12.258541   | 0.122703     |
| 11361151-6132344  | 14.965758   | 14.242946   | 0.722812     |
| 11361159-6144056  | 14.070626   | 13.782948   | 0.287678     |
| 11361192-6134238  | 13.023848   | 12.914397   | 0.109451     |
| 11361199-6140048  | 13.729537   | 13.563732   | 0.165805     |
| 11361205-6135106  | 11.320871   | 11.290036   | 0.030835     |
| 11361213-6141186  | 11.638209   | 11.550393   | 0.087816     |
| 11361236-6132449  | 10.059734   | 10.064384   | -0.00465     |
| 11361260-6134079  | 13.460458   | 13.301332   | 0.159126     |
| 11361287-6136100  | 14.258302   | 13.99504    | 0.263262     |
| 11361375-6141082  | 14.713401   | 14.367511   | 0.34589      |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11361394-6138276  | 13.541981   | 13.363191   | 0.17879      |
| 11361406-6137357  | 9.957637    | 9.951818    | 0.005819     |
| 11361440-6137247  | 12.045438   | 11.969595   | 0.075843     |
| 11361467-6135170  | 13.730563   | 13.529025   | 0.201538     |
| 11361520-6135225  | 12.139274   | 12.070534   | 0.06874      |
| 11361524-6147048  | 15.5881     | 15.050995   | 0.537105     |
| 11361545-6138459  | 14.10147    | 13.771794   | 0.329676     |
| 11361579-6140170  | 13.196553   | 13.060073   | 0.13648      |
| 11361580-6136081  | 11.128182   | 11.085336   | 0.042846     |
| 11361584-6130503  | 11.819212   | 11.758842   | 0.06037      |
| 11361585-6138556  | 14.447124   | 14.159357   | 0.287767     |
| 11361591-6135016  | 10.427742   | 10.451175   | -0.023433    |
| 11361650-6140351  | 13.978103   | 13.64731    | 0.330793     |
| 11361692-6138082  | 14.486779   | 14.183895   | 0.302884     |
| 11361703-6128013  | 8.575998    | 8.577151    | -0.001153    |
| 11361715-6130540  | 14.641782   | 14.052049   | 0.589733     |
| 11361734-6132337  | 13.25635    | 13.108207   | 0.148143     |
| 11361742-6137485  | 12.255703   | 12.125455   | 0.130248     |
| 11361749-6137265  | 13.905435   | 13.711461   | 0.193974     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11361750-6138282  | 14.556857   | 14.227825   | 0.329032     |
| 11361789-6139433  | 13.178456   | 12.996508   | 0.181948     |
| 11361791-6133539  | 14.608397   | 14.293391   | 0.315006     |
| 11361794-6137225  | 13.513887   | 13.328806   | 0.185081     |
| 11361814-6140422  | 10.894043   | 10.840303   | 0.05374      |
| 11361832-6135424  | 9.967583    | 9.998482    | -0.030899    |
| 11361884-6129323  | 13.122791   | 12.868379   | 0.254412     |
| 11361887-6137039  | 11.19992    | 11.150383   | 0.049537     |
| 11361919-6130499  | 13.936096   | 13.694448   | 0.241648     |
| 11362036-6136294  | 14.246562   | 13.995996   | 0.250566     |
| 11362044-6136091  | 13.189829   | 13.052841   | 0.136988     |
| 11362069-6134595  | 12.481992   | 12.3632     | 0.118792     |
| 11362074-6133414  | 12.652407   | 12.561378   | 0.091029     |
| 11362102-6136585  | 10.256965   | 10.256126   | 0.000839     |
| 11362110-6139034  | 9.060619    | 9.09446     | -0.033841    |
| 11362113-6141406  | 12.852748   | 12.715612   | 0.137136     |
| 11362137-6135150  | 9.606212    | 9.630247    | -0.024035    |
| 11362149-6140342  | 14.543931   | 14.233496   | 0.310435     |
| 11362165-6137382  | 11.430896   | 11.383631   | 0.047265     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11362185-6136299  | 10.586901   | 10.581939   | 0.004962     |
| 11362194-6137286  | 10.922181   | 10.877281   | 0.0449       |
| 11362207-6135390  | 9.10614     | 9.12243     | -0.01629     |
| 11362217-6133559  | 14.265989   | 14.00873    | 0.257259     |
| 11362226-6133187  | 14.77149    | 14.417888   | 0.353602     |
| 11362229-6139438  | 14.186938   | 13.926796   | 0.260142     |
| 11362260-6138236  | 14.166872   | 13.919174   | 0.247698     |
| 11362270-6133340  | 12.741679   | 12.641764   | 0.099915     |
| 11362324-6136405  | 11.621795   | 11.555645   | 0.06615      |
| 11362384-6135594  | 13.417246   | 13.276533   | 0.140713     |
| 11362388-6138031  | 13.056795   | 12.927364   | 0.129431     |
| 11362437-6140241  | 10.458036   | 10.46524    | -0.007204    |
| 11362539-6133165  | 13.342615   | 13.184892   | 0.157723     |
| 11362552-6135191  | 12.701779   | 12.589828   | 0.111951     |
| 11362560-6136264  | 11.955633   | 11.914116   | 0.041517     |
| 11362593-6137192  | 12.819612   | 12.70294    | 0.116672     |
| 11362637-6135369  | 11.565268   | 11.519664   | 0.045604     |
| 11362648-6132206  | 13.160213   | 13.048701   | 0.111512     |
| 11362686-6136108  | 11.740046   | 11.680244   | 0.059802     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11362713-6131368  | 13.629851   | 13.407331   | 0.22252      |
| 11362736-6135528  | 12.876849   | 12.765188   | 0.111661     |
| 11362745-6140505  | 13.910818   | 13.691859   | 0.218959     |
| 11362807-6139307  | 12.981322   | 12.861547   | 0.119775     |
| 11362835-6139542  | 7.213299    | 7.13028     | 0.083019     |
| 11362953-6137035  | 13.924301   | 13.691148   | 0.233153     |
| 11362960-6135140  | 12.934103   | 12.812428   | 0.121675     |
| 11362968-6141356  | 13.037224   | 12.919147   | 0.118077     |
| 11362982-6130370  | 14.653365   | 13.939521   | 0.713844     |
| 11362991-6139470  | 12.541264   | 12.429841   | 0.111423     |
| 11363001-6140098  | 14.577726   | 14.27033    | 0.307396     |
| 11363014-6136477  | 12.345631   | 12.262044   | 0.083587     |
| 11363032-6136416  | 14.848852   | 14.166385   | 0.682467     |
| 11363069-6131131  | 13.182247   | 13.059909   | 0.122338     |
| 11363073-6133418  | 13.977461   | 13.760448   | 0.217013     |
| 11363156-6134255  | 8.548179    | 8.546257    | 0.001922     |
| 11363188-6134470  | 9.973045    | 9.988172    | -0.015127    |
| 11363194-6141017  | 15.410175   | 14.937576   | 0.472599     |
| 11363203-6136173  | 13.254356   | 12.704271   | 0.550085     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11363217-6136382  | 12.805517   | 12.700356   | 0.105161     |
| 11363240-6133080  | 13.175529   | 13.044368   | 0.131161     |
| 11363426-6139499  | 12.778078   | 12.612286   | 0.165792     |
| 11363436-6139462  | 13.630381   | 13.439353   | 0.191028     |
| 11363447-6139132  | 12.687461   | 12.588607   | 0.098854     |
| 11363458-6140014  | 13.3194     | 13.163286   | 0.156114     |
| 11363484-6136350  | 9.404334    | 7.550569    | 1.853765     |
| 11363532-6136420  | 12.254477   | 12.176015   | 0.078462     |
| 11363559-6136153  | 13.443862   | 13.267848   | 0.176014     |
| 11363622-6131355  | 14.514279   | 14.211356   | 0.302923     |
| 11363698-6138427  | 13.034218   | 12.799478   | 0.23474      |
| 11363758-6141043  | 13.157547   | 13.005277   | 0.15227      |
| 11363770-6133110  | 10.980339   | 10.969023   | 0.011316     |
| 11363773-6139234  | 12.569473   | 12.481464   | 0.088009     |
| 11363776-6141021  | 13.27406    | 13.118896   | 0.155164     |
| 11363836-6134106  | 11.425195   | 11.390586   | 0.034609     |
| 11363858-6139088  | 14.634126   | 14.278745   | 0.355381     |
| 11363861-6148007  | 15.125893   | 14.681334   | 0.444559     |
| 11363880-6138118  | 12.347031   | 12.205515   | 0.141516     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11363943-6142160  | 13.643087   | 13.45201    | 0.191077     |
| 11363961-6135564  | 13.724969   | 13.491426   | 0.233543     |
| 11363995-6136242  | 14.064082   | 13.831532   | 0.23255      |
| 11364041-6134228  | 11.532158   | 11.469403   | 0.062755     |
| 11364085-6127438  | 11.265334   | 11.200267   | 0.065067     |
| 11364130-6137229  | 13.591495   | 13.437718   | 0.153777     |
| 11364144-6140580  | 12.953467   | 12.82944    | 0.124027     |
| 11364152-6136505  | 14.412435   | 14.119555   | 0.29288      |
| 11364164-6142221  | 10.971639   | 10.800447   | 0.171192     |
| 11364185-6131373  | 9.095523    | 9.142817    | -0.047294    |
| 11364188-6137537  | 11.092527   | 11.045827   | 0.0467       |
| 11364218-6134321  | 14.184856   | 13.933992   | 0.250864     |
| 11364299-6134390  | 14.329822   | 14.064608   | 0.265214     |
| 11364357-6140112  | 13.908195   | 13.70573    | 0.202465     |
| 11364360-6133427  | 13.783105   | 13.582219   | 0.200886     |
| 11364415-6142096  | 14.547834   | 14.218948   | 0.328886     |
| 11364427-6128580  | 14.171679   | 13.904022   | 0.267657     |
| 11364437-6133173  | 15.028376   | 14.312395   | 0.715981     |
| 11364446-6139087  | 13.83862    | 13.636992   | 0.201628     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11364507-6132279  | 13.51539    | 13.352838   | 0.162552     |
| 11364514-6141564  | 13.742153   | 13.542923   | 0.19923      |
| 11364537-6141133  | 13.204592   | 13.009416   | 0.195176     |
| 11364559-6140390  | 15.029202   | 14.217813   | 0.811389     |
| 11364564-6140199  | 14.524529   | 14.218133   | 0.306396     |
| 11364594-6135252  | 14.475595   | 14.087575   | 0.38802      |
| 11364595-6140435  | 13.326218   | 13.167825   | 0.158393     |
| 11364598-6138377  | 12.468328   | 12.366025   | 0.102303     |
| 11364612-6133404  | 13.47565    | 13.309894   | 0.165756     |
| 11364686-6139394  | 14.741786   | 14.404689   | 0.337097     |
| 11364698-6136328  | 14.129614   | 13.896279   | 0.233335     |
| 11364725-6137423  | 12.705755   | 12.59453    | 0.111225     |
| 11364740-6125554  | 13.142077   | 12.940901   | 0.201176     |
| 11364753-6135069  | 14.328928   | 13.689516   | 0.639412     |
| 11364755-6133099  | 14.435263   | 14.121106   | 0.314157     |
| 11364766-6139168  | 14.381159   | 14.077913   | 0.303246     |
| 11364768-6143195  | 15.81985    | 15.251322   | 0.568528     |
| 11364831-6126419  | 10.874728   | 10.867637   | 0.007091     |
| 11364862-6140100  | 11.912779   | 11.861226   | 0.051553     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11364892-6128008  | 13.479448   | 13.280071   | 0.199377     |
| 11364898-6138588  | 13.128299   | 12.99554    | 0.132759     |
| 11364931-6136210  | 11.006698   | 10.980366   | 0.026332     |
| 11364940-6125532  | 14.282602   | 13.704752   | 0.57785      |
| 11365031-6140076  | 12.46757    | 11.922087   | 0.545483     |
| 11365047-6140008  | 9.103089    | 9.144471    | -0.041382    |
| 11365147-6133234  | 13.419073   | 13.256211   | 0.162862     |
| 11365152-6142221  | 14.654708   | 14.051157   | 0.603551     |
| 11365173-6134038  | 12.075132   | 12.014702   | 0.06043      |
| 11365328-6135514  | 14.276364   | 14.022785   | 0.253579     |
| 11365465-6132523  | 13.621194   | 13.430978   | 0.190216     |
| 11365496-6139392  | 11.615617   | 11.570772   | 0.044845     |
| 11365517-6126190  | 12.752801   | 12.66125    | 0.091551     |
| 11365520-6137111  | 15.013676   | 14.621321   | 0.392355     |
| 11365570-6137215  | 12.186434   | 11.717948   | 0.468486     |
| 11365637-6132085  | 12.889155   | 12.772127   | 0.117028     |
| 11365649-6129191  | 13.409737   | 13.105196   | 0.304541     |
| 11365658-6140214  | 14.486439   | 14.064865   | 0.421574     |
| 11365708-6137142  | 14.342257   | 14.055004   | 0.287253     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11365875-6131238  | 14.745861   | 14.420996   | 0.324865     |
| 11365907-6137051  | 14.539894   | 13.980882   | 0.559012     |
| 11365910-6136457  | 15.040241   | 14.584376   | 0.455865     |
| 11365946-6135197  | 13.114999   | 12.98463    | 0.130369     |
| 11365947-6136502  | 10.945311   | 10.931727   | 0.013584     |
| 11365959-6138505  | 14.247678   | 13.70359    | 0.544088     |
| 11365961-6138227  | 12.143673   | 12.031483   | 0.11219      |
| 11370158-6133123  | 14.988628   | 14.350634   | 0.637994     |
| 11370190-6136567  | 13.762229   | 13.558803   | 0.203426     |
| 11370209-6137563  | 14.173219   | 13.938532   | 0.234687     |
| 11370211-6142090  | 14.686686   | 14.340449   | 0.346237     |
| 11370221-6134452  | 14.555711   | 13.785354   | 0.770357     |
| 11370345-6132184  | 15.135252   | 14.324471   | 0.810781     |
| 11370399-6140238  | 14.973239   | 14.448506   | 0.524733     |
| 11370403-6131554  | 11.893346   | 11.84774    | 0.045606     |
| 11370423-6136581  | 14.111424   | 13.858394   | 0.25303      |
| 11370447-6133498  | 14.236484   | 13.645095   | 0.591389     |
| 11370495-6135177  | 14.097919   | 13.653145   | 0.444774     |
| 11370531-6135510  | 14.722773   | 14.359625   | 0.363148     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11370566-6136340  | 12.519933   | 12.349378   | 0.170555     |
| 11370572-6137228  | 13.392467   | 13.161868   | 0.230599     |
| 11370580-6137177  | 12.058619   | 12.030783   | 0.027836     |
| 11370582-6136558  | 14.271477   | 13.850607   | 0.42087      |
| 11370595-6127346  | 12.527427   | 12.082339   | 0.445088     |
| 11370606-6131556  | 11.212928   | 11.207843   | 0.005085     |
| 11370644-6134591  | 12.834819   | 12.723938   | 0.110881     |
| 11370644-6142149  | 13.915752   | 13.548069   | 0.367683     |
| 11370649-6135105  | 13.836756   | 13.294517   | 0.542239     |
| 11370663-6146346  | 12.558145   | 12.444794   | 0.113351     |
| 11370760-6135395  | 14.294242   | 14.005589   | 0.288653     |
| 11370805-6133007  | 13.867951   | 13.633978   | 0.233973     |
| 11370814-6136396  | 11.649947   | 11.529534   | 0.120413     |
| 11370881-6141543  | 12.865339   | 12.642799   | 0.22254      |
| 11370886-6137293  | 14.674747   | 14.320863   | 0.353884     |
| 11370975-6138346  | 14.592448   | 14.040327   | 0.552121     |
| 11371091-6139226  | 10.647234   | 10.640903   | 0.006331     |
| 11371152-6132145  | 14.465075   | 14.015141   | 0.449934     |
| 11371172-6138066  | 12.173778   | 12.131274   | 0.042504     |

