

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

Pedro Ticiani dos Santos

Contextualização Espectroscópica de uma amostra de estrelas Be observadas pelo TESS

São Paulo

2020

Pedro Ticiani dos Santos

Contextualização Espectroscópica de uma amostra de estrelas Be observadas pelo TESS

Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Astronomia.

Área de Concentração: Pesquisa Básica

Orientador: Prof. Dr. Alex Cavaliéri Carciofi

São Paulo

2020

*Dedico este trabalho aos meus pais, Flávia e Eduardo,
e também às duas mulheres mais especiais da minha vida.*

Minha irmã Vitoria, e minha namorada Natalia.

Obrigado por me trazerem luz.

Agradecimentos

Gostaria de iniciar estes agradecimentos a duas pessoas, que considero essenciais em minha vida. Eduardo e Flavia, obrigado por proverem amor desde meu nascimento. O seu apoio diário fez a diferença na construção deste trabalho. À minha irmã Vitoria, deixo gravado nesta seção o quanto seu carinho e exemplo influenciaram no meu caminho. Ao meu amor, Natalia Tiliacki, aproveito-me deste momento para relembrar a você que sempre será meu porto-seguro, e agradeço pela quantidade de vezes em que me fez enxergar que tudo é possível.

Ao meu querido orientador, Alex Cavaliéri Carciofi, agradeço profundamente todo o conhecimento transmitido não só a mim, mas a todos do nosso grupo. O senhor, nos últimos dois anos, não foi apenas um orientador, mas também um grande amigo disposto a me ouvir e acalmar nas adversidades.

Ao Dr. Jonathan Labadie-Bartz, agradeço os momentos de discussão e principalmente por ter sido um dos arquitetos deste projeto, juntamente com o Alex.

Aos colegas: Alexandre Henriques, Luciana Dourado, Guilherme Limberg, Rodrigo Schmidt, Melissa D. Andrade e Kethelin Parra Ramos dedico o meu apreço por terem sido cruciais no meu desenvolvimento acadêmico. Muitíssimo obrigado aos demais colegas do Instituto.

À FAPESP, agradeço o imenso apoio financeiro, sob o processo de nº: 2020/04445-0.

“No self is of itself alone. It has a long chain of intellectual ancestors. The “I” is chained to ancestry by many factors... This is not mere allegory, but an eternal memory.”

Erwin Schrödinger

“The mathematician plays a game in which he himself invents the rules while the physicist plays a game in which the rules are provided by nature, but as time goes on it becomes increasingly evident that the rules which the mathematician finds interesting are the same as those which nature has chosen”

Paul A. M. Dirac

“Let us fight for a world of reason. A world where science and progress will lead to all men’s happiness”

Charles Chaplin, como na obra *The Great Dictator*

Resumo

As estrelas Be clássicas são objetos de tipo espectral B que possuem (ou já possuíram em algum momento) linhas de emissão da série de Balmer em seu espectro, devido a um disco de decréscimo viscoso ejetado pela própria estrela por um mecanismo ainda incerto, que se estabelece no plano equatorial da estrela em uma órbita tipicamente Kepleriana. O fenômeno Be é fortemente relacionado às altas rotações das estrelas Be, que possuem taxas de rotação próximas ao limite crítico. As estrelas Be clássicas estão majoritariamente na sequência principal, com o restante dos objetos detectados sendo gigantes ou subgigantes. Devido à variabilidade intrínseca desta classe de estrelas, este Trabalho teve como objetivo principal implementar a busca entre diferentes bancos de dados de múltiplas observações espectroscópicas de uma amostra de 553 estrelas que foram observadas por fotometria pelo satélite espacial TESS no hemisfério sul, e de 50 estrelas no hemisfério norte, para que o histórico de perda de massa, e, por conseguinte, a evolução dinâmica do disco pudessem ser bem compreendidos, buscando a contextualização dinâmica da amostra.

A organização dos objetos foi introduzida pela idealização de três principais grupos, dependentes da quantidade de espectros disponíveis, sua qualidade e proximidade das datas de observação do TESS. Com isso, identificaram-se estrelas com nenhum dado disponível (grupo 1), estrelas com dados esparsos (grupo 2), e estrelas com uma boa quantidade de dados (grupo 3). As estrelas do grupo 3 foram analisadas cuidadosamente, buscando identificar objetos cujo contexto dinâmico permite um estudo mais aprofundado através de modelos teóricos já existentes. Algumas destas estrelas serão usadas em um artigo que reportará modelos teóricos da evolução temporal das características espectroscópicas de estrelas Be. Outras estrelas serão usadas em publicações futuras envolvendo os dados TESS. Em suma, os objetivos foram integralmente cumpridos, e novas perspectivas surgiram para

um melhor desenvolvimento futuro da pesquisa.

Abstract

Classical Be stars are B spectral type stars that have (or already had in some moment) Balmer emission lines in their spectrum, due to a viscous decretion disk ejected by the star itself in a still uncertain mechanism, that settles in the equatorial plane of the star, typically with Keplerian orbital velocities. The Be phenomenon is strongly connected to the high rotational velocity of Be stars, which have rates near the critical limit. Classical Be stars are mostly in the main sequence, with the remaining of the detected objects so far being giants or subgiants. Owing to the intrinsic variability of this stellar class, this present Graduation Monograph had, as its main objective, to search in different databases of multiple spectroscopic observations for a sample of 553 stars that were photometrically observed by the space satellite TESS in the southern hemisphere, and 50 stars in the northern hemisphere, so the mass loss rate history, and, therefore, the dynamical evolution of the disk are well understood, seeking the dynamical contextualization of this sample.

To organize the sample, three main groups were idealized, dependent of the quantity, quality and proximity of the observation dates of TESS. Then, it was identified objects with no data available at all, stars with sparse observations, and stars with a good number of data. The stars from the third group were carefully analyzed, looking for objects whose dynamical context allows a deeper study through existent theoretical models. Some of these stars are going to be used in a paper that will report theoretical models of the temporal evolution of spectroscopic characteristics of Be stars. Other objects will be used in future publications involving TESS data. In short, the objectives were fully accomplished, and new perspectives arose for a better developing of the research in the future.

Lista de Figuras

1.1	Curvas de luz do TESS e periodogramas Lomb-Scargle associados de alguns alvos Be.	22
2.1	Exemplo dos perfis de linha $H\alpha$ para a estrela Be HD 44783.	28
2.2	Exemplo dos perfis de linha Fe II ($\lambda 5317$) para a estrela Be HD 44783. . . .	29
2.3	Exemplo do <i>layout</i> do banco de dados BeSS.	30
2.4	Exemplo da interface na busca pela estrela Be OT Gem.	30
4.1	Perfis $H\alpha$ da estrela Be 228 Eri.	37
4.2	Perfis $H\alpha$ da estrela Be HD 51506.	38
4.3	Perfis $H\alpha$ da estrela Be QR Vul.	39
4.4	Perfis $H\alpha$ da estrela Be QR Vul com zoom no primeiro ciclo observado entre 2010 e 2013.	40
4.5	Perfis $H\alpha$ da estrela Be QR Vul com zoom no segundo ciclo observado entre 2016 e 2019.	41
4.6	Perfis $H\alpha$ da estrela Be QR Vul próximos à época de observação do alvo pelo TESS.	41
4.7	Perfis $H\alpha$ da estrela Be ν Gem.	42
G.1	Divisão setorial do céu para o ano 1 da missão TESS, contendo os setores 1 a 13.	82
G.2	Divisão setorial do céu para o ano 2 da missão TESS, contendo os setores 14 a 26.	82
G.3	Divisão setorial do céu para o ano 3 da missão TESS, contendo os setores 27 a 39.	83

G.4 Divisão setorial do céu para o ano 4 da missão TESS, contendo os setores
40 a 55. 83

Lista de Tabelas

3.1	Resultados da classificação das estrelas do sul da amostra, nos três grupos definidos.	34
3.2	Resultados da classificação das estrelas do norte da amostra, nos três grupos definidos.	34
A.1	Resultados para 553 estrelas Be da amostra, presentes no hemisfério sul (anos 1 e 3 do TESS) a respeito da existência de observações espectroscópicas.	49
B.1	Resultados para as 50 estrelas Be do segundo ano do TESS a respeito da existência de observações espectroscópicas.	69
C.1	Estrelas Be com eventos de construção de disco.	73
D.1	Estrelas Be com eventos de dissipação de disco.	75
E.1	Estrelas Be com eventos isolados de disco.	77
F.1	Estrelas Be com discos estacionários.	79

Sumário

1. Introdução	19
1.1 Objetivos	22
2. Materiais e Métodos	25
2.1 Bancos de Dados e ferramentas de programação	25
2.2 Desenvolvimento do script em Python3	26
2.3 Busca, Leitura e Classificação visual dos objetos nos 3 Grupos	29
3. Visão geral da amostra	33
4. Contextualização dinâmica dos melhores casos	35
4.1 Eventos de construção e/ou aumento do disco	36
4.2 Eventos nítidos de dissipação de disco	37
4.3 Eventos isolados de disco	38
4.4 Estrelas Be com discos estacionários	42
5. Conclusões	43
Referências	45
Apêndice	47
A. Tabela de estrelas Be do hemisfério sul.	49
B. Tabela de estrelas Be do hemisfério norte.	69

<i>C. Estrelas Be com eventos de construção de disco.</i>	<i>73</i>
<i>D. Estrelas Be com eventos de dissipação de disco.</i>	<i>75</i>
<i>E. Estrelas Be com eventos isolados de disco.</i>	<i>77</i>
<i>F. Estrelas Be com discos estacionários.</i>	<i>79</i>
<i>G. Plano de observação do céu pelo satélite TESS.</i>	<i>81</i>

Introdução

Estrelas Be clássicas são objetos peculiares, que apresentam um fenômeno ainda não desvendado por completo desde a sua primeira descoberta, há mais de 150 anos, pelo astrônomo Angelo Secchi (Secchi 1867). No entanto, nas últimas décadas, a linha de pesquisa para esta classe de estrelas foi capaz de gerar concordância a respeito das suas propriedades físicas. Atualmente, existe uma definição estreita do que são estes objetos. Estrelas Be clássicas são estrelas de tipo espectral B, não supergigantes, com uma rotação próxima do limite crítico, que possuem (ou já possuíram em algum momento) linhas de emissão no seu espectro devido a um disco viscoso de decréscimo ejetado por um mecanismo cuja natureza exata ainda está em debate (Rivinius et al. 2013). Esta definição as separa de outros objetos que antigamente eram classificados como Be, devido à emissão no espectro, mas por outras razões que não fossem o disco gasoso de decréscimo. Por causa de sua idiossincrasia (estrelas majoritariamente da sequência principal que possuem alta rotação e perdem massa ativamente), estas estrelas são laboratórios astrofísicos excelentes para estudarmos os efeitos da rotação quase crítica¹ na evolução estelar. Além disso, elas oferecem a oportunidade de estudar como os discos são formados e estruturados. A atual teoria que explica o funcionamento dos discos de uma estrela Be, o chamado modelo VDD (do inglês *Viscous Decretion Disk*), tem recebido forte apoio teórico e observacional durante a última década, principalmente através de pesquisa desenvolvida no IAG/USP pelo grupo do professor A. Carciofi. O modelo foi primeiro exposto em Lee et al. 1991.

Devido a sua rotação, próxima do limite crítico (onde a resultante centrífuga equilibra

¹ O parâmetro que melhor define a rotação estelar é $W = \frac{v_{rot}}{v_{orb}}$, onde v_{rot} se refere à velocidade de rotação no equador estelar, e v_{orb} à velocidade orbital circular Kepleriana no equador estelar (Rivinius et al. 2013). Em objetos Be, este parâmetro pode atingir valores muito altos, comumente maiores que 0.5.

parcialmente a gravidade da estrela), estrelas Be são achatadas, deixando o equador estelar com gravidade superficial mais fraca. Como resultado, o material equatorial se torna menos ligado à estrela. No entanto, isto por si só não explica os episódios de ejeção de massa comumente observados nestas estrelas, e que são responsáveis pela formação do disco (Townsend et al. 2004, Labadie-Bartz et al. 2018). Consideradas estrelas pulsantes, Briot 2004 argumenta de que existem modos de pulsação radiais e não-radiais, levando a instabilidades que podem permitir transferências tanto de massa quanto de momento angular da estrela para o disco.

Outra característica diferenciada das estrelas Be se refere a variabilidade fotométrica, observada em uma larga gama de escalas de tempo, variando de horas até décadas. Variabilidade a curto prazo é geralmente associada a eventos fotosféricos (pulsação, eventos de perda de massa), enquanto que escalas de tempo maiores estão relacionadas com processos acontecendo no disco, como a sua formação/dissipação (Haubois et al. 2012), interações binárias (Panoglou et al. 2016) e oscilações globais de densidade (Carciofi et al. 2009).

Atualmente, um levantamento de dados espaciais em andamento através do satélite TESS (NASA 2018a) promete revolucionar nosso entendimento do fenômeno Be ao prover com precisão muito alta (50 ppm), observações fotométricas de alta cadência (2 ou 30 minutos) de um grande número de objetos. O Dr. Jonathan Labadie-Bartz identificou mais de 1300 estrelas Be que vão ser observadas pelo TESS até o final do levantamento. Originalmente, foi planejada pela NASA a divisão do céu a ser observado em 26 seções que serão visitadas por pelo menos um mês cada, em uma configuração de dois anos, sendo cada um dedicado a um hemisfério celeste. No entanto, a missão foi renovada: com o segundo ano, dedicado ao hemisfério norte, concluído em julho de 2020, ainda teremos observações por mais 2 anos, com algumas mudanças na estrutura de divisão dos setores (Ver Apêndice G). Independentemente destes detalhes operacionais, ao final do quarto ano do TESS teremos uma base de dados absolutamente inédita de uma grande amostra de estrelas Be, que vão nutrir este campo pelos próximos anos ou mesmo décadas.