| <b>Coordenada</b> | <b>Bmag</b> | <b>Vmag</b> | <b>(B-V)</b> |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| 11371220-6134048  | 14.630847   | 14.204943   | 0.425904     |
| 11371245-6136534  | 14.748917   | 14.064461   | 0.684456     |
| 11371280-6131529  | 14.7422     | 14.209839   | 0.532361     |
| 11371306-6133560  | 12.859639   | 12.758569   | 0.10107      |
| 11371483-6140293  | 12.777329   | 12.623258   | 0.154071     |
| 11371529-6141271  | 13.709144   | 13.115923   | 0.593221     |
| 11371949-6130567  | 15.860766   | 15.091916   | 0.76885      |
| 11372882-6138025  | 13.881349   | 13.595045   | 0.286304     |
| 11373241-6129060  | 7.209932    | 7.23502     | -0.025088    |
| 11373264-6136367  | 14.193789   | 14.01406    | 0.179729     |
| 11373299-6145196  | 13.21597    | 12.938217   | 0.277753     |
| 11373817-6137183  | 11.463905   | 11.43138    | 0.032525     |
| 11373889-6137212  | 13.14825    | 13.000781   | 0.147469     |
| 11374210-6135431  | 14.219271   | 13.826699   | 0.392572     |
| 11375188-6138438  | 10.976135   | 10.960387   | 0.015748     |
| 11375357-6138557  | 11.716914   | 11.663065   | 0.053849     |

Fonte: Adaptado de Gaia DR3, Montegriffo et al. (2023).

**APÊNDICE B – LARGURAS EQUIVALENTES MEDIDAS PELOS MÉTODOS DE GAUSS E SIMPSON DAS ESTRELAS OBA DE NGC 3766**

Tabela 4 – Larguras equivalente medidas pelos métodos de Gauss e Simpson das estrelas OBA de NGC 3766