A fotometria já contribuiu de forma muito importante para o nosso conhecimento dos discos de estrelas Be e de seus ciclos de vida (Haubois et al. 2012; Rímulo et al. 2018; Ghoreyshi et al. 2018). A fotometria espacial, livre de interferências atmosféricas, já foi capaz de provar que a pulsação, por exemplo, é onipresente entre as estrelas Be, como mostrado em Rivinius et al. (2003). Devido à banda utilizada no TESS de 6000 a 10000Å,

episódios de ejeção de massa podem ser identificados através de eventos de aumento no brilho, juntamente à detecção de fenômenos de pulsação existentes na estrela através da análise das frequências obtidas pelo Método de Fourier.

Uma descoberta marcante para o estudo da classe Be, evidenciada no mais recente artigo do grupo no qual o autor do Trabalho de Graduação possui participação (Labadie-Bartz et al. 2020), foi que dentre todas estrelas Be no primeiro ano de observação do TESS que apresentaram episódios de aumento no brilho, característicos da ejeção de matéria, este evento esteve sempre associado à existência de ao menos um grupo de frequências associados à curva de luz. Além disso, na maioria dos casos (83%) houve também aumento na amplitude destas frequências. Ou seja, há evidências fortes de que toda formação de disco é altamente influenciada não apenas pela rotação, mas também por modos de pulsação não radiais da estrela.

Os dados da fotometria da missão TESS estão sendo utilizados pelo nosso grupo para estudar a variabilidade de mais de 1000 estrelas Be, permitindo a extração de informação a respeito das propriedades pulsacionais, dos episódios de ejeção de massa, e também da variabilidade no ambiente circunstelar. A Figura 1.1 mostra curvas de luz do TESS para seis exemplos desta amostra, destacando diferentes peculiaridades características da amostra, a saber: existência de grupos de frequência, variabilidade estocástica e frequências isoladas.

Neste contexto de uma amostra rica e inédita, torna-se importante fazer um levantamento de dados espectroscópicos das estrelas visto que espectros são capazes de prover informação a respeito do ângulo de inclinação, tipo espectral, o estado atual do disco e o histórico de cada estrela. A combinação destes conjuntos de dados espectroscópicos e fotométricos possuem portanto forte sinergia, e a análise conjunta amplifica consideravelmente o valor científico desta pesquisa. Além disso, a maior deficiência do levantamento TESS é que a maioria dos alvos será observada por apenas um mês, o que corresponde a um período curto demais quando comparado com as escalas de tempo típicas em que estrelas Be variam. Uma contextualização da história de cada estrela é necessária, e isto só pode ser realizado ao analisarmos observações espectroscópicas de arquivo ou na literatura, tanto anteriores quanto subsequentes. É nítido que, quanto mais soubermos do histórico de uma dada estrela Be, mais seremos capazes de contextualizar as observações fotométricas do TESS.

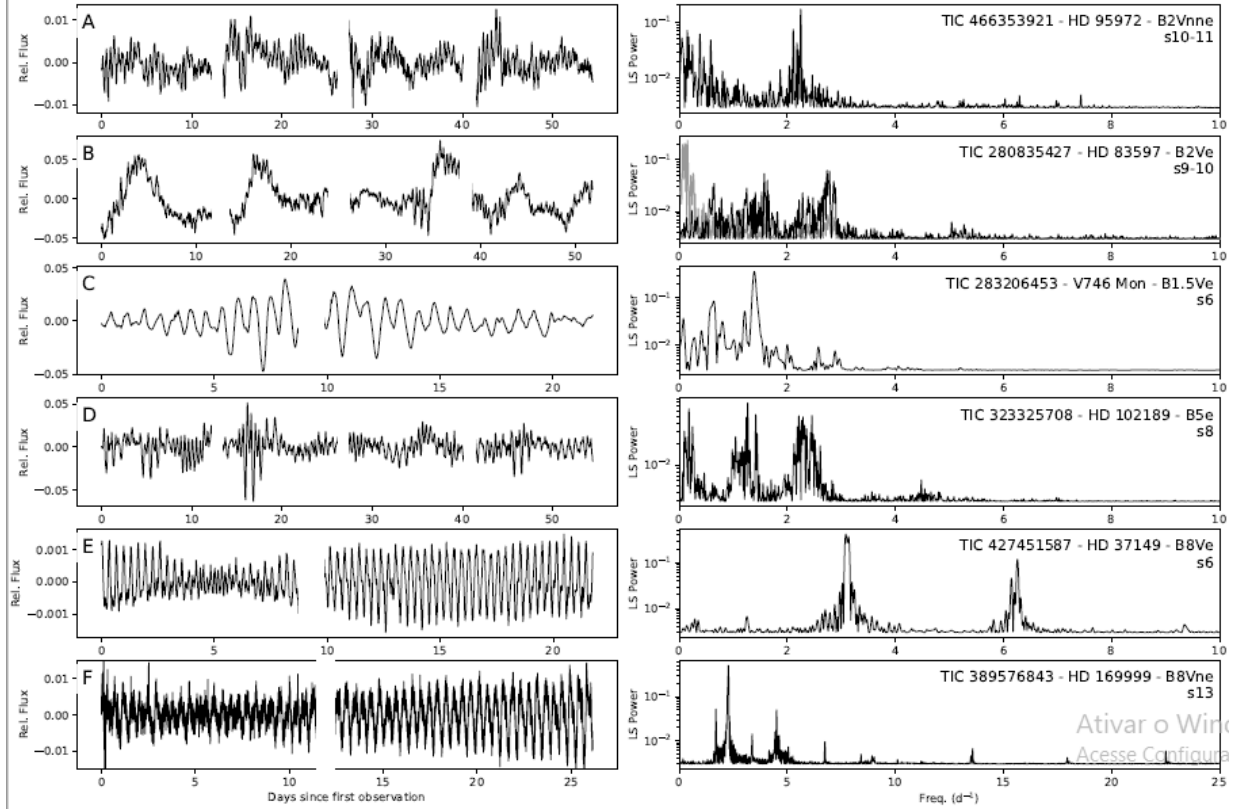


Figura 1.1: Curvas de luz do TESS (esquerda) e periodogramas Lomb-Scargle (direita) para uma seleção representativa de estrelas Be que apresentam certas peculiaridades características, como descrito no recentemente submetido artigo do qual o aluno é um co-autor (Labadie-Bartz et al. 2020). Para o painel B, o periodograma foi re-calculado após remoção de baixas frequências ($< 0.5 \text{ d}^{-1}$), que estão em coloração cinza claro. O eixo das frequências do periodograma do painel F está estendido para inclusão de frequências maiores. Sinais provenientes de frequências maiores que 10 d^{-1} não estão presentes nas outras estrelas apresentadas aqui. O número de identificação TESS, o nome usual, tipo espectral, e setores do TESS de cada alvo estão impressas nos periodogramas.

1.1 Objetivos

A proposta deste trabalho foi buscar na literatura todo e qualquer espectro existente para cada estrela Be para uma amostra de 553 estrelas do hemisfério sul e 50 do hemisfério norte, utilizando grandes bancos de dados *online* como o BeSS². Com isto, espera-se agregar valor científico aos dados do TESS ao prover um contexto evolutivo-dinâmico dos discos, dentro do qual as observações TESS se inserem.

Inicialmente, a análise se estendeu para três importantes linhas espectrais para o estudo

² Como créditos solicitados pelo banco, insiro a seguinte sentença: "This work has made use of the BeSS database, operated at LESIA, Observatoire de Meudon, France: <http://basebe.obspm.fr>"

de Bes: $H\alpha$, centralizada em $6562,81\text{\AA}$ (a linha crucial para identificação de uma Be), $H\beta$, centralizada em $4861,35\text{\AA}$, e a linha Fe II ($\lambda 5317$), centralizada justamente em $5317,0\text{\AA}$. A linha do Fe II foi escolhida por se formar na parte mais interna do disco, ao contrário das linhas do hidrogênio que se formam ao longo de um volume muito maior.

De posse dos espectros para toda a amostra, a parte final do trabalho consistiu na classificação visual de cada objeto em três grupos distintos, baseados na qualidade, quantidade e data em que o objeto possui observações espectroscópicas. Estes são:

1. Estrelas com nenhum dado disponível. Este grupo também inclui, como exceção, estrelas com espectros disponíveis mas em pouca quantidade e/ou de qualidade muito pobre (razão sinal/ruído baixa, cobertura espectral insuficiente, etc);
2. Estrelas com bons dados, mas insuficientes. Nesta categoria, estão também estrelas com espectros bons mas tomados muito antes das observações do TESS (meses ou anos, dependendo da estrela);
3. Estrelas com dados suficientes para uma contextualização confiável.

Os grupos 1 e 2 são de extrema importância, já que servirão de guia para todos os esforços observacionais em andamento, visto que mostram as estrelas carentes em observações tanto amadoras quanto profissionais. Já objetos do terceiro grupo são claramente o de maior importância para este estudo, por fornecerem não apenas a necessária contextualização dinâmica das observações TESS mas também material de estudo importante para estudos futuros sobre o ciclo de vida dos discos de estrelas Be.

Materiais e Métodos

2.1 Bancos de Dados e ferramentas de programação

Para a realização deste trabalho, baseado inteiramente na coleta e agrupamento de dados espectroscópicos já existentes, o uso de bancos de dados astronômicos é essencial, visto que estes, em sua criação, visam garantir organização e praticidade científica para uso posterior dos dados. A principal escolha para este trabalho, idealizada principalmente pelo Dr. Labadie-Bartz, usuário já experiente, foi o BeSS - *Be Star Spectra Database* - cuja criação é datada de 2007 (ver Neiner et al. 2011). A ideia por trás do surgimento do BeSS foi que devido à variabilidade intrínseca do fenômeno Be, as estrelas Be clássicas necessitam de observações regulares. Embora o objetivo principal tenha sido baseado inteiramente em estrelas Be clássicas, o banco de dados não se limitou para apenas esta classe, e atualmente conta também com dados de estrelas Be de Herbig e objetos B[e].

Com mais de 10 anos de funcionamento, o banco conta hoje em dia com mais de 17 mil espectros de mais que 2340 estrelas e recebe observações tanto profissionais quanto amadoras. Os observadores amadores são em sua maioria extremamente experientes, utilizando até mesmo equipamentos presentes em observatórios. Uma contribuição notável de um grupo dos observadores amadores foi uma ferramenta que indica quais estrelas Be são observáveis em um dado dia, em dada região. Além do mais, há validação humana de todos os espectros tomados, tornando o banco confiável para uso científico, como exposto em Neiner (2018).

Além da utilização dos dados disponíveis no BeSS, é necessário, para leitura dos espectros, algum programa que consiga identificar as informações importantes de cada espectro (como as três principais linhas utilizadas no Trabalho e citadas no Capítulo 1) e que re-

alize esta função de maneira automática para cada objeto da amostra. A linguagem de programação escolhida foi o *Python*, que conta com inúmeros módulos para uso científico voltado à Astronomia, e também permite a construção de *scripts* para manuseio e organização eficiente de grande quantidade de arquivos. O *Python*, juntamente com algumas outras linguagens como o *R*, tornou-se uma das linguagens preferenciais em trabalhos relacionados com a manipulação de grande quantidade de informação (Bhanot et al. 2019).

Foram utilizados principalmente dois módulos Python neste Trabalho. O *Astronomic Python* - *Astropy*, que visa facilitar a ciência astronômica providenciando funções úteis como conversões de unidades, leitura de arquivos binários tipo *.fits*, sistemas de coordenadas astronômicas, constantes universais, e funções para manipulação de tabelas (ver Astropy Collaboration 2013). O outro módulo foi o *Spectroscopic Tools* - *SpecTools*, disponível como parte do pacote *PyHdust*, criado pelo Dr. Daniel Moser em colaboração com outros usuários do código HDUST (Carciofi & Bjorkman 2006), que traz, entre suas rotinas, uma que permite a normalização de um espectro centrado em uma linha, conversão de comprimento de onda em velocidade e o cálculo da quantidade largura equivalente (em inglês EW - *Equivalent Width*).

Além disso, visando manter o progresso organizado, a amostra está disponível em uma planilha com todos os dados considerados importantes ou utilizáveis de cada objeto. É desta planilha que surge as Tabelas A.1 e B.1, discutidas e apresentadas no Capítulo 3.

2.2 Desenvolvimento do script em Python3

Baseado nos principais módulos de astronomia disponíveis para o Python, o Dr. Labadie-Bartz fez um detalhado programa para leitura e gerenciamento de dados espectroscópicos, não só do BeSS mas também de outras bases de dados. Nesta Seção 2.2, descrevemos o programa, bem como nossas contribuições ao seu desenvolvimento.

Devido à importância de se localizar as observações espectroscópicas próximas às datas em que o TESS visitou certo alvo, logo no início do código são definidas diferentes datas, no sistema HJD (*Heliocentric Julian Date*), representando os dias em que cada setor TESS foi observado, correspondentes a cada uma das estrelas da amostra. A opção de ler os dados de uma estrela individualmente ou múltiplas simultaneamente também está presente. Para a leitura múltipla, foi decidido por organizar cada objeto em um diretório, com a identificação

TIC¹ de cada como o nome da pasta.

Logo após, as principais linhas definidas no Capítulo 1 foram armazenadas em uma lista, para que em um único laço fosse possível repetir o processo de centralização, normalização e transformação do comprimento de onda em velocidade para as três linhas espectrais. A parte mais importante do código está na leitura dos arquivos *.fits*, que dependem de como estão armazenados os dados no *BeSS*. Este formato binário é o mais utilizado em astronomia, por conter não apenas o espectro em si, mas metadados importantes (data de observação, local de observação, instrumento, nome do observador, etc.) que são armazenados em no cabeçalho do arquivo. Como muitos espectros no *BeSS* são do satélite IUE, que operou na faixa do ultravioleta, um condicional excluindo as observações deste satélite foi implementado. Ao final da leitura do arquivo *.fits*, obtém-se *arrays* (vetores) com o valor do fluxo e com os comprimentos de onda correspondentes.

Para as três linhas, foi planejado também o cálculo da largura equivalente. A EW, uma quantidade de uso corrente em astronomia, é definida por:

$$EW = \int \left(1 - \frac{F_\lambda}{F_0}\right) d\lambda \quad (2.1)$$

onde F_0 representa a intensidade do contínuo em ambos os lados da linha e F_λ a intensidade pela raia de interesse. Quando $EW < 0$ a linha está em emissão, e quando $EW > 0$, em absorção. Para o cálculo da EW, é necessário realizar a normalização do contínuo ao redor da linha (realizado através da função *lineProf*, do módulo *spectools.py*), de forma que $F_0 = 1$. Esta função retorna também um vetor ordenado do comprimento de onda transformado em km/s (espaço de velocidades). Assim, foi possível então calcular a EW para cada linha de cada observação com a função *EWcalc*, presente no anterior módulo descrito, retornando um valor em km/s. Esta unidade não é a usual, mas traz a noção necessária do fenômeno físico por trás de cada perfil. O uso da EW é importante para monitoramento do estado da estrela Be ao longo das datas de observação pois se a linha estiver em emissão ($EW < 0$) o disco está certamente presente, enquanto que se estiver em absorção ($EW > 0$), pode ser que não haja um disco e, se houver, é um disco tênue e/ou pequeno.

A Figura 2.1 traz um resultado típico do código, aplicado à estrela HD 44783. No painel acima, os espectros existentes estão sobrepostos com diferentes cores (para diferenciação),

¹ Esta sigla se refere ao modo de identificação de cada objeto pelo levantamento: *TESS Input Catalog*

disponibilizando informação do fluxo relativo pela velocidade em km/s. Nas legendas no canto superior esquerdo, é escrito a qual das principais linhas o gráfico se refere, e valores estatísticos da EW. Coloca-se o número do(s) setor(es) TESS em que o objeto foi observado. No painel abaixo, estão disponibilizados os valores da EW em relação à data observada em HJD relativa à data 2450000, onde cada observação aparece como um ponto de mesma coloração definida para o painel acima. As linhas verticais tracejadas representam as datas de todos os setores TESS para o primeiro ou segundo ano de observações do TESS, dependendo se o objeto for austral ou setentrional, respectivamente. Os setores em que a estrela foi observada são marcados pelas linhas cheias de cor verde.

HD 44783 é um exemplo de uma estrela a ser classificada no grupo 3. Isto se dá pelo fato de que há 25 espectros sobrepostos, muitos de alta resolução, bem distribuídos ao longo dos últimos anos, e principalmente por haver aproximadamente 5 espectros quase que tomados simultaneamente com o satélite TESS, permitindo uma contextualização dinâmica adequada. Este compilado de perfis $H\alpha$ mostra que nos últimos anos este formato de emissão em picos duplos com um forte everso central se manteve, identificando assim uma estrela com um disco forte, apresentando baixa variabilidade. Além disso, o reverso central indica que a estrela é uma estrela de tipo shell (ver Fig. 1 de Rivinius et al. 2013) que hoje é compreendida como uma estrela Be clássica vista de lado, ou seja, a ângulos de inclinação entre a linha de visada e o eixo de rotação da estrela próximos de 90° .

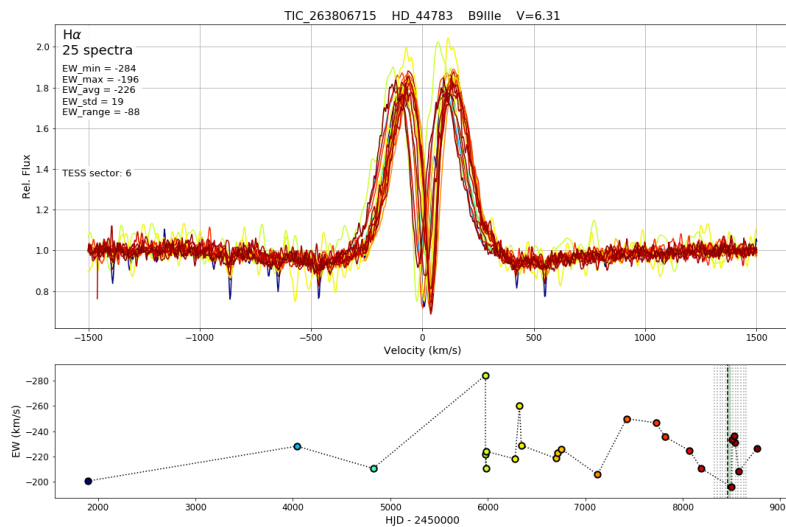


Figura 2.1: Exemplo dos perfis de linha $H\alpha$ produzido pelo programa para a estrela Be HD 44783. Detalhes sobre o gráfico no texto. Todos os espectros foram retirados do banco *BeSS*.

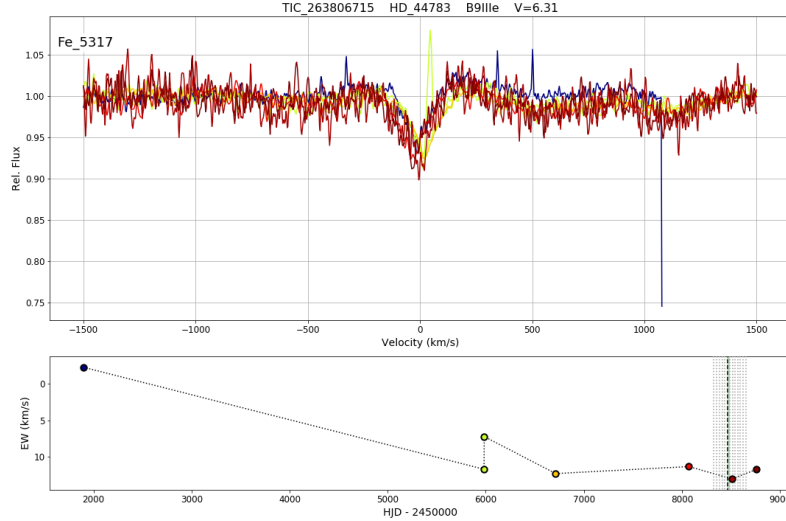


Figura 2.2: Exemplo dos perfis de linha Fe II ($\lambda 5317$) produzido pelo programa para a estrela Be HD 44783. Detalhes sobre o gráfico no texto. Todos os espectros foram retirados do banco *BeSS*.

Os perfis de linha existentes de Fe II ($\lambda 5317$) deste mesmo objeto estão na Figura 2.2. A linha do Fe II ($\lambda 5317$) é muito mais fraca que a linha do $H\alpha$, pois é formada em uma região mais interna do disco tendo, portanto, uma área de emissão muito menor. Este fato é também evidenciado pela posição dos picos de emissão. Enquanto que para o $H\alpha$ os picos encontram-se a aproximadamente ± 100 km/s, para a linha Fe II ($\lambda 5317$) eles estão a mais de ± 200 km/s. Como os discos de estrela Be são Keplerianos (Hanuschik 1994, Meilland, A. et al. 2012), a velocidade de rotação cai com a raiz quadrada da distância ao centro da estrela, o que indica que linhas formadas mais internamente devem ter separações de picos maiores.

2.3 Busca, Leitura e Classificação visual dos objetos nos 3 Grupos

A busca pelos objetos no banco *BeSS* tem como maior empecilho o fato de que a automatização neste processo é impossível no modelo atual do endereço eletrônico, visto que foi criado no intuito de se buscar manualmente objeto por objeto. A automatização no entanto é possível para outros bancos, não especializados em somente estrelas Be, e está em perspectiva para trabalhos futuros. Com isso em mente, 603 estrelas foram buscadas manualmente no banco. A Figura 2.3 exemplifica como o endereço eletrônico do banco está apresentado, e como realizar uma busca de um objeto.

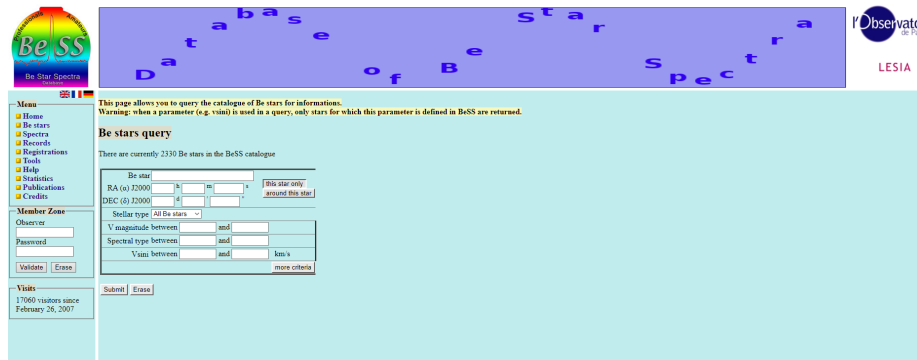


Figura 2.3: Exemplo do *layout* do banco de dados BeSS, no que tange à seção de busca (*query*) de um objeto Be.

Ao digitarmos alguma identificação (que pode ser algum número de catálogo, por exemplo o HD, ou mesmo o nome comum da estrela, por exemplo, Achernar), o banco vai dizer se reconhece ou não este objeto. Ao reconhecer, surgirá uma lista de observações (se houver), organizadas em linhas que podem ser rearranjadas de acordo com a data da observação. Detalhes como observador, data completa, observatório ou local de observação estão sempre presentes. A Figura 2.4 exemplifica a interface do banco para a busca da estrela Be OT Gem, que possui 1776 espectros com base no acesso realizado para a mesma figura. O download é simples de ser realizado, sendo necessário marcar as caixas correspondentes à observação que deseja baixar.

Com todos os materiais disponíveis para o começo do nosso levantamento, a busca manual pelos primeiros objetos da planilha referente às Be observadas no primeiro ano

You can click on the > or < buttons next to a column label to sort the results according to this column.
The professionals spectra are shown in blue whereas the amateurs spectra are shown in green.

There are 1776 results corresponding to your BeSS query. They are displayed by pages of 100 spectra (or groups of echelle orders) below.

#	Be star	Category	RA (h m s)	DEC (deg m s)	Instrument	Site	Observers	Date	mid-HID (d)	Plot	Download 1 by 1 zip	Download many zip
1	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-21	2458990.656	plot	spec_228973	☒
2	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-17	2458986.657	plot	spec_228116	☒
3	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-16	2458985.668	plot	spec_228115	☒
4	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-14	2458983.659	plot	spec_228114	☒
5	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-13	2458982.674	plot	spec_228113	☒
6	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-09	2458978.665	plot	spec_228983	☒
7	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C9_LHIRES3_2400.ATIK460EX	Paris Saint-Charles	Desnos	2020-05-06	2458976.357	plot	spec_228042	☒
8	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-06	2458975.666	plot	spec_228982	☒
9	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-05	2458974.653	plot	spec_228981	☒
10	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-04	2458973.673	plot	spec_228980	☒
11	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-05-02	2458971.669	plot	spec_228979	☒
12	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_L200_1200_SXVR-HR14	Lacno	de Bruin	2020-04-26	2458966.347	plot	spec_228988	☒
13	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C9_LHIRES3_2400.ATIK460EX	Paris Saint-Charles	Desnos	2020-04-25	2458965.337	plot	spec_228041	☒
14	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-04-25	2458964.660	plot	spec_228707	☒
15	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-04-24	2458963.697	plot	spec_228706	☒
16	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	CDK17_LuresIII.ATIK460EX	University/Hills-LosAngeles, CA	James	2020-04-24	2458963.685	plot	spec_228989	☒
17	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C9_LHIRES3_2400.ATIK460EX	Paris Saint-Charles	Desnos	2020-04-23	2458963.391	plot	spec_228040	☒
18	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-04-23	2458962.691	plot	spec_228705	☒
19	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_L200_1200_SXVR-HR14	Lacno	de Bruin	2020-04-22	2458962.342	plot	spec_228872	☒
20	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_LHIRES3+IR-154_2400.ATIK460EX	Desert Wing	Stencione	2020-04-22	2458961.660	plot	spec_228704	☒
21	OT Gem	Classical	07 24 27.65	15 31 01.91	C11_L200_1200_SXVR-HR14	Lacno	de Bruin	2020-04-21	2458961.379	plot	spec_228871	☒

Figura 2.4: Exemplo da interface ao realizar a busca pela estrela Be OT Gem. Acesso em: 19 de junho de 2020.

do satélite, entre 2018 e 2019, foi realizada. Ao término das 553 estrelas escolhidas para o hemisfério sul, 50 objetos do hemisfério norte receberam o mesmo procedimento. A Tabela A.1, do Apêndice A, contém todas as estrelas Be escolhidas do hemisfério sul, com detalhes de identificação e da presença ou não de dados ou até mesmo registro no banco de dados. Já a Tabela B.1, presente no Apêndice B, contém os objetos do hemisfério norte (segundo ano da missão TESS) para os quais foi possível realizar a busca de observações espectroscópicas.

Ao final do levantamento, obtivemos mais de 4,7 mil espectros para as 603 estrelas da amostra. Na próxima seção, estão os resultados da divisão das estrelas por grupos, bem como de uma análise pormenorizada das estrelas do grupo 3.

Visão geral da amostra

O resultado da classificação das estrelas nos grupos 1 – 3 (Capítulo 1) está mostrado na Tabela 3.1 para as 553 estrelas austrais e na Tabela 3.2 para as 50 estrelas setentrionais.