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 11345134-6137102  | HD 306656            | 85   | 88   | 20   | 21   |
| 11352207-6132109  | HD 306793            | 97   | 94   | 12   | 13   |
| 11353687-6134050  | CPD-60 3088          | 77   | 102  | 19   | 20   |
| 11354133-6136560  | CPD-60 3091          | 68   | 98   | 21   | 20   |
| 11354709-6133379  | HD 100840            | 105  | 112  | 33   | 31   |
| 11354857-6129192  | HD 306785            | 109  | 106  | 19   | 17   |
| 11355199-6139397  | HD 306795            | 54   | 76   | 21   | 21   |
| 11355225-6138075  | CPD-60 3098          | 108  | 113  | 21   | 22   |
| 11355440-6134305  | CPD-60 3101          | 108  | 106  | 25   | 21   |
| 11355544-6136137  | HD 100856            | 106  | 107  | 29   | 26   |
| 11360110-6137185  | CPD-60 3108          | 113  | 112  | 23   | 23   |
| 11360453-6135226  | HD 306794            | 73   | 80   | 16   | 16   |
| 11360825-6134194  | CPD-60 3120          | 68   | 84   | 22   | 22   |
| 11360936-6141415  | HD 306798            | 112  | 114  | 23   | 23   |
| 11360959-6135382  | CPD-60 3125          | 113  | 108  | 21   | 18   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 11361236-6132449  | CD-60 3626A          | 110  | 109  | 14   | 13   |
| 11361591-6135016  | CPD-60 3134          | 120  | 125  | 22   | 20   |
| 11361832-6135424  | CPD-60 3137          | 116  | 114  | 25   | 23   |
| 11362110-6139034  | CD-60 3629           | 99   | 106  | 19   | 19   |
| 11362137-6135150  | CPD-60 3147          | 100  | 98   | 13   | 12   |
| 11362207-6135390  | CPD-60 3148          | 55   | 75   | 16   | 17   |
| 11362437-6140241  | CPD-60 3150          | 121  | 124  | 17   | 17   |
| 11363188-6134470  | CPD-60 3158          | 115  | 120  | 20   | 20   |
| 11364185-6131373  | HD 100969            | 105  | 109  | 20   | 19   |
| 11365047-6140008  | HD 100989            | 66   | 86   | 16   | 17   |
| 11343713-6135132  | TYC 8972-2827-1      | 37   | 38   | 38   | 37   |
| 11351500-6135103  | NGC 3766 281         | 24   | 25   | 40   | 38   |
| 11352122-6135204  | CI* NGC 3766 MG 65   | 55   | 56   | 29   | 28   |
| 11352413-6140236  | [YSS2013] 728        | 18   | 18   | 38   | 36   |
| 11353133-6138245  | CI* NGC 3766 MG 150  | 21   | 21   | 34   | 33   |
| 11353266-6135423  | CPD-60 3082          | 84   | 82   | 18   | 16   |
| 11353539-6136410  | CPD-60 3084          | 77   | 77   | 22   | 20   |
| 11353573-6137301  | NGC 3766 103         | 15   | 13   | 20   | 20   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 11353683-6129115  | WRAY 15-833          | 103  | 101  | 21   | 19   |
| 11353715-6141097  | CPD-60 3089          | 62   | 62   | 28   | 26   |
| 11353915-6139370  | NGC 3766 100         | 17   | 17   | 44   | 43   |
| 11354291-6140534  | HD 306796            | 81   | 85   | 21   | 21   |
| 11354406-6136044  | CPD-60 3093          | 57   | 56   | 18   | 17   |
| 11354434-6136233  | NGC 3766 113         | 31   | 31   | 21   | 20   |
| 11354488-6135049  | NGC 3766 127         | 23   | 23   | 30   | 30   |
| 11354669-6146030  | TYC 8972-281-1       | 62   | 72   | 24   | 24   |
| 11354688-6138252  | NGC 3766 98          | 42   | 42   | 26   | 25   |
| 11354791-6137197  | NGC 3766 108         | 37   | 37   | 29   | 27   |
| 11355064-6136303  | [YSS2013] 1151       | 16   | 16   | 32   | 31   |
| 11355071-6135468  | Cl* NGC 3766 MG 81   | 26   | 26   | 36   | 34   |
| 11355236-6138150  | Cl* NGC 3766 MG 147  | 43   | 43   | 18   | 16   |
| 11355502-6143066  | [YSS2013] 486        | 31   | 30   | 25   | 24   |
| 11355571-6132319  | CPD-60 3104          | 84   | 83   | 20   | 18   |
| 11355655-6137474  | [YSS2013] 991        | 18   | 21   | 38   | 36   |
| 11355702-6138155  | CPD-60 3105          | 79   | 77   | 19   | 17   |
| 11355899-6135588  | UCAC4 143-084674     | 13   | 12   | 30   | 29   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 11355995-6130266  | CPD-60 3110          | 48   | 48   | 31   | 30   |
| 11360020-6139168  | CI* NGC 3766 MG 165  | 31   | 30   | 23   | 22   |
| 11360075-6132227  | CPD-60 3106          | 58   | 58   | 26   | 25   |
| 11360094-6134174  | CPD-60 3107          | 30   | 29   | 32   | 32   |
| 11360197-6135381  | NGC 3766 4           | 17   | 16   | 26   | 25   |
| 11360218-6137436  | NGC 3766 84          | 20   | 19   | 35   | 32   |
| 11360340-6139153  | NGC 3766 91          | 59   | 59   | 28   | 27   |
| 11360439-6133166  | CI* NGC 3766 MG 34   | 27   | 29   | 38   | 36   |
| 11360584-6137515  | CPD-60 3118          | 79   | 79   | 23   | 21   |
| 11360642-6144220  | TYC 8972-103-1       | 94   | 96   | 28   | 26   |
| 11360696-6136126  | CI* NGC 3766 MG 91   | 13   | 12   | 28   | 26   |
| 11360840-6137477  | NGC 3766 64          | 25   | 24   | 32   | 32   |
| 11360874-6138129  | CPD-60 3121A         | 123  | 127  | 22   | 21   |
| 11360899-6135217  | NGC 3766 25          | 96   | 93   | 25   | 23   |
| 11360917-6131557  | CPD-60 3123          | 76   | 75   | 21   | 19   |
| 11361009-6135471  | CI* NGC 3766 MG 82   | 26   | 28   | 36   | 34   |
| 11361076-6137211  | NGC 3766 62          | 19   | 18   | 27   | 30   |
| 11361087-6136389  | NGC 3766 34          | 24   | 24   | 18   | 17   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b>  | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| 11361105-6138286  | CPD-60 3130           | 101  | 103  | 22   | 21   |
| 11361125-6133474  | NGC 3766 9            | 18   | 18   | 37   | 35   |
| 11361192-6134238  | GES J11361192-6134238 | 20   | 20   | 38   | 36   |
| 11361205-6135106  | CPD-60 3131           | 109  | 111  | 21   | 20   |
| 11361213-6141186  | CI* NGC 3766 MG 192   | 41   | 42   | 33   | 32   |
| 11361440-6137247  | NGC 3766 66           | 47   | 45   | 22   | 21   |
| 11361520-6135225  | CI* NGC 3766 MG 68    | 49   | 48   | 27   | 26   |
| 11361579-6140170  | [YSS2013] 739         | 11   | 10   | 31   | 29   |
| 11361580-6136081  | CPD-60 3135           | 78   | 78   | 24   | 23   |
| 11361584-6130503  | CI* NGC 3766 MG 11    | 51   | 49   | 18   | 17   |
| 11361814-6140422  | CPD-60 3139           | 49   | 60   | 22   | 22   |
| 11361887-6137039  | CPD-60 3138           | 60   | 69   | 21   | 20   |
| 11362069-6134595  | NGC 3766 19           | 22   | 21   | 23   | 22   |
| 11362074-6133414  | NGC 3766 12           | 33   | 34   | 35   | 33   |
| 11362102-6136585  | CPD-60 3143           | 77   | 88   | 16   | 17   |
| 11362113-6141406  | CI* NGC 3766 MG 195   | 23   | 23   | 32   | 29   |
| 11362165-6137382  | NGC 3766 54           | 78   | 77   | 25   | 24   |
| 11362185-6136299  | CPD-60 3149           | 98   | 95   | 19   | 18   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 11362194-6137286  | CPD-60 3144          | 93   | 90   | 22   | 22   |
| 11362270-6133340  | NGC 3766 13          | 15   | 14   | 23   | 21   |
| 11362324-6136405  | NGC 3766 38          | 54   | 52   | 16   | 16   |
| 11362388-6138031  | NGC 3766 69          | 17   | 16   | 32   | 30   |
| 11362552-6135191  | NGC 3766 18          | 46   | 48   | 30   | 28   |
| 11362560-6136264  | NGC 3766 42          | 47   | 45   | 28   | 26   |
| 11362593-6137192  | NGC 3766 51          | 23   | 22   | 32   | 30   |
| 11362637-6135369  | CPD-60 3154          | 71   | 69   | 23   | 21   |
| 11362686-6136108  | Cl* NGC 3766 MG 90   | 50   | 47   | 14   | 13   |
| 11362736-6135528  | NGC 3766 40          | 20   | 19   | 36   | 34   |
| 11362807-6139307  | NGC 3766 71          | 24   | 23   | 38   | 36   |
| 11362835-6139542  | HD 100943            | 64   | 66   | 37   | 37   |
| 11362960-6135140  | NGC 3766 17          | 12   | 11   | 21   | 19   |
| 11362968-6141356  | NGC 3766 231         | 26   | 26   | 34   | 32   |
| 11362991-6139470  | NGC 3766 233         | 36   | 35   | 30   | 28   |
| 11363014-6136477  | NGC 3766 43          | 23   | 21   | 15   | 13   |
| 11363069-6131131  | [YSS2013] 1604       | 14   | 13   | 36   | 34   |
| 11363156-6134255  | HD 306791            | 89   | 88   | 26   | 24   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b>  | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| 11363217-6136382  | CI* NGC 3766 MG 100   | 21   | 21   | 28   | 26   |
| 11363532-6136420  | GES J11363532-6136420 | 31   | 30   | 17   | 16   |
| 11363698-6138427  | NGC 3766 206          | 15   | 13   | 40   | 38   |
| 11363758-6141043  | CI* NGC 3766 MG 189   | 15   | 16   | 33   | 31   |
| 11363770-6133110  | CPD-60 3163           | 90   | 87   | 15   | 15   |
| 11363773-6139234  | NGC 3766 214          | 30   | 29   | 32   | 31   |
| 11363836-6134106  | CPD-60 3164           | 89   | 87   | 21   | 19   |
| 11363880-6138118  | NGC 3766 205          | 18   | 16   | 26   | 28   |
| 11364041-6134228  | CPD-60 3167           | 59   | 57   | 19   | 18   |
| 11364085-6127438  | HD 306786             | 15   | 15   | 36   | 35   |
| 11364144-6140580  | NGC 3766 221          | 26   | 26   | 38   | 36   |
| 11364164-6142221  | NGC 3766 229          | 15   | 14   | 28   | 26   |
| 11364188-6137537  | CPD-60 3165           | 79   | 77   | 18   | 16   |
| 11364218-6134321  | [YSS2013] 1278        | 13   | 13   | 50   | 47   |
| 11364725-6137423  | CI* NGC 3766 MG 134   | 29   | 31   | 36   | 34   |
| 11364831-6126419  | HD 306787             | 43   | 61   | 22   | 23   |
| 11364862-6140100  | NGC 3766 213          | 52   | 52   | 31   | 29   |
| 11364898-6138588  | CI* NGC 3766 MG 160   | 21   | 20   | 36   | 33   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b>  | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| 11364931-6136210  | CPD-60 3174           | 99   | 99   | 22   | 21   |
| 11365173-6134038  | NGC 3766 181          | 47   | 46   | 24   | 23   |
| 11365496-6139392  | CPD-60 3177           | 61   | 60   | 22   | 20   |
| 11365517-6126190  | [YSS2013] 2081        | 23   | 22   | 33   | 31   |
| 11365637-6132085  | Cl* NGC 3766 MG 23    | 23   | 22   | 37   | 34   |
| 11365946-6135197  | [YSS2013] 1205        | 16   | 16   | 31   | 30   |
| 11365947-6136502  | CPD-60 3180           | 106  | 109  | 22   | 20   |
| 11365961-6138227  | NGC 3766 208          | 31   | 33   | 40   | 40   |
| 11370403-6131554  | [YSS2013] 1543        | 48   | 47   | 22   | 21   |
| 11370606-6131556  | HD 306790             | 107  | 105  | 20   | 19   |
| 11370644-6134591  | [YSS2013] 1234        | 26   | 26   | 36   | 34   |
| 11370663-6146346  | TYC 8972-313-1        | 42   | 41   | 33   | 31   |
| 11371091-6139226  | HD 306800             | 115  | 114  | 17   | 16   |
| 11371172-6138066  | UCAC4 142-079237      | 5  | 5  | 16   | 17   |
| 11371306-6133560  | UCAC4 143-085548      | 19   | 18   | 29   | 27   |
| 11373817-6137183  | UCAC4 142-079398      | 64   | 72   | 24   | 22   |
| 11373889-6137212  | GES J11373889-6137212 | 18   | 19   | 37   | 35   |
| 11375188-6138438  | UCAC4 142-079492      | 89   | 87   | 18   | 18   |

| <b>Coordenada</b> | <b>Identificação</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Gauss</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]<br/>Simpson</b> |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 11375357-6138557  | HD 306801            | 70   | 69   | 27   | 26   |

Fonte: A autora (2025).