Os dados do sul têm uma grande fração das estrelas no grupo 1 (ou seja, sem dados ou com dados de baixa qualidade). Isto se deve ao fato de que a maioria dos observadores amadores está situada na Europa ou na América do Norte, o que torna uma parte dos alvos austrais inacessível a eles. Apesar disto, 13,6% da nossa amostra (75 estrelas) são do grupo 3, apresentando uma boa cobertura temporal. Fazem parte da amostra 3073 espectros no total, o que dá uma média de 5,7 espectros por estrela.

A situação para a amostra do norte é diferente. A maioria das estrelas estão nos grupos 2 e 3, reflexo da maior disponibilidade de observadores. O número total de espectros das estrelas setentrionais é de 1742, o que dá em média 35 espectros por estrela, um número muito maior do que toda a amostra austral. Isto, naturalmente, reflete em um número maior de alvos com uma boa cobertura temporal.

Um dos primeiros resultados deste Trabalho foi justamente a identificação das estrelas dos grupos 1 e 2, para as quais poucos ou nenhum dados estão disponíveis. Atualmente, o TESS encontra-se no seu terceiro ano de funcionamento efetivo, tendo iniciado, em julho de 2020, um novo ciclo de observações dos objetos austrais. Em julho de 2021 o TESS vai novamente observar os alvos do norte. De posse das informações aqui organizadas já estamos entrando em contato com observadores, através do fórum de mensagens do BeSS, para solicitar prioritariamente observações das estrelas dos grupos 1 e 2. Além disso, recursos observacionais do nosso grupo de pesquisa também estão sendo direcionados a estes alvos. Como resultados, esperamos poder aumentar, nos próximos 2 anos, o número de estrelas do grupo 3 em ambos os hemisférios.

Tabela 3.1 - Resultados da classificação das estrelas do sul da amostra, nos três grupos definidos.

Total: 553	Quantidade	Porcentagem (%)
Grupo 1	416	75,2
Grupo 2	62	11,2
Grupo 3	75	13,6
Sem Registro no BeSS	33	6,0

Tabela 3.2 - Resultados da classificação das estrelas do norte da amostra, nos três grupos definidos.

Total: 50	Quantidade	Porcentagem (%)
Grupo 1	23	46,0
Grupo 2	9	18,0
Grupo 3	18	36,0
Sem Registro no BeSS	15	30,0

Todos os objetos do grupo 3 foram minuciosamente estudados, buscando descrever a sua variabilidade (ou ausência dela). Os resultados são mostrados no próximo capítulo.

Contextualização dinâmica dos melhores casos

Este capítulo mostra uma classificação dos alvos do grupo 3, que possuem uma maior quantidade de espectros, de acordo com o seu contexto dinâmico, com ênfase na situação do disco por ocasião das observações do TESS.

A variabilidade fotométrica ou espectroscópica de estrelas Be é controlada por dois fatores principais. Por um lado, tem-se que a ejeção de massa é provavelmente modulada por processos internos da estrela, tais como pulsações não radiais, que podem ser regulares em alguns casos e estocásticos em outros (Labadie-Bartz et al. 2020, Baade et al. 2016). Por outro lado, temos a física do disco, que redistribui o material estelar injetado no disco em escalas de tempo que podem variar de semanas a anos. O resultado da combinação destes dois fatores é que no geral, estrelas Be apresentam variabilidade complexa.

Existem alguns objetos, entretanto, que apresentam variabilidade mais regular, ou mesmo pouca/nenhuma variabilidade em largas escalas de tempo. Estes objetos são particularmente importantes para estudos teóricos que buscam explicar a variabilidade a partir de modelos hidrodinâmicos. De particular importância são os eventos isolados de disco. Nestes, um disco se forma e se dissipa em torno de uma estrela Be originalmente sem disco. Eventos deste tipo podem durar de semanas a muitos anos. Rímulo et al. (2018), por exemplo, modelaram por volta de 80 eventos isolados de disco em estrelas da SMC, obtendo várias quantidades fundamentais da estrela, tais como sua taxa de perda de momento angular, que seriam impossíveis de serem determinadas em estrelas com variabilidade muito complexa. Uma das discussões ainda atuais, surgidas principalmente a partir do mesmo trabalho, é sobre a diferença entre o valor de viscosidade para a construção e dissipação do disco.

Outras estrelas Be importantes são aquelas que apresentam discos estáveis por longos

períodos de tempo. Esta característica garante que o disco atinja um estado estacionário aproximado, o que facilita muito seu estudo a partir de modelos teóricos. A literatura recente tem vários artigos a respeito de estrelas desde tipo (β CMi - Klement et al. 2015; α Col - Rubio 2019, o Aqr - de Almeida et al. 2020, 66 Oph - Marr et. al., submetido).

As subseções a seguir apresentam o resultado de uma análise cuidadosa de todas as estrelas do grupo 3, que possibilitou a classificação destas em quatro subgrupos, definidos abaixo.

4.1 *Eventos de construção e/ou aumento do disco*

Dentre as estrelas da amostra, em 8 foram identificados eventos de formação de um disco ou o aumento de um disco já existente. Vamos, aqui, discutir uma destas estrelas em detalhes. Os gráficos para as restantes estão no Apêndice C.

Exemplo: Estrela Be 228 Eri

A estrela 228 Eri possui 28 espectros no banco BeSS (com base no acesso em 05 de novembro de 2020), sendo o mais antigo tendo sido obtido na década passada. Todos possuem ótima qualidade. Este objeto é classificado como tipo espectral B2, e possui alta velocidade de rotação projetada, com $v \sin i = 295 \text{ km/s}$ (Abt et al. 2002). Desde o espectro com a data mais antiga de observação, a estrela aparenta apresentar um disco. No entanto, o aumento na intensidade da emissão no $H\alpha$ nos últimos anos sugere a construção de um disco mais denso, capaz de reemitir mais radiação no visível. Além do evidente aumento da emissão em $H\alpha$, é possível identificar que esta estrela apresenta, em algumas épocas, fortes assimetrias no perfil, com valores do pico de emissão no violeta (V, de violet, em inglês) muito diferentes do pico de emissão no vermelho (R, de red, em inglês). Valores da razão V/R diferentes de 1 indicam um disco com algum grau de assimetria na região azimutal. Por exemplo, Carciofi et al. 2009 estudaram as variações V/R da estrela Be ζ Tau e mostraram que elas são devidas a ondas de densidade espirais no disco. A Figura 4.1 apresenta o perfil $H\alpha$ da estrela nos últimos anos, bem como a evolução temporal da largura equivalente.

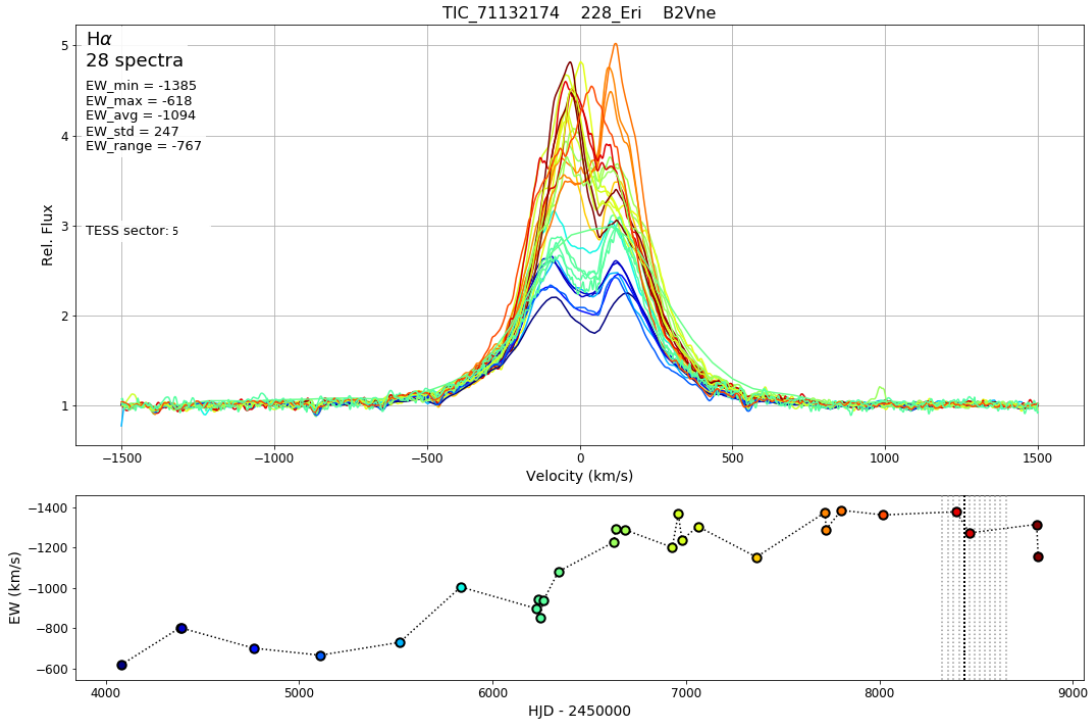


Figura 4.1: Acima: Perfis $H\alpha$ da estrela Be 228 Eri extraídos dos dados espectroscópicos disponíveis no BeSS. Abaixo: Evolução temporal da largura equivalente. As cores dos espectros guardam relação com a data de observação.

Esta estrela é bastante importante no contexto do levantamento TESS, pois apresenta um espectro logo antes e logo depois que as observações TESS foram feitas. A Figura 4.1 mostra que o disco estava no seu máximo desenvolvimento quando a estrela foi visitada pelo TESS. Curiosamente, o Dr. Labadie-Bartz, em comunicação privada, nos indicou que o objeto não possuía nenhuma particularidade na sua curva de luz indicando que a perda de massa estava ativa.

4.2 Eventos nítidos de dissipação de disco

Analogamente, foram identificados os objetos que passaram pela nítida dissipação parcial ou total de um disco de decréscimo gasoso nos últimos tempos. Todos os alvos, incluindo o exemplo, estão também organizados e disponíveis no Apêndice D.

Exemplo: Estrela Be HD 51506

A estrela HD 51506 possui 26 espectros com informação no $H\alpha$ no banco BeSS (com base no acesso em 23 de novembro de 2020), sendo o mais antigo de 2003. Todos possuem

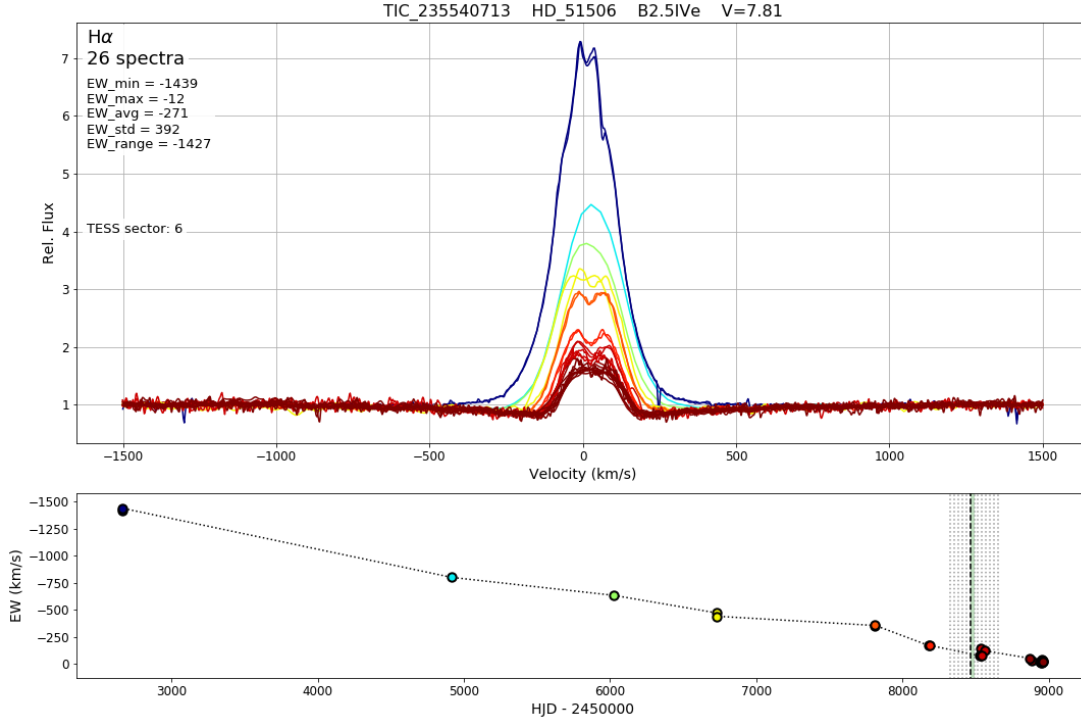


Figura 4.2: Acima: Perfis H α da estrela Be HD 51506 extraídos dos dados espectroscópicos disponíveis no BeSS. Abaixo: Evolução temporal da largura equivalente. As cores dos espectros guardam relação com a data de observação.

ótima qualidade. Este objeto é classificado como tipo espectral B2.5IVe. Desde o espectro com a data mais antiga de observação, a estrela aparenta apresentar um disco. No entanto, o decréscimo na intensidade da emissão no H α nos últimos anos sugere a dissipação lenta do disco. É possível notar também que esta dissipação é parcial, isto é, a estrela ainda possuía um disco fraco em seu entorno por ocasião da última observação em 2020. A Figura 4.2 apresenta o perfil H α da estrela nos últimos anos.

A curva de luz obtida pelo TESS desta estrela existe, e recebeu tratamento científico pelo Dr. Labadie-Bartz. Como no caso anterior, não há sinais na curva de luz indicando perda de massa, o que concorda com o fato da estrela estar com seu disco sendo dissipado.

4.3 Eventos isolados de disco

Os eventos isolados são aqueles cuja janela de observação contém as etapas sem disco, o surgimento eventual do mesmo, e a posterior dissipação completa. Existem casos onde múltiplos ciclos são detectados. Ter o conhecimento da existência destes eventos através de observações espectroscópicas é muito importante; as estrelas de ambos hemisférios com

eventos isolados detectados estão presentes também no Apêndice E. O exemplo mais importante detectado foi o da estrela Be QR Vul.

Exemplo: Estrela Be QR Vul

QR Vul possui 398 espectros no BeSS (considerando o último acesso ao banco em 11 de novembro de 2020), magnitude V aparente 4,76 (Høg et al. 2000) e foi observada em apenas um setor neste segundo ano do TESS. Na última década e meia, a estrela passou por 2 ciclos nítidos, e ainda é possível identificar uma tendência de início de um terceiro a partir do painel abaixo, que relaciona a EW com o tempo. No momento em que o TESS observou a estrela, o objeto estava com um disco fraco (ver abaixo), mas claramente presente. A Figura 4.3 contém os perfis da estrela contendo todos espectros disponíveis com informação da linha $H\alpha$.

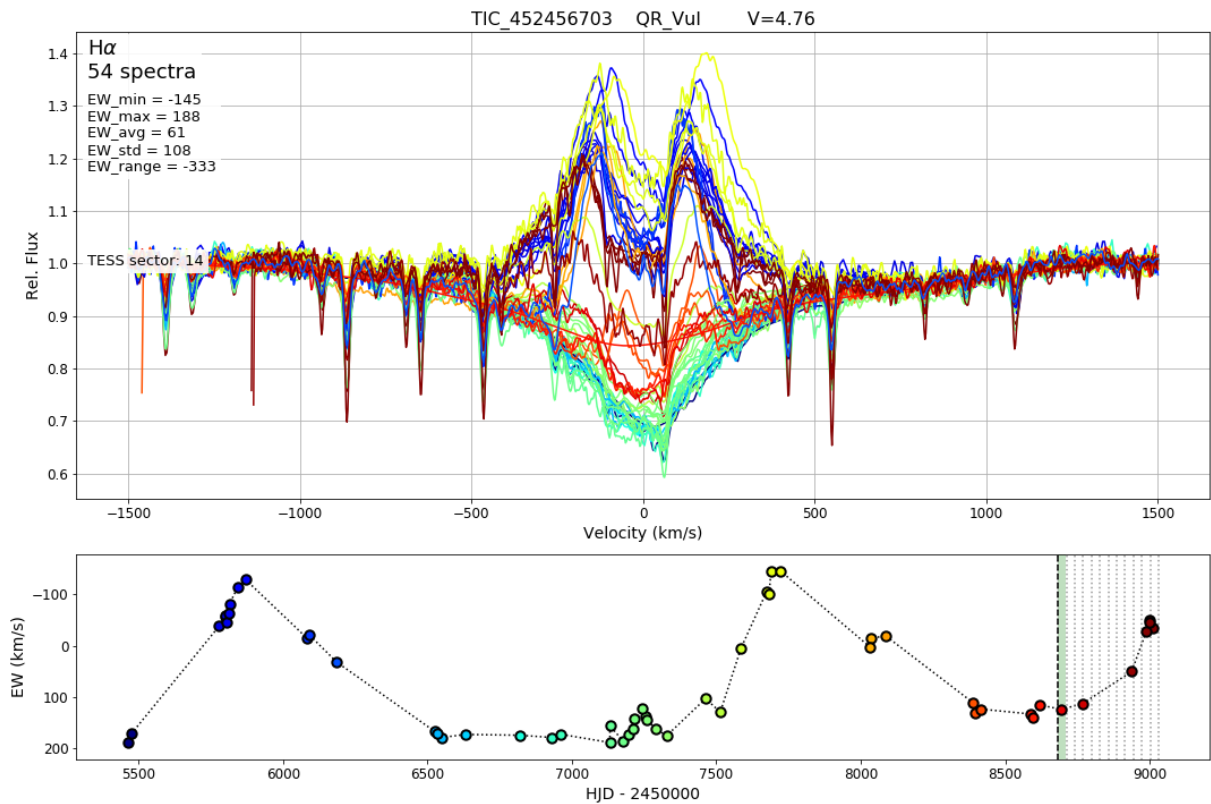


Figura 4.3: Acima: Perfis $H\alpha$ da estrela Be QR Vul extraídos dos dados espectroscópicos disponíveis no BeSS. Abaixo: Evolução temporal da largura equivalente. As cores dos espectros guardam relação com a data de observação.

Devido à quantidade de imagens sobrepostas na Figura 4.3, o melhor procedimento a ser feito é a divisão dos perfis por épocas, ou janelas de observações, onde cada ciclo e o período em que o TESS observou a estrela possam ser analisados com cuidado. As Figuras 4.4 e 4.5 contêm os resultados para os dois ciclos em duas imagens. Nota-se, na Figura 4.5, que ao final do segundo ciclo, o disco na verdade continua presente, pois os espectros ainda têm uma emissão residual. Essa emissão residual continua de forma variável por alguns anos, antes de haver uma retomada da atividade de disco. Foi durante esta fase de baixa densidade do disco sem, no entanto, caracterizar uma dissipação completa, que os dados TESS foram tomados.

Este último ponto é mostrado na Figura 4.6, que contém apenas os perfis $H\alpha$ próximos às observações do TESS. Eles mostram que existe uma emissão fraca nas asas da linha, indicando a presença de um disco de baixa densidade.

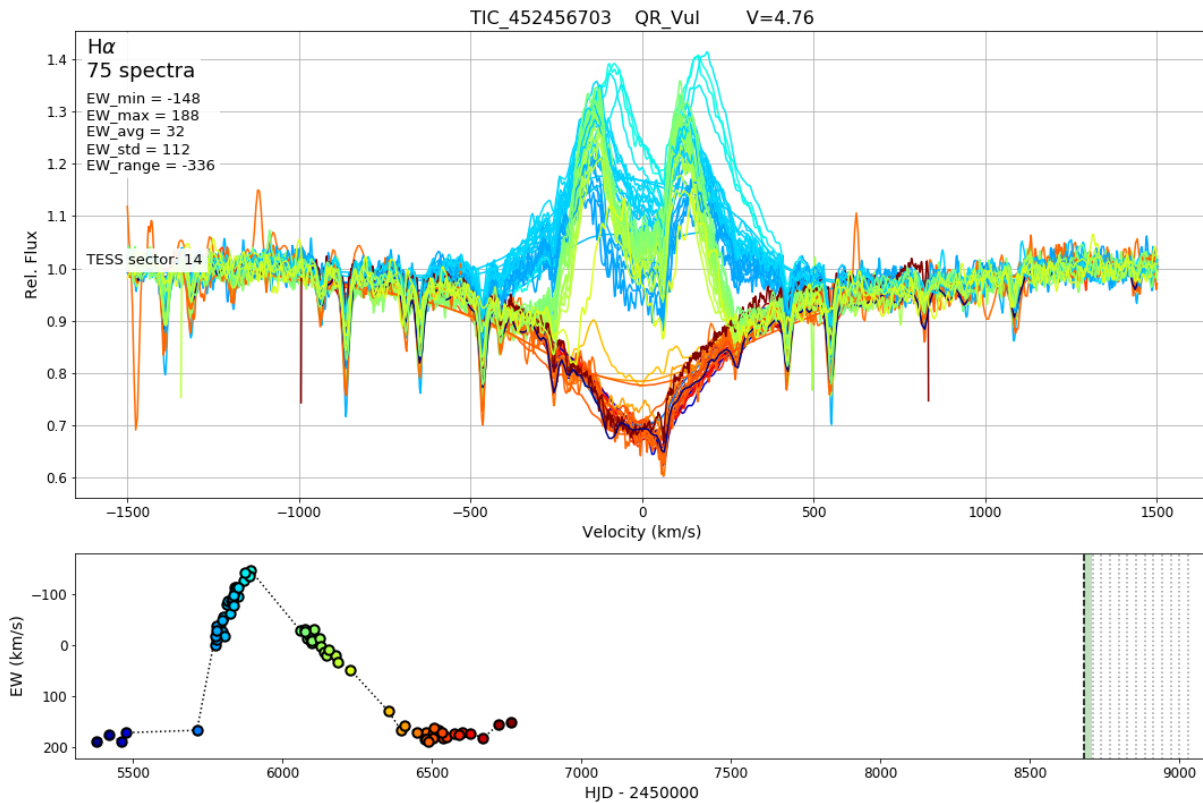


Figura 4.4: Perfis $H\alpha$ da estrela QR Vul abordando uma janela de observação de 2010 a 2013.

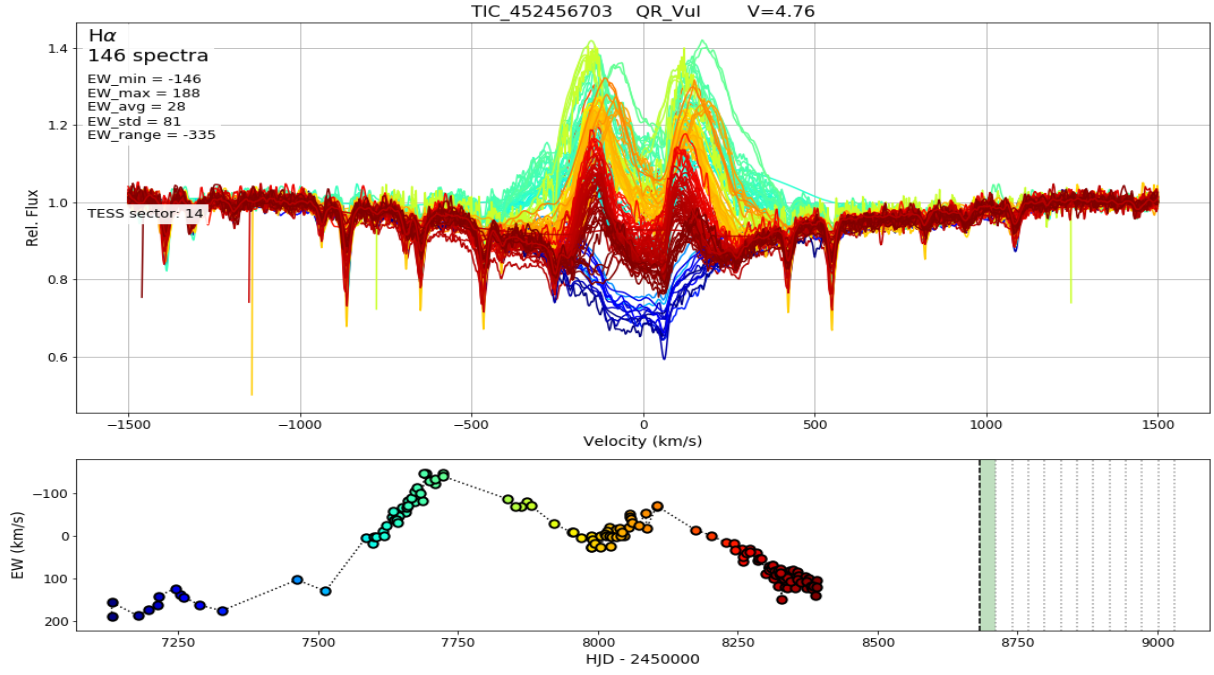


Figura 4.5: Perfis H α da estrela QR Vul abordando uma janela de observação de 2016 a 2019.

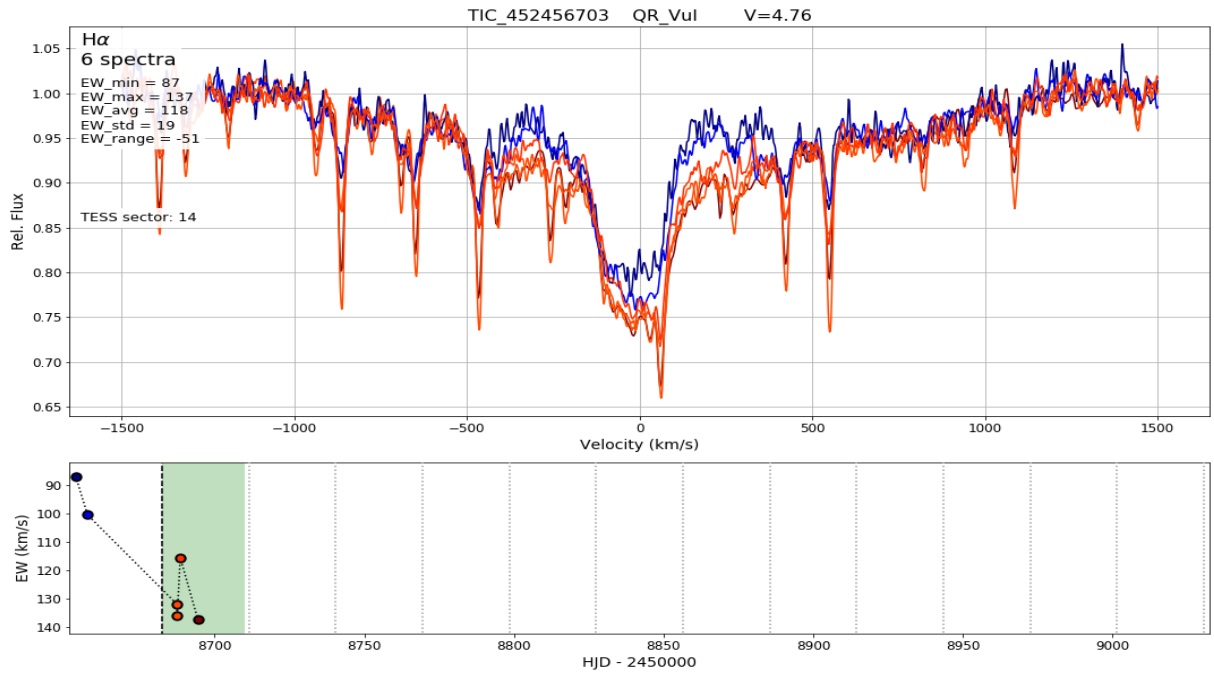


Figura 4.6: Perfis H α da estrela Be QR Vul para espectros tomados entre junho e julho de 2019.