**APÊNDICE C – CATÁLOGO DA CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DAS ESTRELAS OBA DE NGC 3766**

Tabela 5 – Classificação espectral das estrelas OBA de NGC 3766

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>   | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|-------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11345134-6137102  | HD 306656   | 137        | 88   | 21   | 4.19            | B3                    |
| 11352207-6132109  | HD 306793   | 120        | 94   | 13   | 7.23            | B2                    |
| 11353687-6134050  | CPD-60 3088 | 111        | 102  | 20   | 5.10            | B3                    |
| 11354133-6136560  | CPD-60 3091 | 126        | 98   | 20   | 4.90            | B3                    |
| 11354709-6133379  | HD 100840   | 302        | 112  | 31   | 3.61            | B4                    |
| 11354857-6129192  | HD 306785   | 207        | 106  | 17   | 6.24            | B2.5                  |
| 11355199-6139397  | HD 306795   | 115        | 76   | 21   | 3.62            | B4                    |
| 11355225-6138075  | CPD-60 3098 | 212        | 113  | 22   | 5.14            | B3                    |
| 11355440-6134305  | CPD-60 3101 | 95         | 106  | 21   | 5.05            | B3                    |
| 11355544-6136137  | HD 100856   | 314        | 107  | 26   | 4.12            | B3                    |
| 11360110-6137185  | CPD-60 3108 | 171        | 112  | 23   | 4.87            | B3                    |
| 11360453-6135226  | HD 306794   | 482        | 80   | 16   | 5.00            | B3                    |
| 11360825-6134194  | CPD-60 3120 | 131        | 84   | 22   | 3.82            | B4                    |
| 11360936-6141415  | HD 306798   | 217        | 114  | 23   | 4.96            | B3                    |
| 11360959-6135382  | CPD-60 3125 | 169        | 108  | 18   | 6.00            | B2.5                  |
| 11361236-6132449  | CD-60 3626A | 194        | 109  | 13   | 8.38            | B1                    |
| 11361591-6135016  | CPD-60 3134 | 130        | 125  | 20   | 6.25            | B2.5                  |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>           | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|---------------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11361832-6135424  | CPD-60 3137         | 160        | 114  | 23   | 4.96            | B3                    |
| 11362110-6139034  | CD-60 3629          | 260        | 106  | 19   | 5.58            | B2.5                  |
| 11362137-6135150  | CPD-60 3147         | 211        | 98   | 12   | 8.17            | B1.5                  |
| 11362207-6135390  | CPD-60 3148         | 229        | 75   | 17   | 4.41            | B3                    |
| 11362437-6140241  | CPD-60 3150         | 124        | 124  | 17   | 7.29            | B2                    |
| 11363188-6134470  | CPD-60 3158         | 149        | 120  | 20   | 6.00            | B2                    |
| 11364185-6131373  | HD 100969           | 220        | 109  | 19   | 5.74            | B2.5                  |
| 11365047-6140008  | HD 100989           | 224        | 86   | 17   | 5.06            | B3                    |
| 11343713-6135132  | TYC 8972-2827-1     | 75         | 38   | 37   | 1.03            | B8                    |
| 11351500-6135103  | NGC 3766 281        | 173        | 25   | 38   | 0.66            | B9                    |
| 11352122-6135204  | CI* NGC 3766 MG 65  | 240        | 56   | 28   | 2.00            | B6                    |
| 11352413-6140236  | [YSS2013] 728       | 157        | 18   | 36   | 0.50            | B9                    |
| 11353133-6138245  | CI* NGC 3766 MG 150 | 125        | 21   | 33   | 0.64            | B9                    |
| 11353266-6135423  | CPD-60 3082         | 221        | 82   | 16   | 5.13            | B3                    |
| 11353539-6136410  | CPD-60 3084         | 98         | 77   | 20   | 3.85            | B4                    |
| 11353573-6137301  | NGC 3766 103        | 114        | 13   | 20   | 0.65            | B9                    |
| 11353683-6129115  | WRAY 15-833         | 135        | 101  | 19   | 5.32            | B3                    |
| 11353715-6141097  | CPD-60 3089         | 144        | 62   | 26   | 2.38            | B5                    |
| 11353915-6139370  | NGC 3766 100        | 119        | 17   | 43   | 0.40            | B9                    |
| 11354291-6140534  | HD 306796           | 105        | 85   | 21   | 4.05            | B3                    |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>           | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|---------------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11354406-6136044  | CPD-60 3093         | 164        | 56   | 17   | 3.29            | B4                    |
| 11354434-6136233  | NGC 3766 113        | 175        | 31   | 20   | 1.55            | B7                    |
| 11354488-6135049  | NGC 3766 127        | 157        | 23   | 30   | 0.77            | B8                    |
| 11354669-6146030  | TYC 8972-281-1      | 104        | 72   | 24   | 3.00            | B4                    |
| 11354688-6138252  | NGC 3766 98         | 148        | 42   | 25   | 1.68            | B6                    |
| 11354791-6137197  | NGC 3766 108        | 122        | 37   | 27   | 1.37            | B7                    |
| 11355064-6136303  | [YSS2013] 1151      | 116        | 16   | 31   | 0.52            | B9                    |
| 11355071-6135468  | CI* NGC 3766 MG 81  | 92         | 26   | 34   | 0.76            | B8                    |
| 11355236-6138150  | CI* NGC 3766 MG 147 | 191        | 43   | 16   | 2.69            | B5                    |
| 11355502-6143066  | [YSS2013] 486       | 185        | 30   | 24   | 1.25            | B7                    |
| 11355571-6132319  | CPD-60 3104         | 99         | 83   | 18   | 4.61            | B3                    |
| 11355655-6137474  | [YSS2013] 991       | 105        | 21   | 36   | 0.58            | B9                    |
| 11355702-6138155  | CPD-60 3105         | 129        | 77   | 17   | 4.53            | B3                    |
| 11355899-6135588  | UCAC4 143-084674    | 158        | 12   | 29   | 0.41            | B9                    |
| 11355995-6130266  | CPD-60 3110         | 131        | 48   | 30   | 1.60            | B7                    |
| 11360020-6139168  | CI* NGC 3766 MG 165 | 136        | 30   | 22   | 1.36            | B7                    |
| 11360075-6132227  | CPD-60 3106         | 112        | 58   | 25   | 2.32            | B5                    |
| 11360094-6134174  | CPD-60 3107         | 197        | 29   | 32   | 0.91            | B8                    |
| 11360197-6135381  | NGC 3766 4          | 133        | 16   | 25   | 0.64            | B9                    |
| 11360218-6137436  | NGC 3766 84         | 115        | 19   | 32   | 0.59            | B9                    |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>             | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|-----------------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11360340-6139153  | NGC 3766 91           | 157        | 59   | 27   | 2.19            | B6                    |
| 11360439-6133166  | Cl* NGC 3766 MG 34    | 113        | 29   | 36   | 0.81            | B8                    |
| 11360584-6137515  | CPD-60 3118           | 94         | 79   | 21   | 3.76            | B4                    |
| 11360642-6144220  | TYC 8972-103-1        | 102        | 96   | 26   | 3.69            | B4                    |
| 11360696-6136126  | Cl* NGC 3766 MG 91    | 180        | 12   | 26   | 0.46            | B9                    |
| 11360840-6137477  | NGC 3766 64           | 164        | 24   | 32   | 0.75            | B8                    |
| 11360874-6138129  | CPD-60 3121A          | 116        | 127  | 21   | 6.05            | B2                    |
| 11360899-6135217  | NGC 3766 25           | 126        | 93   | 23   | 4.04            | B3                    |
| 11360917-6131557  | CPD-60 3123           | 169        | 75   | 19   | 3.95            | B4                    |
| 11361009-6135471  | Cl* NGC 3766 MG 82    | 107        | 28   | 34   | 0.82            | B8                    |
| 11361076-6137211  | NGC 3766 62           | 117        | 18   | 30   | 0.60            | B9                    |
| 11361087-6136389  | NGC 3766 34           | 166        | 24   | 17   | 1.41            | B7                    |
| 11361105-6138286  | CPD-60 3130           | 100        | 103  | 21   | 4.90            | B3                    |
| 11361125-6133474  | NGC 3766 9            | 150        | 18   | 35   | 0.51            | B9                    |
| 11361192-6134238  | GES J11361192-6134238 | 97         | 20   | 36   | 0.56            | B9                    |
| 11361205-6135106  | CPD-60 3131           | 103        | 111  | 20   | 5.55            | B3                    |
| 11361213-6141186  | Cl* NGC 3766 MG 192   | 170        | 42   | 32   | 1.31            | B7                    |
| 11361440-6137247  | NGC 3766 66           | 147        | 45   | 21   | 2.14            | B6                    |
| 11361520-6135225  | Cl* NGC 3766 MG 68    | 111        | 48   | 26   | 1.85            | B6                    |
| 11361579-6140170  | [YSS2013] 739         | 145        | 10   | 29   | 0.34            | B9                    |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>           | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|---------------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11361580-6136081  | CPD-60 3135         | 96         | 78   | 23   | 3.39            | B4                    |
| 11361584-6130503  | CI* NGC 3766 MG 11  | 184        | 49   | 17   | 2.88            | B5                    |
| 11361814-6140422  | CPD-60 3139         | 113        | 60   | 22   | 2.73            | B5                    |
| 11361887-6137039  | CPD-60 3138         | 95         | 69   | 20   | 3.45            | B4                    |
| 11362069-6134595  | NGC 3766 19         | 159        | 21   | 22   | 0.95            | B8                    |
| 11362074-6133414  | NGC 3766 12         | 132        | 34   | 33   | 1.03            | B8                    |
| 11362102-6136585  | CPD-60 3143         | 130        | 88   | 17   | 5.18            | B3                    |
| 11362113-6141406  | CI* NGC 3766 MG 195 | 129        | 23   | 29   | 0.79            | B8                    |
| 11362165-6137382  | NGC 3766 54         | 165        | 77   | 24   | 3.21            | B4                    |
| 11362185-6136299  | CPD-60 3149         | 145        | 95   | 18   | 5.28            | B3                    |
| 11362194-6137286  | CPD-60 3144         | 98         | 90   | 22   | 4.09            | B3                    |
| 11362270-6133340  | NGC 3766 13         | 168        | 14   | 21   | 0.67            | B9                    |
| 11362324-6136405  | NGC 3766 38         | 158        | 52   | 16   | 3.25            | B4                    |
| 11362388-6138031  | NGC 3766 69         | 117        | 16   | 30   | 0.53            | B9                    |
| 11362552-6135191  | NGC 3766 18         | 113        | 48   | 28   | 1.71            | B6                    |
| 11362560-6136264  | NGC 3766 42         | 140        | 45   | 26   | 1.73            | B6                    |
| 11362593-6137192  | NGC 3766 51         | 115        | 22   | 30   | 0.73            | B8                    |
| 11362637-6135369  | CPD-60 3154         | 171        | 69   | 21   | 3.29            | B4                    |
| 11362686-6136108  | CI* NGC 3766 MG 90  | 183        | 47   | 13   | 3.62            | B4                    |
| 11362736-6135528  | NGC 3766 40         | 125        | 19   | 34   | 0.56            | B9                    |

| Coordenada       | ID                    | S/R | $W_{\lambda}(4471)$ [mÅ] | $W_{\lambda}(4481)$ [mÅ] | HeI/MgII | Tipo Espectral |
|------------------|-----------------------|-----|--------------------------|--------------------------|----------|----------------|
| 11362807-6139307 | NGC 3766 71           | 89  | 23                       | 36                       | 0.64     | B9             |
| 11362835-6139542 | HD 100943             | 380 | 66                       | 37                       | 1.78     | B6             |
| 11362960-6135140 | NGC 3766 17           | 130 | 11                       | 19                       | 0.58     | B9             |
| 11362968-6141356 | NGC 3766 231          | 90  | 26                       | 32                       | 0.81     | B8             |
| 11362991-6139470 | NGC 3766 233          | 122 | 35                       | 28                       | 1.25     | B7             |
| 11363014-6136477 | NGC 3766 43           | 117 | 21                       | 13                       | 1.62     | B7             |
| 11363069-6131131 | [YSS2013] 1604        | 98  | 13                       | 34                       | 0.38     | B9             |
| 11363156-6134255 | HD 306791             | 384 | 88                       | 24                       | 3.67     | B4             |
| 11363217-6136382 | CI* NGC 3766 MG 100   | 117 | 21                       | 26                       | 0.81     | B8             |
| 11363532-6136420 | GES J11363532-6136420 | 174 | 30                       | 16                       | 1.88     | B6             |
| 11363698-6138427 | NGC 3766 206          | 79  | 13                       | 38                       | 0.34     | B9             |
| 11363758-6141043 | CI* NGC 3766 MG 189   | 118 | 16                       | 31                       | 0.52     | B9             |
| 11363770-6133110 | CPD-60 3163           | 97  | 87                       | 15                       | 5.80     | B2.5           |
| 11363773-6139234 | NGC 3766 214          | 118 | 29                       | 31                       | 0.94     | B8             |
| 11363836-6134106 | CPD-60 3164           | 94  | 87                       | 19                       | 4.58     | B3             |
| 11363880-6138118 | NGC 3766 205          | 117 | 16                       | 28                       | 0.57     | B9             |
| 11364041-6134228 | CPD-60 3167           | 93  | 57                       | 18                       | 3.17     | B4             |
| 11364085-6127438 | HD 306786             | 125 | 15                       | 35                       | 0.43     | B9             |
| 11364144-6140580 | NGC 3766 221          | 93  | 26                       | 36                       | 0.72     | B8             |
| 11364164-6142221 | NGC 3766 229          | 139 | 14                       | 26                       | 0.54     | B9             |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>           | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|---------------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11364188-6137537  | CPD-60 3165         | 118        | 77   | 16   | 4.81            | B3                    |
| 11364218-6134321  | [YSS2013] 1278      | 75         | 13   | 47   | 0.28            | A0                    |
| 11364725-6137423  | CI* NGC 3766 MG 134 | 91         | 31   | 34   | 0.91            | B8                    |
| 11364831-6126419  | HD 306787           | 99         | 61   | 23   | 2.65            | B5                    |
| 11364862-6140100  | NGC 3766 213        | 161        | 52   | 29   | 1.79            | B6                    |
| 11364898-6138588  | CI* NGC 3766 MG 160 | 104        | 20   | 33   | 0.61            | B9                    |
| 11364931-6136210  | CPD-60 3174         | 108        | 99   | 21   | 4.71            | B3                    |
| 11365173-6134038  | NGC 3766 181        | 139        | 46   | 23   | 2.00            | B6                    |
| 11365496-6139392  | CPD-60 3177         | 152        | 60   | 20   | 3.00            | B4                    |
| 11365517-6126190  | [YSS2013] 2081      | 123        | 22   | 31   | 0.71            | B8                    |
| 11365637-6132085  | CI* NGC 3766 MG 23  | 138        | 22   | 34   | 0.65            | B9                    |
| 11365946-6135197  | [YSS2013] 1205      | 119        | 16   | 30   | 0.53            | B9                    |
| 11365947-6136502  | CPD-60 3180         | 107        | 109  | 20   | 5.45            | B2.5                  |
| 11365961-6138227  | NGC 3766 208        | 104        | 33   | 40   | 0.83            | B8                    |
| 11370403-6131554  | [YSS2013] 1543      | 155        | 47   | 21   | 2.24            | B5                    |
| 11370606-6131556  | HD 306790           | 199        | 105  | 19   | 5.53            | B3                    |
| 11370644-6134591  | [YSS2013] 1234      | 121        | 26   | 34   | 0.76            | B8                    |
| 11370663-6146346  | TYC 8972-313-1      | 93         | 41   | 31   | 1.32            | B7                    |
| 11371091-6139226  | HD 306800           | 103        | 114  | 16   | 7.13            | B2                    |
| 11371172-6138066  | UCAC4 142-079237    | 157        | 5  | 17   | 0.29            | A0                    |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>             | <b>S/R</b> | <b><math>W_{\lambda}(4471)</math> [mÅ]</b> | <b><math>W_{\lambda}(4481)</math> [mÅ]</b> | <b>HeI/MgII</b> | <b>Tipo Espectral</b> |
|-------------------|-----------------------|------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| 11371306-6133560  | UCAC4 143-085548      | 138        | 18   | 27   | 0.67            | B9                    |
| 11373817-6137183  | UCAC4 142-079398      | 79         | 72   | 22   | 3.27            | B4                    |
| 11373889-6137212  | GES J11373889-6137212 | 132        | 19   | 35   | 0.54            | B9                    |
| 11375188-6138438  | UCAC4 142-079492      | 93         | 87   | 18   | 4.83            | B3                    |
| 11375357-6138557  | HD 306801             | 66         | 69   | 26   | 2.65            | B5                    |
|                   |                       |            |  |  |                 |                       |