4.4 Estrelas Be com discos estacionários

O último caso a ser mencionado neste capítulo é referente às estrelas Be que possuem (ou já possuíram em algum momento) discos cuja duração foi extremamente longa (excedendo anos de duração sem qualquer sinal de tendência dissipativa ou aumento repentino de ejeção de massa). O exemplo a ser introduzido nesta Seção 4.4 é a estrela Be ν Gem, da constelação de Gêmeos.

Exemplo: Estrela Be ν Gem

ν Gem é uma estrela de tipo espectral B6IIIe, muito brilhante ($V=4,14$) e com 661 espectros no BeSS, considerando acesso em 11 de novembro de 2020. Este objeto passou a última década com um disco em seu entorno, com pequenas flutuações no nível de emissão de $H\alpha$.

Separados 95 espectros centralizados em $H\alpha$, a Figura 4.7 exemplifica o caso estacionário. Ao contrário de outras estrelas Be, mesmo com múltiplos espectros sobrepostos, a baixa variabilidade nos perfis se mantém nítida. Infelizmente, o objeto em exemplo não teve dados publicados pela missão TESS.

Todos os objetos encontrados pertencentes a esta última classificação, incluindo a estrela mencionada ν Gem, estão disponíveis no Apêndice F.

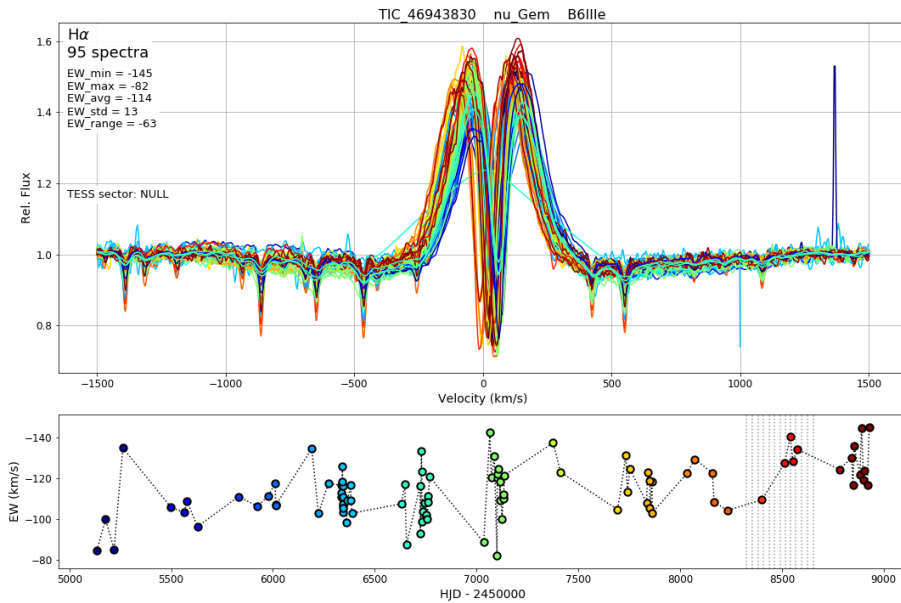


Figura 4.7: Perfis $H\alpha$ da estrela Be extraídos dos dados espectroscópicos disponíveis no BeSS, exemplificando o caso estacionário, entre 2010 a 2020.

Conclusões

Tendo em vista o caráter do trabalho apresentado, é importante ressaltar que projetos de levantamento e agrupamento de dados são essenciais no ramo da Astronomia. No caso da classe de estrelas Be, observações de diversos tipos, como fotometria, espectroscopia e polarimetria, são fundamentais para desvendar o fenômeno.

A espectroscopia em especial é substancial na verificação da existência ou não de discos de decréscimo, e se existente concomitantemente com dados fotométricos, traz uma gama de informações essenciais a respeito do sistema. A busca por dados espectroscópicos de uma amostra 603 objetos Be no principal banco de dados escolhido (BeSS), e sua eventual classificação em três grupos distintos baseados na qualidade e quantidade de espectros, nos permitiu determinar que 439 estrelas (72,80%) não possuem quaisquer observações no BeSS, ou possuem apenas observações de baixa qualidade (grupo 1) e 71 (11,74%) possuem alguns espectros mas em quantidade insuficiente que permita uma contextualização dinâmica adequada para as observações do TESS (grupo 2). O grupo mais importante (grupo 3), com boa quantidade de dados disponíveis, representa 15,42% da amostra (93 objetos).

Mediante o exposto, a organização desta amostra de estrelas Be possui um grande potencial de catalisar esforços para estudarmos com aprofundamento uma quantidade volumosa de objetos com histórico bem definido, e também de iniciar campanhas observacionais do grupo e colaboradores de objetos peculiares que apresentaram carência de dados espectroscópicos. Indubitavelmente, esta pesquisa será mantida, com melhorias por exemplo no tratamento dos espectros, e também implementação de painéis visuais preferíveis para análise de variações V/R.

Referências Bibliográficas

- Abt H. A., Levato H., Grosso M., 2002, ApJ, 573, 359
- Astropy Collaboration 2013, A&A, 558, A33
- Baade D., et al., 2016, A&A, 588, A56
- Bhanot N., Singh H., Sharma D., Jain H., Jain S., 2019, Python vs. R: A Text Mining Approach for analyzing the Research Trends in Scopus Database ([arXiv:1911.08271](https://arxiv.org/abs/1911.08271))
- Briot D., 2004, in Favata F., Aigrain S., Wilson A., eds, ESA Special Publication Vol. 538, Stellar Structure and Habitable Planet Finding. pp 289–291
- Carciofi A. C., Bjorkman J. E., 2006, ApJ, 639, 1081
- Carciofi A. C., Okazaki A. T., le Bouquin J.-B., Stefl S., Rivinius T., Baade D., Bjorkman J. E., Hummel C. A., 2009, A&A, 504, 915
- Ghoreyshi M. R., et al., 2018, MNRAS, 479, 2214
- Hanuschik R. W., 1994, in Balona L. A., Henrichs H. F., Le Contel J. M., eds, Pulsation, Rotation and Mass Loss in Early-Type Stars. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 265–266
- Haubois X., Carciofi A. C., Rivinius T., Okazaki A. T., Bjorkman J. E., 2012, ApJ, 756, 156
- Høg E., et al., 2000, A&A, 355, L27
- Klement R., et al., 2015, A&A, 584, A85

- Labadie-Bartz J., et al., 2018, *AJ*, 155, 53
- Labadie-Bartz J., Carciofi A. C., de Amorim T. H., Rubio A., Luiz A., dos Santos P. T., Thomson-Paressant K., 2020, Classifying Be star variability with TESS I: the southern ecliptic ([arXiv:2010.13905](https://arxiv.org/abs/2010.13905))
- Lee U., Saio H., Osaki Y., 1991, *MNRAS*, 250, 432
- Meilland, A. Millour, F. Kanaan, S. Stee, Ph. Petrov, R. Hofmann, K.-H. Natta, A. Per-
raut, K. 2012, *A&A*, 538, A110
- NASA 2018a, TESS Home page, <https://tess.mit.edu/>
- NASA 2018b, TESS Observations, <https://tess.mit.edu/observations/>
- Neiner C., 2018, in Di Matteo P., Billebaud F., Herpin F., Lagarde N., Marquette J. B., Robin A., Venot O., eds, SF2A-2018: Proceedings of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics. p. Di ([arXiv:1811.05261](https://arxiv.org/abs/1811.05261))
- Neiner C., de Batz B., Cochard F., Floquet M., Mekkas A., Desnoux V., 2011, *ApJ*, 142, 149
- Panoglou D., Faes D. M., Carciofi A. C., Okazaki A. T., Rivinius T., 2016, Radiative transfer on decretion discs of Be binaries ([arXiv:1610.09339](https://arxiv.org/abs/1610.09339))
- Ricker G. R., et al., 2015, *JATIS*, 1, 014003
- Rímulo L. R., et al., 2018, *MNRAS*, 476, 3555
- Rivinius T., Baade D., Štefl S., 2003, *A&A*, 411, 229
- Rivinius T., Carciofi A. C., Martayan C., 2013, *A&A Rev.*, 21, 69
- Rubio A. C., 2019, Master's thesis, Universidade de São Paulo
- Secchi A., 1867, *AN*, 68, 63
- Townsend R. H., Owocki S. P., Howarth I. D., 2004, *MNRAS*, 350, 189
- de Almeida E. S. G., et al., 2020, *A&A*, 636, A110

Apêndice

Apêndice A

Tabela referente a parte sul da amostra de 553 estrelas Be e a disponibilidade de espectros no banco BeSS

Para a realização das Tabelas A.1 e B.1 no formato de texto do LaTeX, uma macro para o Excel foi utilizada, transformando as tabelas originais em texto *source* do LaTeX. Idealizando uma tabela amigável, optei por disponibilizar o início desta sequência na página seguinte. A Tabela A.1 diz respeito aos objetos do hemisfério sul.

Tabela A.1 - Resultados para 553 estrelas Be da amostra, presentes no hemisfério sul (anos 1 e 3 do TESS) a respeito da existência de observações espectroscópicas.

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
10176636	V757_Mon	B3IV	Sim	Não
10536200	CD-53_6689	B2.5IVne	Sim	Não
112679272	HD_163435	B9IIIe	Sim	Sim
11286209	sig_Ori_E	B2IV-Vp	Sim	Não
11411724	StHA_52	B1.5V	Sim	Não
11559798	OY_Hya	B5Ve	Sim	Sim
11972111	HD_84567	B0.5IIIne	Sim	Sim
121345684	V848_Ara	B2IVe	Sim	Sim
121689850	HD_153199	B2.5Ve	Sim	Sim
121905577	HD_153295	B2e	Sim	Sim
123036723	HD_60794	B4IIIe	Sim	Sim
123545883	V743_Mon	unclB[e]	Sim	Sim
123828144	HD_62894	B8e	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
14088298	HD_33453	B8Vne	Sim	Sim
141037731	HD_136968	B5Vne	Sim	Não
141898455	CD-45_4394	B2Vne	Sim	Não
143543729	HD_64716	B6Ve	Sim	Sim
14498757	OT_Gem	B2Ve	Sim	Sim
145373620	HD_75551	B2Vne	Sim	Sim
145506624	CD-47_4412	A5e	Sim	Sim
146454560	HD_137836	B8Vne	Sim	Não
14709809	RY_Gem	A2Ve	Sim	Sim
147244857	HD_70234	B9IIIe	Sim	Sim
151131426	HV_Lup	B1Vne	Sim	Não
153541389	V1390_Ori	B2Ve	Sim	Sim
155573117	CD-27_5181	Be	Sim	Não
156627345	HD_250980	B0e	Sim	Sim
158734620	HD_38856	B5Ve	Sim	Sim
159059628	HD_39557	B5IIIe	Sim	Sim
160401972	V1018_Cen	B2pe	Não	Não
166703712	V774_Cen	B3Vne	Não	Não
16688664	CP-45_8706	B9	Sim	Não
167107487	HD_43264	B9IIIe	Sim	Sim
167110617	HD_43285	B6Ve	Sim	Sim
168115492	TYC_4812-2496-1	none	Não	Não
168505959	HD_112107	B9.5Vne	Sim	Não
168627067	HD_54464	B2.5IIIe	Sim	Sim
16902823	HD_159489	B1Ve	Sim	Sim
171895762	V828_Ara	B2IVne	Sim	Sim
171896106	HD_153262	B2Vnne	Sim	Sim
173381049	HD_59197	B6Ve	Sim	Sim
173956099	HD_60669	B8IIIe	Sim	Sim
174121793	HD_155438	B6IVne	Sim	Sim
1748132	HD_75740	A0IIIe	Sim	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
177204351	HD_53667	B0IIIe	Sim	Sim
177853845	HD_54858	A0IIe	Sim	Sim
178719204	HD_70340	A2Vnnpe	Sim	Sim
180092491	DO_Cru	B2Ve	Sim	Sim
181506336	HD_74867	B7IVe	Sim	Não
181600430	HD_75081	B9Ve	Sim	Não
18442894	HD_30123	B8e	Sim	Sim
186979808	CD-29_6963	Be	Sim	Não
187458882	HD_57682	O9Ve	Sim	Sim
189271286	HD_81753	B6Ve	Sim	Sim
190393155	HD_75925	B4Vnne	Sim	Não
190558492	HD_139790	B2IIIne	Sim	Não
191312952	HD_129772	B8IIIpe	Sim	Não
19621526	HD_245310	B2IIInnpe	Sim	Sim
19701113	V1162_Tau	B5ne	Sim	Sim
19727094	HD_148692	B7Ve	Sim	Não
19935717	TYC_1310-2084-1	B8	Não	Não
200516204	MWC_759	HAeB[e]	Sim	Não
200519617	V1374_Ori	B8e	Sim	Sim
203452834	HL_Lib	B9IVe	Sim	Sim
20413239	V731_Tau	B2.5Ve	Sim	Sim
206792542	MWC_527	B3	Não	Não
206840215	BD+08_1343	A2	Não	Não
207020262	BD+08_1366	(B8?)	Não	Não
207043035	HD_258782	B9IVe	Sim	Sim
207043038	HD_45995	B2Vnne	Sim	Sim
207162338	HD_145040	B8IVe	Sim	Não
207176480	HD_19818	B9.5Vne	Sim	Sim
207580161	HD_119835	B8.5IIIne	Sim	Não
207633164	HD_119958	B8Ve	Sim	Não
207881543	HD_120330	B2.5Vnne	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
208313955	HD_120766	B8.5IIIe	Sim	Não
208495676	HD_146531	B3Ve	Sim	Não
208580496	HD_146463	B3Vne	Sim	Não
209829040	HD_122450	B2.5ne	Sim	Não
210283000	HD_123042	B8.5IVe	Sim	Não
210506327	HD_123296	B8.5Ve	Sim	Não
211750828	HD_153222	B1IIe	Sim	Sim
21249978	V868_Ara	B6Vne	Sim	Sim
212551379	HD_153879	B1.5Vne	Sim	Sim
212755033	HD_154154	B2Vne	Sim	Sim
212806475	HD_154111	B5IVe	Sim	Sim
213153401	HD_154538	B3Ve	Sim	Sim
215511795	HD_144555	B1Vne	Sim	Sim
215983126	HD_144970	B0e	Sim	Não
216059854	HD_145107	B5IIIe	Sim	Não
216158265	HD_155436	B2.5e	Sim	Sim
216649528	V1076_Sco	B2.5Vne	Sim	Sim
216775415	HD_156008	B8IVe	Sim	Sim
216875138	HD_156172	O9IIe	Sim	Sim
217134952	HD_156398	B9.5V+...	Sim	Sim
217597679	HD_157099	B3Vne	Sim	Sim
218139464	V750_Ara	B2Vne	Sim	Sim
218854809	V830_Ara	B2IIpe	Sim	Sim
220114410	TYC_158-270-1	B8III	Não	Não
220238856	BD+09_1315	O/B2	Não	Não
220266636	R_Mon	HAeB[e]	Não	Não
220728104	HD_147302	B2IIIne	Sim	Não
221040358	V376_Nor	B9IVe	Sim	Não
221092292	HD_148027	B9IVe	Sim	Sim
221155177	HD_148028	B5IVe	Sim	Sim
22123033	HD_85860	B4Ve	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
223994987	HD_147756	B2Vne	Sim	Não
224802716	HD_148001	B5IIIe	Sim	Não
225735711	OZ_Nor	B2IIe	Sim	Sim
226712279	HD_148567	B2IIIne	Sim	Não
22688271	HD_162568	B2IIIne	Sim	Sim
22825907	HD_148877	B6Ve	Sim	Não
229210549	V1059_Sco	B2IIe	Sim	Não
229355590	HD_259631	B5e	Sim	Sim
229356387	HD_259597	B1Vnne	Sim	Sim
231038852	HD_149568	B6Vne	Sim	Não
231154751	HR_2467	O5V((f))z+O9:V	Não	Não
231942365	HD_43789	B6.5Ve	Sim	Sim
232367669	HD_42406	B4IVe	Sim	Sim
23321922	HD_163007	B4Vne	Sim	Sim
233563508	HD_150288	B2Ve	Sim	Sim
233661535	HD_150230	B8e	Sim	Sim
233969306	EM*_RJHA_40	B3Ib	Não	Não
234230792	V739_Mon	B0.5IVe	Sim	Sim
234422456	HD_150422	B1.5ne	Sim	Sim
23459321	HD_55606	B0.5Vnnep	Sim	Sim
234752189	HD_150625	B8e	Sim	Não
234752466	HD_150533	B0e	Sim	Sim
234806470	V725_Mon	B0.5IVe	Sim	Sim
234813367	AX_Mon	B2IIIshev	Sim	Sim
234835218	Cl*_NGC_2244_PS_26	B7Ve	Sim	Não
234853418	AS_128	B5	Não	Não
234887704	Cl*_NGC_2244_PS_543	B8Ve	Sim	Não
234929785	HD_259440	B0pe	Sim	Sim
234933368	EM*_GGA_399	B3Ve	Sim	Não
234933597	HD_46484	B0.5IVe	Sim	Sim
235376820	HD_50581	A0IVe	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
237544639	V742_Mon	B2IIIe	Sim	Sim
235488755	HD_266894	Be	Sim	Sim
235540713	HD_51506	B2.5IVe	Sim	Sim
237059039	HD_151113	B2Ve	Sim	Não
237532447	BD+00_1654	B8III	Não	Não
237651093	HD_50696	B1.5IIIe	Sim	Sim
237668110	V744_Mon	B1.5Ve	Sim	Sim
237840594	BD+04_1529	B9V	Não	Não
238513140	HD_250854	B5e	Sim	Não
238791674	CD-49_3441	B8e	Sim	Sim
246189955	HD_328990	A0e	Sim	Não
246796068	HD_152004	B3IVne	Sim	Não
247589847	BD+13_976	A0	Não	Não
247699160	HD_152541	B7Ve	Sim	Sim
250213274	HD_130534	B7Ve	Sim	Não
25256180	V728_Mon	B1.5IVe	Sim	Sim
253110498	HD_112512	B7Ve	Sim	Não
253177102	HD_112825	B1.5IVe	Sim	Não
253212775	V495_Cen	Be	Sim	Sim
253304151	HD_113260	B8.5IIIe	Sim	Não
253380837	HD_113573	B4Ve	Sim	Não
254340855	HD_139431	B2Vne	Sim	Não
256994805	V715_Mon	B3IIIe	Sim	Sim
257065501	HD_49585	B0.5:V:nn	Sim	Sim
258306961	HD_143700	B1.5Vne	Sim	Sim
25883580	HD_330950	B1Ve	Sim	Não
261992444	HD_112147	Be	Sim	Não
26311013	HD_149128	B7Ve	Sim	Não
263805130	HD_256577	B2IVpe	Sim	Sim
263806715	HD_44783	B9IIIe	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
264631173	V1372_Ori	B2Vne	Sim	Sim
265555524	HD_43913	Be	Sim	Sim
266322419	HD_64109	B8e	Sim	Sim
266656195	BT_CMi	B2Vne	Sim	Sim
267105647	HD_145301	B9IVne	Sim	Não
268351249	HD_102423	B9.5Ve	Sim	Não
269845286	HD_250163	B1.5Vnpe	Sim	Sim
269870654	HD_86272	B5Vne	Sim	Sim
27043894	BD+22_825	B8.5V	Não	Não
270934336	OR_Vel	B3Vne	Sim	Sim
270991656	HD_108051	B8IIIe	Sim	Não
271190727	HD_75658	B2.5ne	Sim	Sim
271379300	HD_70461	B6Ve	Sim	Não
271614171	HD_138131	B6Vne	Sim	Não
274590119	HD_143140	B8IIIe	Sim	Não
274907223	HD_86689	A3ne	Sim	Não
275927504	HD_143545	B1.5Vne	Sim	Não
276661825	EM*_CDS_521	HAeB[e]	Sim	Sim
278313134	HD_139314	B2e	Sim	Não
279307075	HD_139491	B9IVe	Sim	Não
279430029	HD_53048	B6Vne	Sim	Sim
280117704	CoRoT_102667801	B7V	Não	Não
280643259	EM*_RJHA_51	B5Ib	Não	Não
280835427	HD_83597	B2Ve	Sim	Não
281643356	V907_Cen	B2.5Ve	Sim	Sim
263875550	HD_126527	B9Ve	Sim	Sim
264631173	V1372_Ori	B2Vne	Sim	Sim
265555524	HD_43913	Be	Sim	Sim
266322419	HD_64109	B8e	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
266656195	BT_CMi	B2Vne	Sim	Sim
267105647	HD_145301	B9IVne	Sim	Não
268351249	HD_102423	B9.5Ve	Sim	Não
269845286	HD_250163	B1.5Vnpe	Sim	Sim
269870654	HD_86272	B5Vne	Sim	Sim
27043894	BD+22_825	B8.5V	Não	Não
270934336	OR_Vel	B3Vne	Sim	Sim
270991656	HD_108051	B8IIIe	Sim	Não
271190727	HD_75658	B2.5ne	Sim	Sim
271379300	HD_70461	B6Ve	Sim	Não
271614171	HD_138131	B6Vne	Sim	Não
274590119	HD_143140	B8IIIe	Sim	Não
274907223	HD_86689	A3ne	Sim	Não
275927504	HD_143545	B1.5Vne	Sim	Não
276661825	EM*_CDS_521	HAeB[e]	Sim	Sim
278313134	HD_139314	B2e	Sim	Não
279307075	HD_139491	B9IVe	Sim	Não
279430029	HD_53048	B6Vne	Sim	Sim
280117704	CoRoT_102667801	B7V	Não	Não
280643259	EM*_RJHA_51	B5Ib	Não	Não
280835427	HD_83597	B2Ve	Sim	Não
281643356	V907_Cen	B2.5Ve	Sim	Sim
281717549	HD_49787	B1Ve	Sim	Sim
281741629	BG_Phe	B5e	Sim	Sim
282207882	BD-05_1837	B7Ib/II	Não	Não
282306169	HD_50209	B9Ve	Sim	Sim
282808223	HD_50820	B3IVe	Sim	Sim
282899554	HD_50891	B0.5Ve	Sim	Sim
283206453	V746_Mon	B1.5IVe	Sim	Sim
284230347	HD_55806	B7IIIe	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
285187855	HD_138477	B7IIIe	Sim	Não
285699059	HD_74401	B1IIIne	Sim	Não
285916305	HD_65930	B2IIIe	Sim	Sim
286159211	HD_69651	B9Vne	Sim	Sim
28885389	HD_149298	B2IIe	Sim	Não
29051733	CD-46_4657	A1IIe	Sim	Não
290523979	HD_306657	B8e	Sim	Não
290525745	HD_306793	B3Ve	Sim	Não
290682353	V911_Cen	Be	Sim	Não
290682406	V855_Cen	Be	Sim	Não
29122883	GW_Vel	B2Vne	Sim	Sim
291385725	HD_254647	Bpe	Sim	Sim
291429783	HD_127112	B8Ve	Sim	Não
292362364	BD+01_1699	B5/7Ib:	Não	Não
292550464	HD_127515	B7.5Vne	Sim	Não
292674898	V1008_Cen	B2.5Vne	Sim	Sim
29277573	HD_38191	B1:V:ne:	Sim	Sim
293290586	HD_129842	B8.5IVe	Sim	Não
294125876	HD_42477	A0Vnne	Sim	Sim
294308857	HD_253084	B5e	Sim	Sim
294553294	CQ_Cir	B1Ve	Sim	Não
294852531	HD_298339	B2Vne	Sim	Sim
295099096	QR_Vel	B2Vne	Sim	Sim
295581098	HD_298377	B3Vne	Sim	Sim
29690468	CD-45_4676	B0.5IIIe	Sim	Não
29786229	HD_57551	B8IIIe	Sim	Sim
299022962	HD_83043	B2.5Vne	Sim	Sim
299035061	HD_120417	B9IVne	Sim	Não
299315060	MWC_521	B0V	Não	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
30051402	OU_Vel	B2Vne	Sim	Sim
300524274	HD_146381	B6IIIe	Sim	Não
301435200	HD_307350	B9e	Sim	Não
302348015	BD+13_895	B8	Não	Não
30444949	V958_Cen	B5Ve	Sim	Sim
305090822	HD_157273	B8.5Vne	Sim	Sim
30562668	HD_76838	B2IVe	Sim	Não
305629042	HD_103514	B6e	Sim	Não
305896243	HD_103574	B2Ve	Sim	Sim
306419817	HD_103872	B5e	Sim	Não
307100246	HD_104011	Be	Sim	Não
308748912	HD_68423	B6Ve	Sim	Sim
308760236	HD_106730	B0.5e	Sim	Não
308951795	HD_306145	B2Vne	Sim	Sim
309039248	CD-62_636	B7e:	Não	Não
309184049	HD_106960	B8IIIe	Sim	Não
31062736	IU_Vel	B2.5Vne	Sim	Sim
310645192	V471_Car	B5ne	Sim	Sim
31071126	CD-46_4821	Be	Sim	Não