Fonte: A autora (2025).

## APÊNDICE D – CATÁLOGO COMPARAÇÃO COM DADOS DA LITERATURA

Tabela 6 – Comparação dos tipos espectrais deste trabalho com dados da literatura

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>   | <b>Tipo Objeto</b> | <b>Tipos Espectrais<br/>(Literatura)</b> | <b>Tipo Espectral<br/>(Este trabalho)</b> |
|-------------------|-------------|--------------------|--|---|
| 11345134-6137102  | HD 306656   | Pu                 | B5, B9                                   | B3  |
| 11352207-6132109  | HD 306793   | Be                 | B3, B7                                   | B2  |
| 11354709-6133379  | HD 100840   | *                  | B1, B7                                   | B4  |
| 11354857-6129192  | HD 306785   | *                  | B3, B6                                   | B2.5                                      |
| 11355225-6138075  | CPD-60 3098 | *                  | B1.5, B8                                 | B3  |
| 11355544-6136137  | HD 100856   | Be                 | B5                                       | B3  |
| 11360110-6137185  | CPD-60 3108 | Be                 | B2                                       | B3  |
| 11360825-6134194  | CPD-60 3120 | *                  | B4                                       | B4  |
| 11360936-6141415  | HD 306798   | Be                 | B3                                       | B3  |
| 11360959-6135382  | CPD-60 3125 | Be                 | B2                                       | B2.5                                      |
| 11361236-6132449  | CD-60 3626A | Be                 | B1, B4                                   | B1  |
| 11361591-6135016  | CPD-60 3134 | *                  | B2                                       | B2.5                                      |
| 11361832-6135424  | CPD-60 3137 | *                  | B2.5                                     | B3  |

| <b>Coordenada</b> | <b>ID</b>   | <b>Tipo Objeto</b> | <b>Tipos Espectrais<br/>(Literatura)</b> | <b>Tipo Espectral<br/>(Este trabalho)</b> |
|-------------------|-------------|--------------------|--|---|
| 11362110-6139034  | CD-60 3629  | *                  | B2                                       | B2.5                                      |
| 11362137-6135150  | CPD-60 3147 | *                  | B2                                       | B1.5                                      |
| 11364185-6131373  | HD 100969   | *                  | B2, B7                                   | B2.5                                      |
| 11365047-6140008  | HD 100989   | *                  | B3, B8                                   | B3  |
| 11354291-6140534  | HD 306796   | *                  | B9                                       | B3  |
| 11362102-6136585  | CPD-60 3143 | *                  | B1.5                                     | B3  |
| 11362185-6136299  | CPD-60 3149 | Be                 | B4                                       | B3  |
| 11362835-6139542  | HD 100943   | s*b                | B0, B5                                   | B6  |
| 11363156-6134255  | HD 306791   | Be                 | B2, B7                                   | B4  |
| 11364085-6127438  | HD 306786   | EB                 | A0                                       | B9  |
| 11364831-6126419  | HD 306787   | *                  | B9                                       | B5  |
| 11371091-6139226  | HD 306800   | *                  | B9                                       | B2  |

Fonte: A autora (2025).

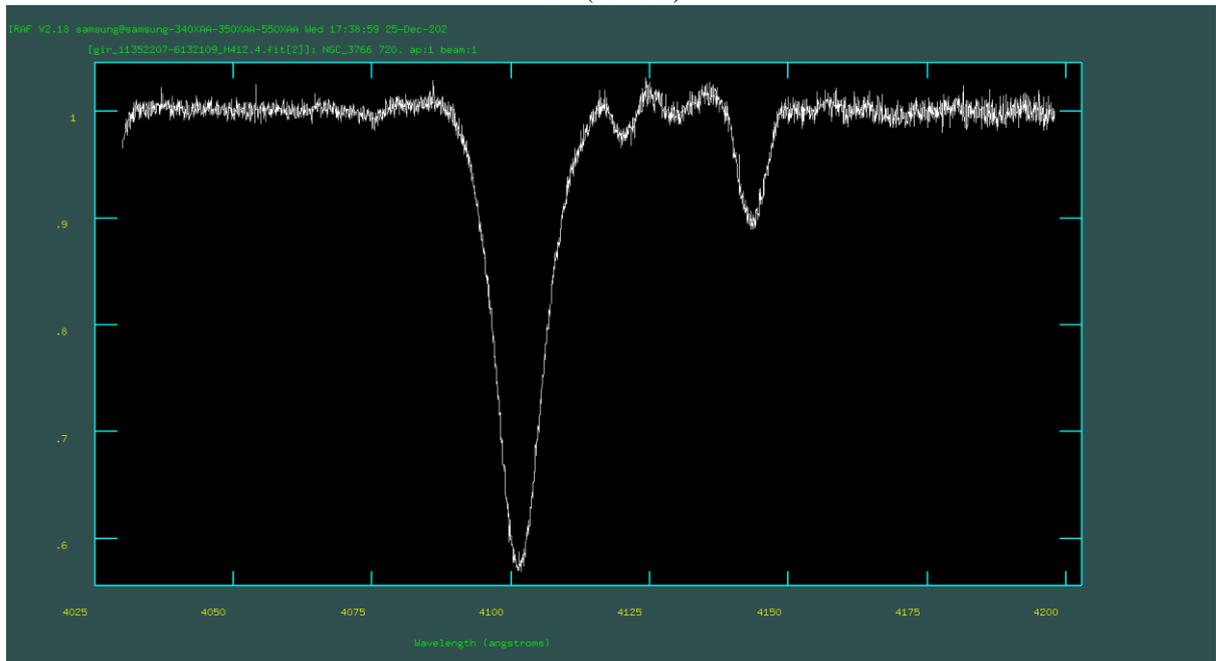
## APÊNDICE E – ESPECTROS DAS ESTRELAS HD 306793, HD 100840, HD 100943 e HD 101105

Neste apêndice, apresentamos espectros referentes a estrelas do aglomerado NGC 3766, que foram analisadas com mais cautela para confirmar dados publicados na literatura em comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

Para as estrelas HD 306793 e HD 100840, citadas no Capítulo 6.2, encontramos seus subtipos espectrais mais frios nas referências com uma forte discrepância ao seu subtipo espectral classificado nesta pesquisa. Os espectros dessas estrelas, no entanto, não são compatíveis com tipos espectrais mais frios, devido à presença de linhas de HeI e SiIII nos espectros observados.

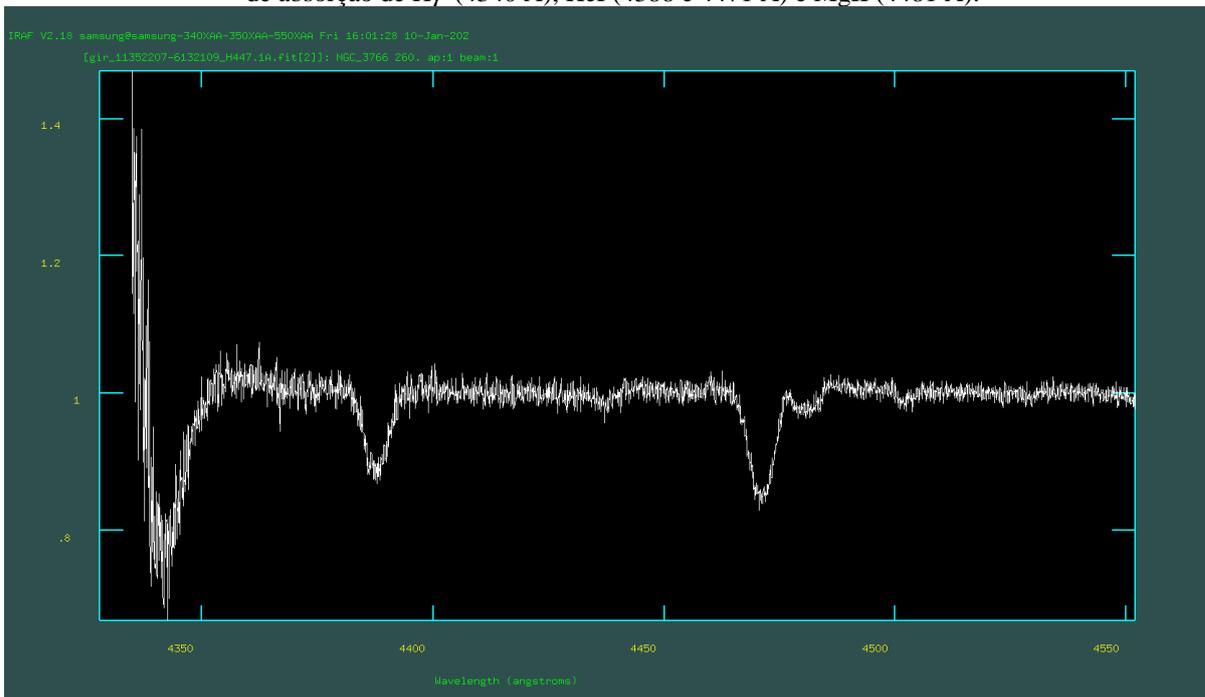
E para HD 100943 e HD 101105, comentadas no Capítulo 6.3, no diagrama cor-magnitude foram identificadas como estrelas supergigantes azuis.

Figura 41 – Espectro da estrela HD 306793 entre 4025 e 4200 Å. Perfil principal de linha deste espectro é o H $\delta$  (4101 Å).



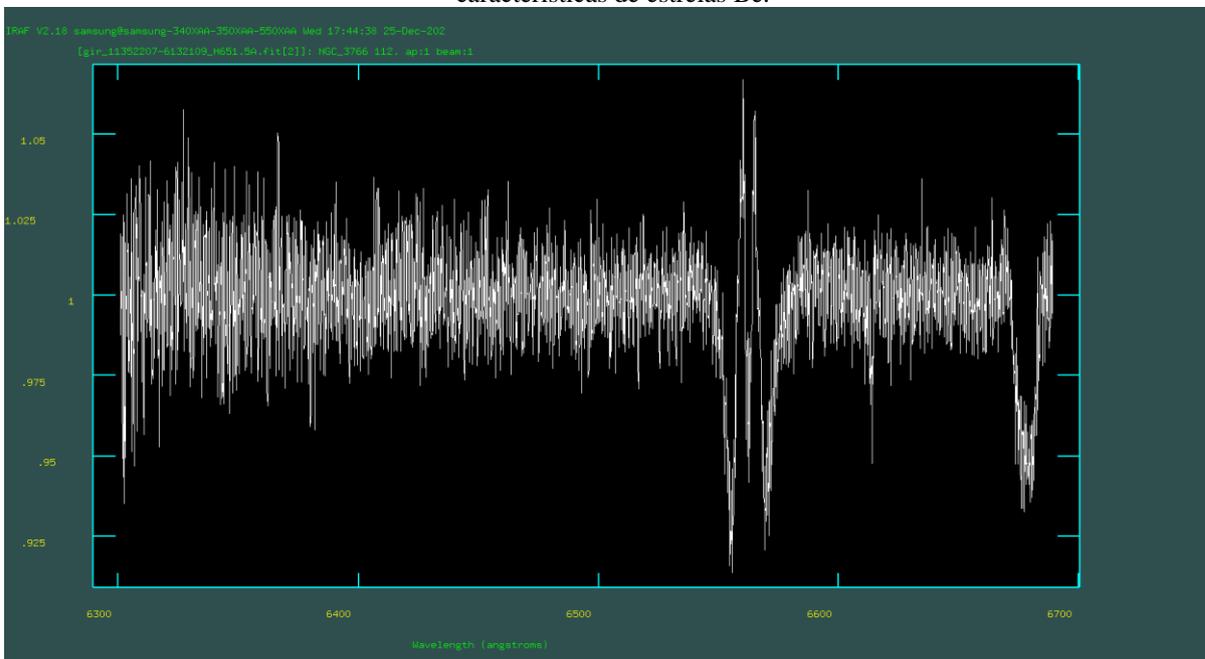
Fonte: A autora (2025).

Figura 42 – Espectro da estrela HD 306793 entre 4330 e 4550 Å. Observamos em sequência os perfis das linhas de absorção de H $\gamma$  (4340 Å), HeI (4388 e 4471 Å) e MgII (4481 Å).



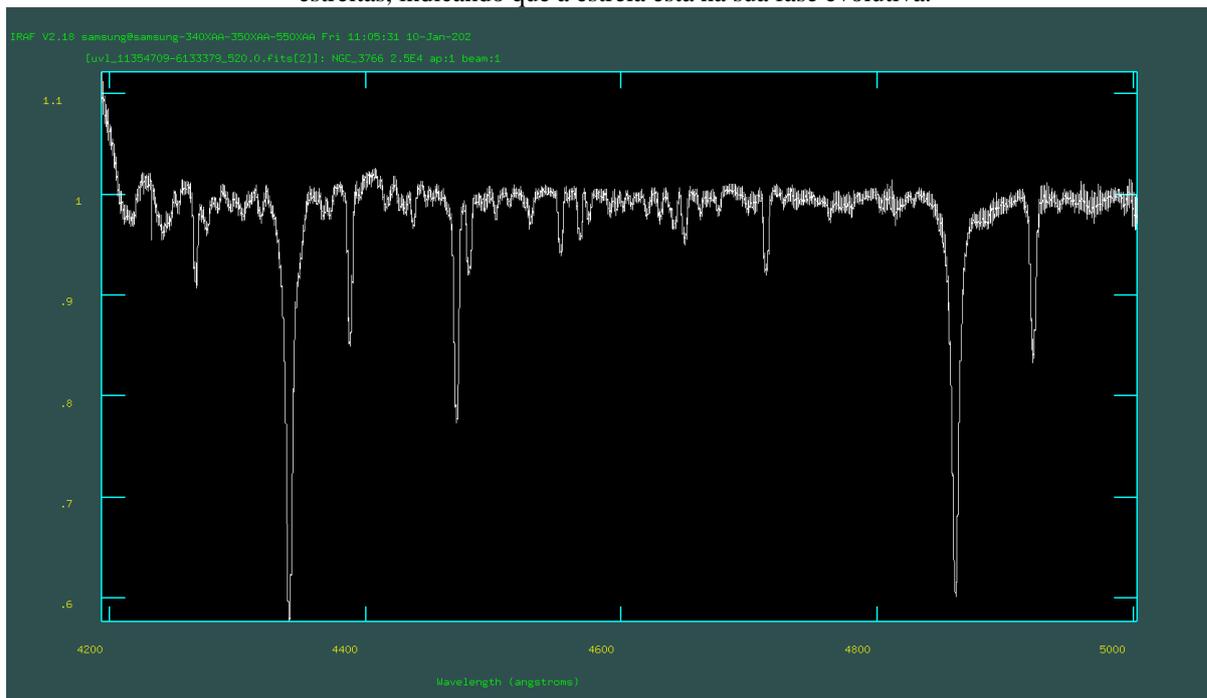
Fonte: A autora (2025).

Figura 43 – Espectro da estrela HD 306793 entre 6300 e 6700 Å. Em H $\alpha$  (6563 Å) observamos uma emissão, características de estrelas Be.



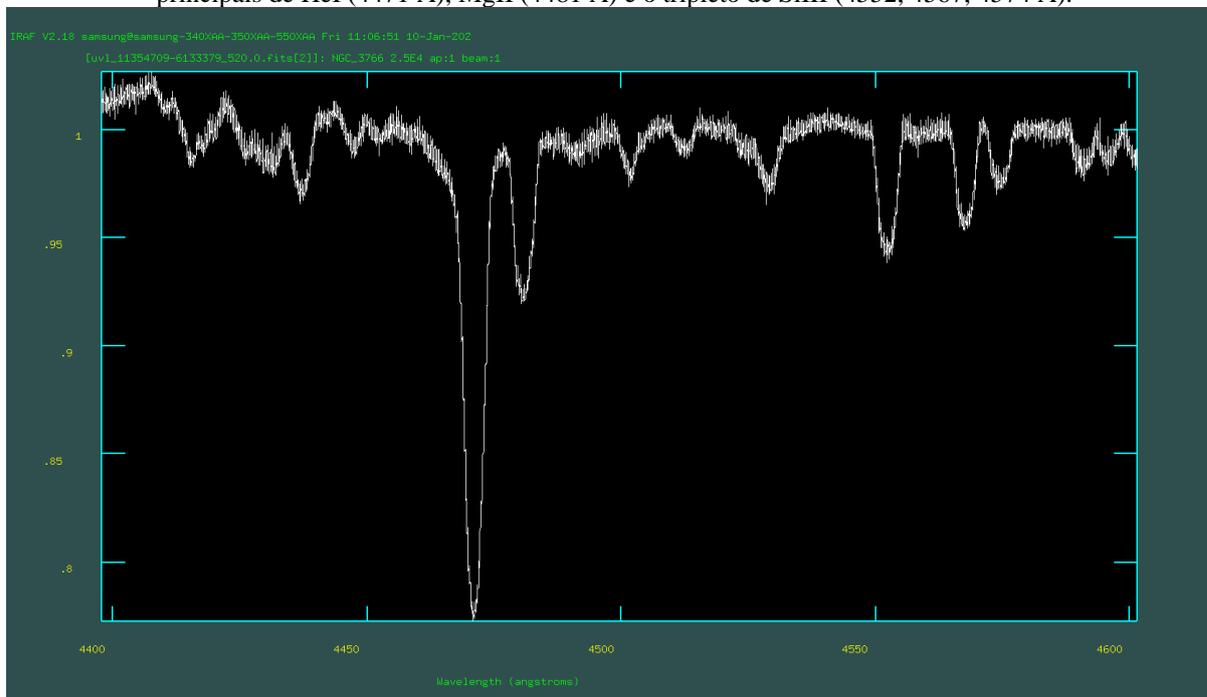
Fonte: A autora (2025).

Figura 44 – Espectro da estrela HD 100840 entre 4200 e 5000 Å. O espectro apresenta linhas de absorção estreitas, indicando que a estrela está na sua fase evolutiva.



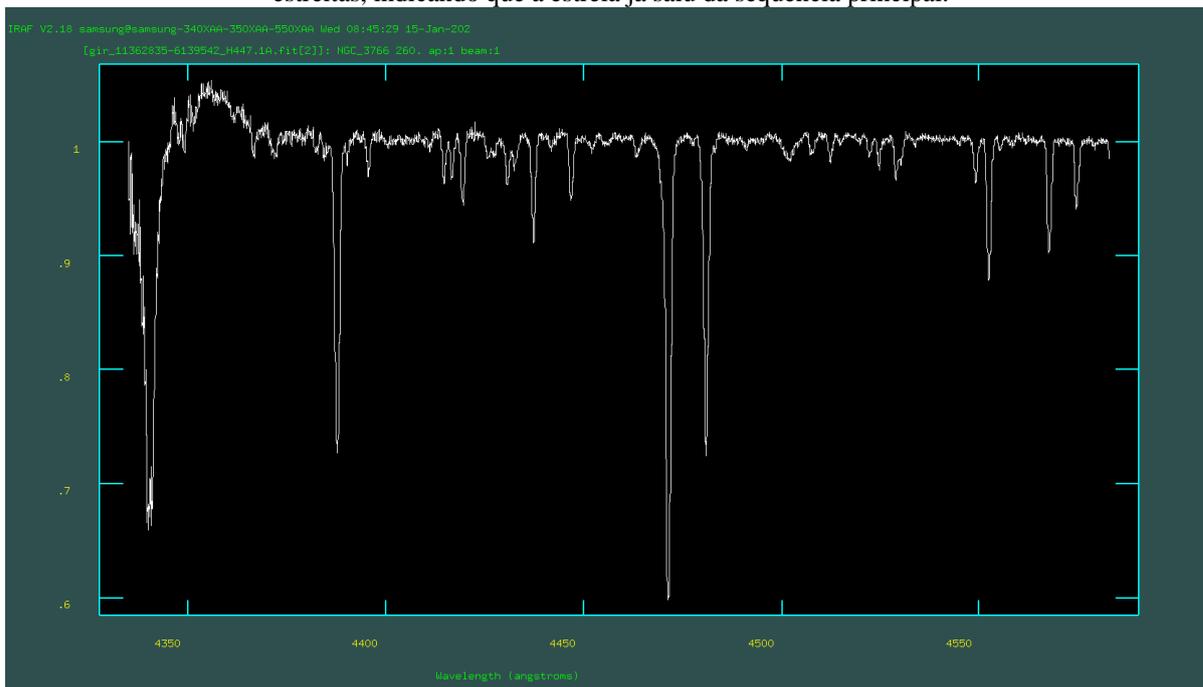
Fonte: A autora (2025).

Figura 45 – Espectro da estrela HD 100840 entre 4400 e 4600 Å. Observamos em sequência os perfis das linhas principais de HeI (4471 Å), MgII (4481 Å) e o tripleto de SiIII (4552, 4567, 4574 Å).



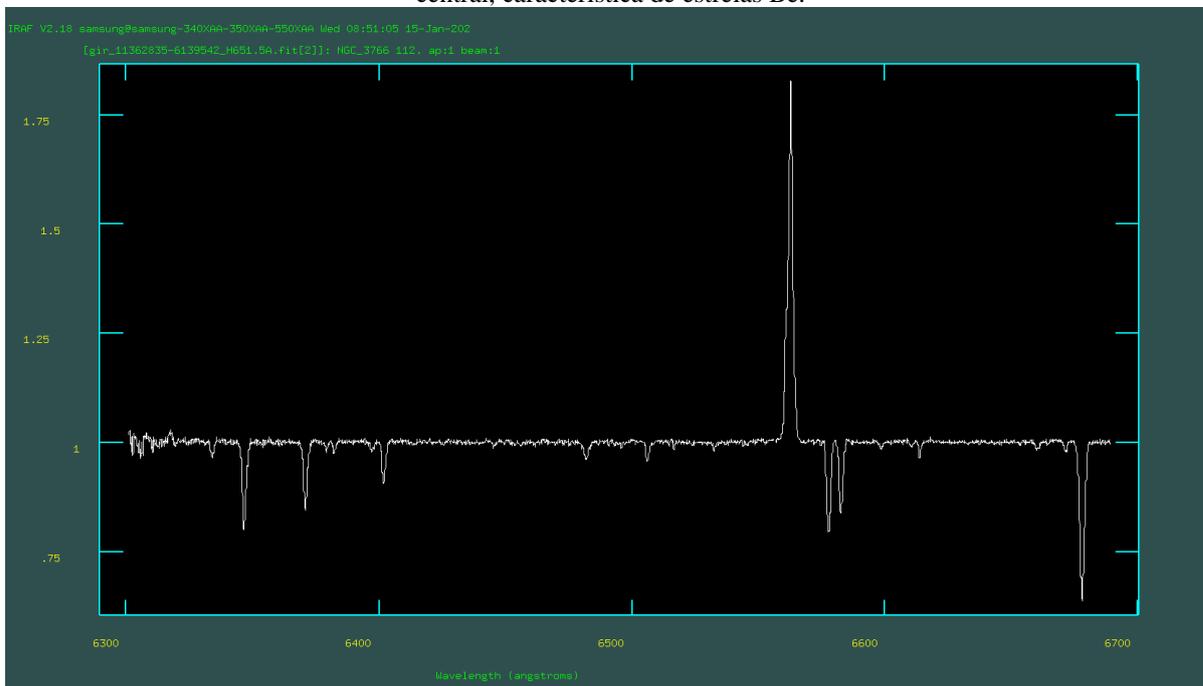
Fonte: A autora (2025).

Figura 46 – Espectro da estrela HD 100943 entre 4330 e 4600 Å. O espectro apresenta linhas de absorção estreitas, indicando que a estrela já saiu da sequência principal.



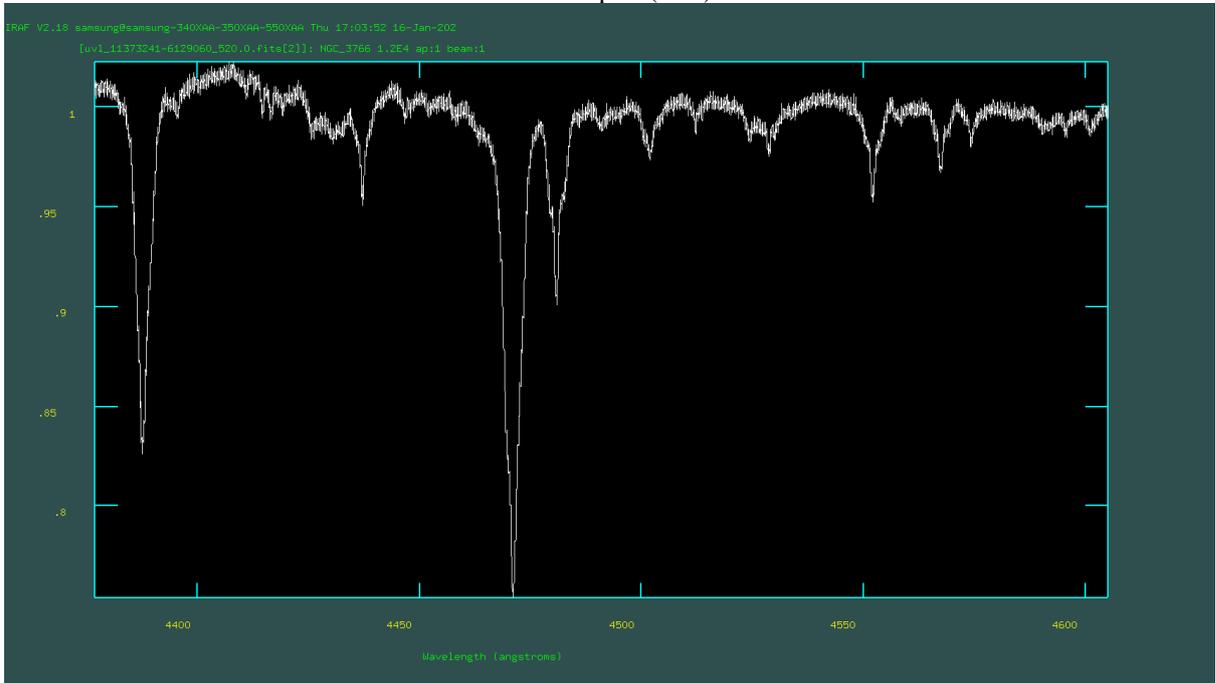
Fonte: A autora (2025)

Figura 47 – Espectro da estrela HD 100943 entre 6300 e 6700 Å. Em  $H\alpha$  (6563 Å) observamos uma emissão central, característica de estrelas Be.



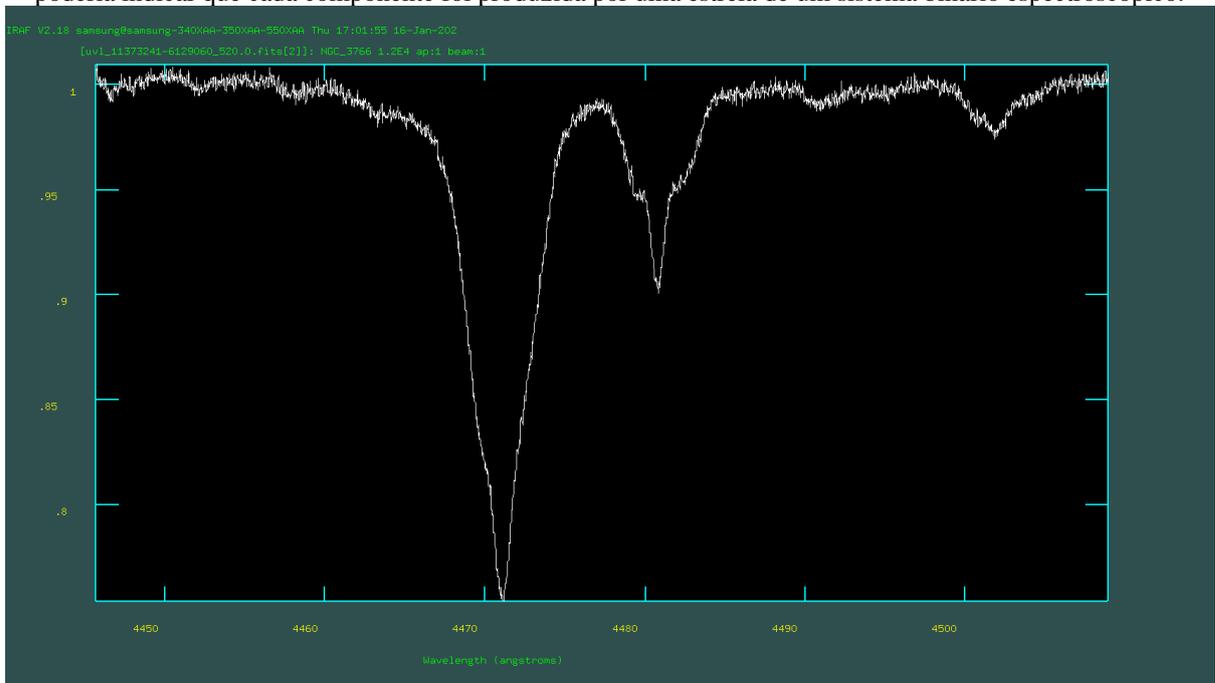
Fonte: A autora (2025).

Figura 48 – Espectro da estrela HD 101105 entre 4400 e 4600 Å. Observamos em seqüência os perfis das linhas principais de HeI (4388 Å), HeI (4471 Å), MgII (4481 Å) e o tripleto de SiIII (4552, 4567, 4574 Å). Todos os perfis aparentam ter duas componentes, sendo uma componente mais larga e uma componente central mais estreita, que podem representar as linhas de um espectro composto de um sistema binário espectroscópico de linhas duplas (SB2).



Fonte: A autora (2025).

Figura 49 – Detalhe do espectro da estrela HD 101105 entre 4450 e 4500 Å. Em MgII (4481 Å), observamos que o perfil de linha tem uma componente mais alargada e uma componente estreita na região central, o que poderia indicar que cada componente foi produzida por uma estrela de um sistema binário espectroscópico.



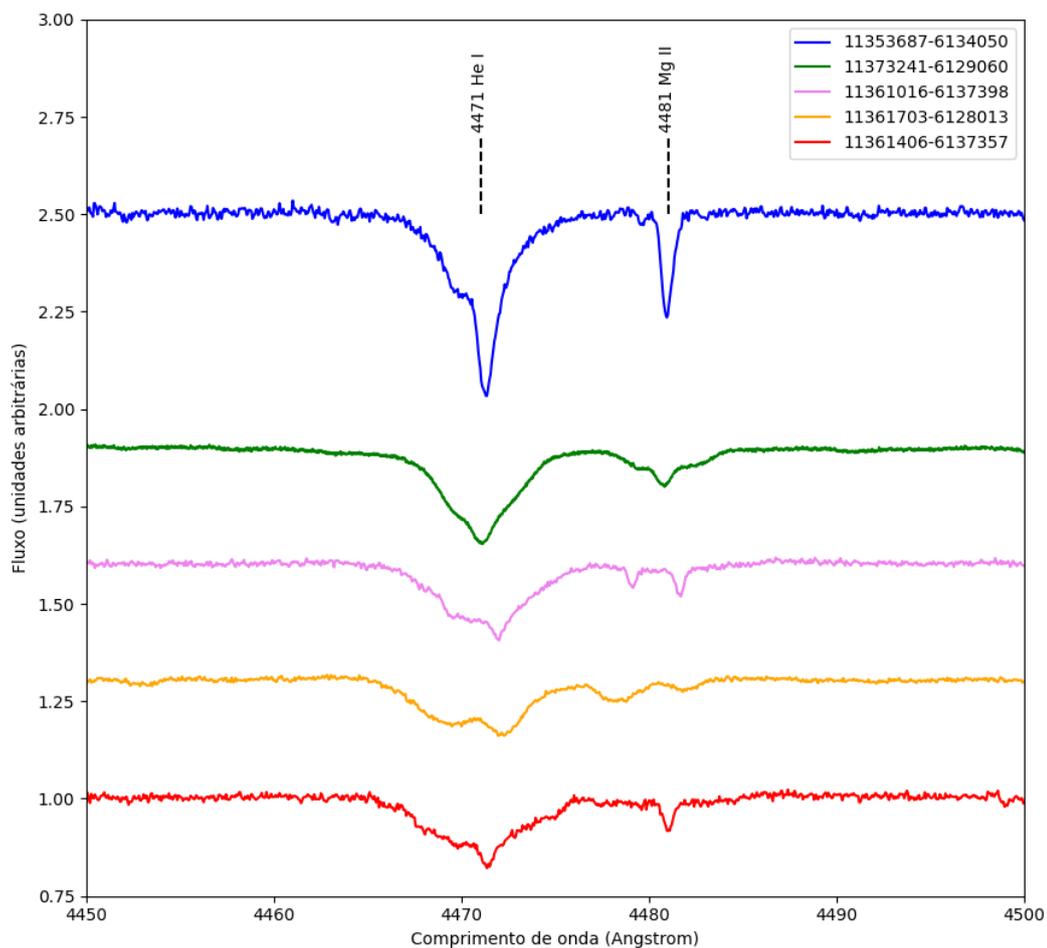
Fonte: A autora (2025).

## APÊNDICE F – SISTEMAS BINÁRIOS DE NGC 3766

A seguir, apresentamos os espectros de estrelas do aglomerado NGC 3766 identificadas como sistemas binários neste trabalho. Esses sistemas são classificados em duas categorias principais: sistema binário de linha espectral simples (SB1), onde apenas uma das estrelas tem suas linhas espectrais visíveis; e sistema binário espectroscópico de linha dupla (SB2), em que as linhas espectrais de ambas as estrelas são detectáveis.

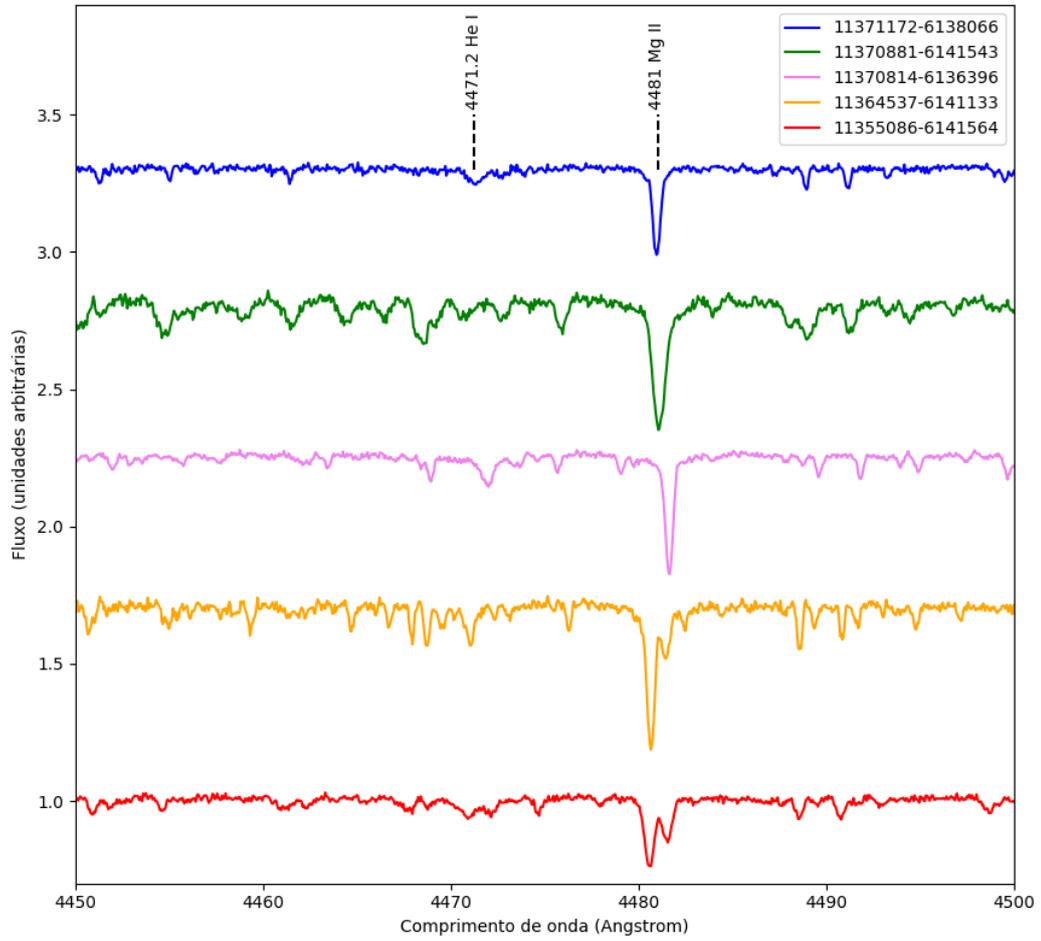
Para fins comparativos, incluímos o espectro de uma estrela isolada, representada sempre pela cor **azul** nas figuras, permitindo observar as diferenças entre o espectro de uma única estrela e o espectro característico de sistema binário.

Figura 50 – Espectros de SB2 identificadas em HeI

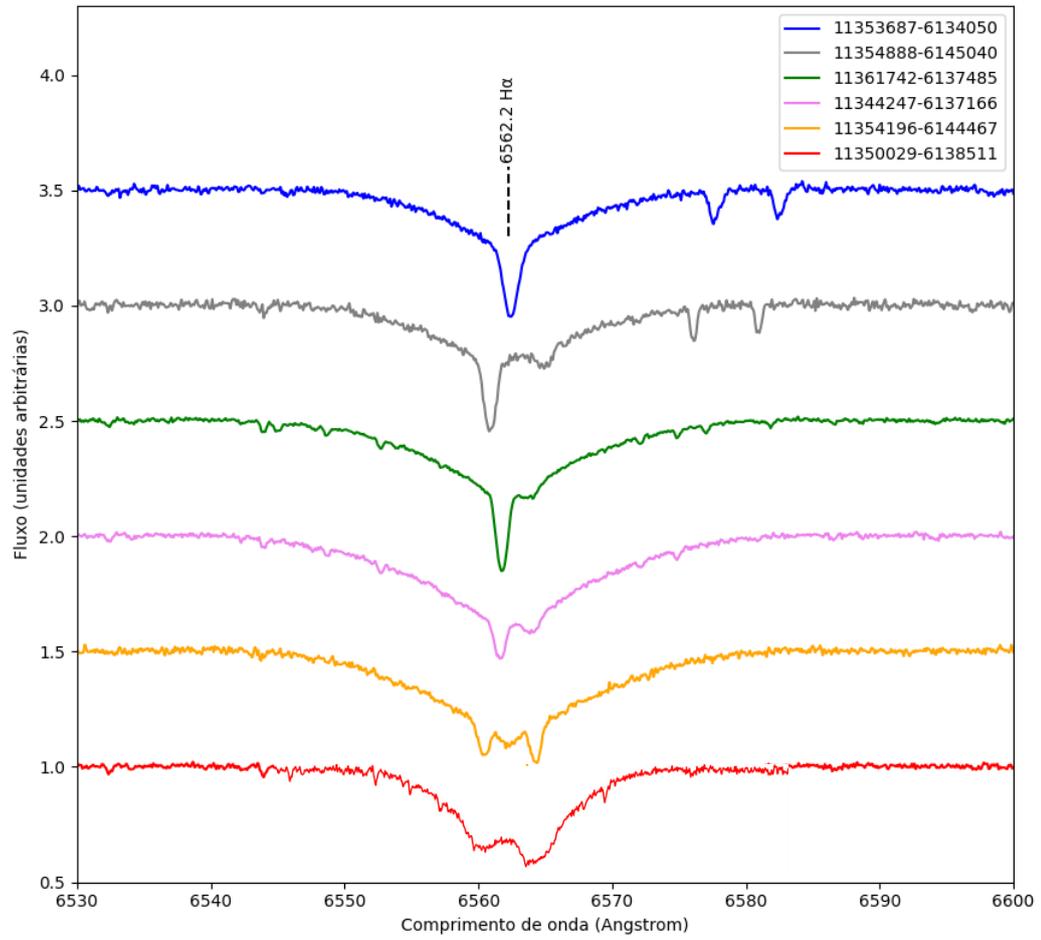


Fonte: A autora (2025).

Figura 51 – Espectros de SB2 com tipos espectrais mais frios. Note a ausência da linha de He I a 4471 Å.

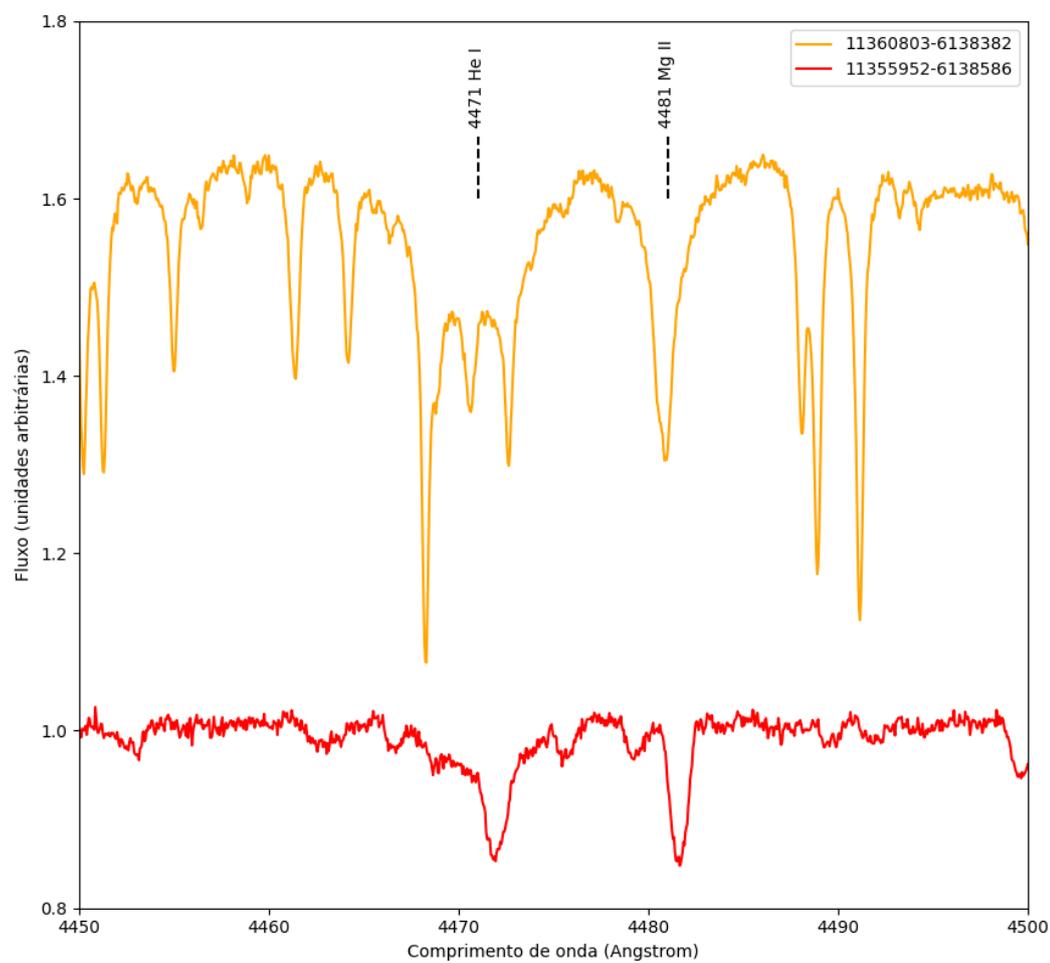


Fonte: A autora (2025).

Figura 52 – Espectros de SB2 identificadas em H $\alpha$ 

Fonte: A autora (2025).

Figura 53 – Espectros peculiares com indício de binaridade



Fonte: A autora (2025).