311334494	HD_107609	B8.5IVe	Sim	Não
312909005	HD_116875	B8Ve	Sim	Sim
312931751	HD_116827	B3.5Vne	Sim	Não
313074666	V967_Cen	B0IIe	Sim	Não
313955481	V969_Cen	B3Ve	Sim	Não
314416691	HD_146357	B4IIIe	Sim	Não
31449841	HD_149610	B5Ve	Sim	Não
314868712	HD_146444	B2Vne	Sim	Sim
315036866	HD_117357	O9.5Ve	Sim	Não
315207705	HD_146501	B6Vne	Sim	Não
315679257	HD_146596	B5IVe	Sim	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
315830698	HD_99354	B1III _{ne}	Sim	Não
316279926	WRAY_15-1119	Be	Sim	Não
316792722	HD_99771	B7V _{ne}	Sim	Não
31753296	HD_160648	B6III _e	Sim	Sim
317666530	HD_118094	B8V _{ne}	Sim	Sim
317795621	HD_100199	B0.5III _{ne}	Sim	Não
3178733	HD_147580	B7V _e	Sim	Não
319152335	HD_57386	B1.5V _{nnpe}	Sim	Sim
319730932	BD+00_1516	B9	Não	Sim
319854805	HD_47359	B0IV _e	Sim	Sim
320228013	HD_308829	B5 _e	Sim	Não
321216538	HD_119162	Be	Sim	Não
322078735	V916_Cen	B0.5 _{ne}	Sim	Não
322104948	V644_Cen	B3V _e	Sim	Não
322233181	HD_306962	O _e	Sim	Não
323325708	HD_102189	B5 _e	Sim	Não
323348984	HD_37330	B5III	Sim	Sim
323612875	HD_102369	B8.5III _e	Sim	Não
323613746	HD_102352	B2V _{ne}	Sim	Não
324252945	HD_121195	B8IV(n) _e	Sim	Não
324268119	V801_Cen	B1V _{ne}	Sim	Não
324940394	HD_148907	B6V _e	Sim	Não
325237845	HD_102742	B3V _e	Sim	Não
325273334	V987_Cen	B5V _{ne}	Sim	Sim
326022066	HD_164050	B8V _e	Sim	Sim
32667467	HD_51452	B0IV _e	Sim	Sim
327913813	HD_122282	B6ps _{he}	Sim	Não
329059929	HD_122691	Be	Sim	Não
329060936	HD_122669	Be	Sim	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
330435560	HD_123131	B6.5Ve	Sim	Não
330719215	HD_123207	B6Vne	Sim	Não
33287617	HD_53032	A2e	Sim	Sim
33362448	V749_Mon	B4IVe	Sim	Sim
335092511	HD_124489	B8IVe	Sim	Não
335444921	CD-44_9840	B8V	Não	Não
337498268	HD_241570	B5ne	Sim	Sim
338532011	CD-60_4299	B2Ve	Sim	Não
338738989	HD_152060	B2Ve	Sim	Não
340633517	HD_63453	B9Vne	Sim	Sim
340878553	HD_141689	B2.5ne	Sim	Não
341040849	HD_64831	B8Vne	Sim	Sim
341262262	AS_214	B3	Não	Não
342201547	HD_69026	B1.5Ve	Sim	Sim
342257745	HD_322422	B1Ve	Sim	Não
343376491	MQ_TrA	Oe	Sim	Sim
344341901	HD_150930	B7IIIe	Sim	Não
347225198	HD_152358	Bpshe	Sim	Não
347529796	HD_152505	B2.5Vne	Sim	Não
347665026	V846_Ara	B3Vnpe	Sim	Sim
350472809	HD_147230	B7Ve	Sim	Não
35311214	HD_149729	B2Vne	Sim	Não
355553423	HD_79206	B3.5Vne	Sim	Sim
356521959	HD_77147	B8Ve	Sim	Sim
35735021	HD_149814	B6IVe	Sim	Não
358467471	HD_65663	B8Ve	Sim	Sim
358818468	HD_80459	B6Vne	Sim	Sim
363236260	HD_84523	B4Ve	Sim	Sim
369312341	HD_111054	B7IVe	Sim	Não
372913367	V373_Car	Be	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
374690639	HD_87366	B9IIIe	Sim	Sim
374753420	HD_87543	B7IVne	Sim	Sim
376480349	HD_104582	B8.5Ve	Sim	Não
378812108	HD_104552	B4e	Sim	Não
378996846	DG_Cru	B2Vne	Sim	Não
380117288	AI_Cru	B2IVe	Sim	Não
380224370	CI*_NGC_4103_SBW_5	B8e	Sim	Não
38118168	HD_78482	B8Ve	Sim	Não
381257866	HD_105675	Be	Sim	Não
381641106	CSI-62-12087	Be	Sim	Não
381747495	HD_105753	B2.5e	Sim	Não
382396569	CD-62_623	Be	Sim	Não
382611398	HD_106262	B8.5Ve	Sim	Não
382750740	CD-59_4161	O9.5Ve	Sim	Não
382795601	HD_144965	B3Vne	Sim	Não
383162375	HD_155352	B2Ve	Sim	Sim
383285551	HD_77032	B5Vne	Sim	Sim
383287960	HD_76985	B5Vne	Sim	Sim
383542260	V807_Cen	B4e	Sim	Sim
383763886	CD-44_9598	B6Ve	Sim	Não
384471407	HD_78328	B9.5IIIe	Sim	Sim
385626507	HD_79778	B2Vne	Sim	Sim
386024312	HD_80284	B5Vnne	Sim	Sim
388935225	MWC_675	HAeB[e]	Não	Não
389217256	HD_126693	B4Vne	Sim	Não
389576843	HD_169999	B8Vne	Sim	Sim
390071999	DK_Cru	B2IVne	Sim	Sim
394060863	V1010_Cen	B2Vne	Sim	Sim
395429445	HD_127756	B1.5Vne	Sim	Sim
399990331	HD_128477	B8.5IVe	Sim	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
400136687	HD_76568	B1Vne	Sim	Sim
401635731	V1012_Cen	B3Vne	Sim	Sim
405387285	HD_106793	B8.5IVe	Sim	Não
405577964	HD_111077	Be	Sim	Não
406341244	V952_Cen	B2Vne	Sim	Sim
408757239	V716_Cen	B5Ve	Sim	Sim
409791884	HD_71072	B4IIIe	Sim	Sim
410599289	HD_145846	B1.5ne	Sim	Não
411643280	HD_127782	B8Ve	Sim	Não
411933674	TYC_1283-1360-1	none	Não	Não
412140640	HD_147274	B8IIIe	Sim	Não
413296783	HD_125106	A0Ve	Sim	Sim
413350702	HD_125015	B7Vne	Sim	Sim
419585280	HD_110699	B6Vne	Sim	Não
420003853	HD_117411	B8Ve	Sim	Não
424884512	HD_140946	B2.5Vne	Sim	Não
426683285	CD-56_6163	Oe	Sim	Sim
427396133	HD_37115	B7.5V	Sim	Sim
427400331	HD_290662	A0Vpe	Sim	Sim
427451587	HD_37149	B8Ve	Sim	Sim
42753726	CW_Cir	B0.5Vne	Sim	Não
42889751	HD_45626	B7pshe	Sim	Sim
429143022	HD_101142	B5IIIe	Sim	Não
429433216	HD_250289	B2IIIe	Sim	Sim
429501634	HR_2116	B8V	Não	Não
429602037	BD+22_1147	B9	Não	Não
429863539	HD_43703	B1IV:p?	Sim	Sim
429900163	EM*_MWC_800	Be	Não	Sim
429944492	V963_Ori	B2IIpe	Sim	Sim
430248409	V364_Nor	B1Vne	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
434244626	HD_110625	B8.5IIIe	Sim	Não
434254190	BQ_Cru	Be	Sim	Não
434998753	HD_111363	B3IIIe	Sim	Não
435101969	HD_111408	B7IVe	Sim	Não
436378066	HD_312101	Be	Sim	Sim
436802660	HD_81354	B4Ve	Sim	Sim
43708176	HD_135354	B8Vne	Sim	Não
437371531	V480_Car	B2.5Ve	Sim	Sim
437994564	MWC_137	sgB[e]?	Sim	Sim
438103655	HD_44637	B2Vpe	Sim	Sim
438306275	PZ_Gem	O9pe	Sim	Sim
438877747	V946_Cen	B6IIIne	Sim	Sim
439164152	CPD-63_2495	B2e	Sim	Sim
439331111	HD_83060	B2Vnne	Sim	Sim
439430953	HD_83032	B7IIIe	Sim	Sim
440399815	HD_113605	B2.5ne	Sim	Não
441752709	HD_84361	B2.5Ve	Sim	Sim
442240473	HD_84511	Bpshe	Sim	Sim
442759685	HD_84777	B8Vne	Sim	Sim
443175014	HD_85083	B5IIIe	Sim	Sim
443317662	HD_45260	B8e	Sim	Sim
444676711	HD_85495	B4IIIe	Sim	Sim
445988959	HD_53416	B8e	Sim	Sim
447970564	CD-45_4826	Be	Sim	Não
449365065	V1369_Ori	B5Vpe	Sim	Sim
44938364	HD_251726	B1V:e	Sim	Sim
449459169	V1171_Cen	B3IVe	Sim	Não
450276053	V338_Car	B9e	Sim	Sim
450609787	HD_108295	B2.5Vne	Sim	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
450726617	HD_108418	B5Vne	Sim	Não
450826315	CPD-61_3212	Be	Sim	Não
45116246	IGR_J06074+2205	B0.5Ve	Não	Não
451280762	HD_99146	B3Ve	Sim	Não
451445219	HD_99467	B9IIIe	Sim	Não
45173995	TYC_1326-1188-1	A2	Não	Não
451875177	HD_304395	B8e	Sim	Não
454081779	HD_102383	B6Vne	Sim	Não
454559349	CU_Cir	B3Vne	Sim	Não
454778372	CV_Cir	B1.5IVne	Sim	Não
455389730	HD_131168	B2Ve	Sim	Não
455809360	CD-61_4751	Oe	Sim	Não
456446715	HD_136860	B8IVe	Sim	Não
457546452	HD_126986	B9IVne	Sim	Não
45904358	HD_253215	none	Sim	Sim
45904500	HD_253214	B1.5:V:nn	Sim	Sim
46022938	IV_Vir	symB[e]	Não	Não
460703129	DQ_Cru	B2IIIe	Sim	Sim
460976315	HD_137380	B9IIIe	Sim	Sim
46211527	HD_136250	B7Vne	Sim	Não
46226875	HD_75661	B2Vne	Sim	Sim
464643264	CCDM_J19106-6003AB	B9II/III	Não	Não
466353921	HD_95972	B2Vnne	Sim	Não
466527712	HD_306016	B2Ve	Sim	Não
466628058	HD_96357	B4Ve	Sim	Sim
466715331	HD_308217	B3Ve	Sim	Sim
466880435	HD_306085	B2Ve	Sim	Não
467027607	HD_306111	Oe	Sim	Não
467059272	V353_Car	B2Ve	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
467065657	HD_97253	O5IIIe	Sim	Sim
467199933	HD_97382	B6e	Sim	Não
467408384	HD_306209	B1Ve	Sim	Não
467409163	HD_306205	B0IIe	Sim	Não
467456980	HD_306267	Oe	Sim	Não
467821546	HD_306299	B2Ve	Sim	Não
468074636	HD_98624	B1Vne	Sim	Não
468095832	2E_1118.7-6138	O9.5IVe	Sim	Não
468195912	HD_98876	B5Vne	Sim	Não
469247028	HD_86119	B8.5IVe	Sim	Sim
470251115	HD_161705	B8IIIe	Sim	Sim
4827953	V647_Mon	B1Vne	Sim	Sim
51033628	HD_72043	B8e	Sim	Sim
51288359	HD_151083	B2Vne	Sim	Não
52748770	HD_47160	B8IVe	Sim	Sim
52929072	HD_71042	B2.5ne	Sim	Não
53301259	CD-44_4392	B2IVe	Sim	Sim
53327951	V733_Mon	B2Vpe	Sim	Sim
5528993	HD_89884	B5IIIe	Sim	Sim
55295028	HD_33599	B2Vpe	Sim	Sim
56447057	HD_151743	B8IVe	Sim	Não
6110321	SS_120	B8e:	Não	Não
61566852	HD_179253	B7Ve	Sim	Sim
61678783	HD_56670	B0.5Ve	Sim	Não
64333488	AS_150	symB[e]	Sim	Não
65672662	V763_Mon	B5e	Sim	Sim
68003064	HD_62367	B9e	Sim	Sim
70966650	HD_140336	Oe	Sim	Não
72168603	AS_119	unclB[e]	Não	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
73039225	V695_Mon	B2.5Ve	Sim	Sim
73759997	V864_Ara	B7Vnnpe	Sim	Sim
75210369	HD_79811	B5Ve	Sim	Não
75581184	HD_80156	B8.5IVe	Sim	Não
75708438	HD_140883	B6Vnne	Sim	Não
76336597	QQ_Vel	B5nne	Sim	Não
76556351	HD_140843	B5IIIe	Sim	Sim
79823872	HD_151242	B5IIIe	Sim	Não
80719034	HD_67985	B8Vne	Sim	Sim
80899869	HD_67978	B2Vnne	Sim	Sim
81615536	HD_69168	B2Ve	Sim	Sim
81859368	HD_69404	B2Vnne	Sim	Sim
82370215	HD_70064	B5Ve	Sim	Sim
84513533	HD_141926	B2nne	Sim	Não
85001695	V1063_Sco	B4IIIe	Sim	Não
89593655	HD_142237	B2Vne	Sim	Não
90296023	FY_Vel	B2IIpshe	Sim	Sim
90836305	HD_142349	B5IVe	Sim	Não
91689592	BD+12_938	none	Não	Não
12725034	del_Sco	B0.2IVe	Sim	Sim
19116828	5_Cnc	B9.5Vne	Sim	Sim
19704573	zet_Tau	B2IVe	Sim	Sim
23037766	NV_Pup	B2Ve	Sim	Sim
23091719	NW_Pup	B2IVne	Sim	Sim
26175330	17_Sex	A1Ve	Sim	Sim
27141005	105_Tau	B2Ve	Sim	Sim
29628522	IY_CMa	B3Ve	Sim	Sim
33993533	HD_43544	B2.5Ve	Sim	Sim
46028220	f_Car	B3Vne	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
46705199	gam_Cir	B5IVe	Sim	Sim
46943830	nu_Gem	B6IIIe	Sim	Sim
47296054	eps_PsA	B8Ve	Sim	Sim
52638345	10_CMa	B2IIIe	Sim	Sim
52665242	HD_47054	B7IIIe	Sim	Sim
52686322	HP_CMa	B2IIIe	Sim	Sim
52982382	kap_CMa	B1.5Ve	Sim	Sim
53063082	HZ_CMa	B6Vnpe	Sim	Sim
53992511	UU_PsA	B4IVne	Sim	Sim
56179720	56_Eri	B2Ve	Sim	Sim
65803653	27_CMa	B3IIIe	Sim	Sim
65903024	ome_CMa	B2IVe	Sim	Sim
71132174	228_Eri	B2Vne	Sim	Sim
71727949	V696_Mon	B2Vne	Sim	Sim
75047606	HD_79621	B9Ve	Sim	Sim
81584371	FV_CMa	B2Vnne	Sim	Sim
111384365	NO_CMa	B5IIIne	Sim	Sim
118842700	QV_Tel	B3IIIpe	Sim	Sim
124921846	HD_44506	B1.5Ve	Sim	Sim
125080827	kap_Lup	B9.5Vne	Sim	Sim
127493611	omi_Pup	B1IVnne	Sim	Sim
128116539	eta_Cen	B1.5Vne	Sim	Sim
134653865	V817_Cen	B3IVe	Sim	Sim
139385056	FY_CMa	B1IIe	Sim	Sim
140006471	HD_72067	B2Vne	Sim	Sim
140031673	HD_71510	B2Ve	Sim	Sim
140214221	alf_Col	B9Ve	Sim	Sim
141973945	bet_Hya	B9IIIspe	Sim	Sim
144028101	mu_Lup	B8Ve	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
146036695	r_Pup	B1.5IIIe	Sim	Sim
151300497	V1075_Sco	O8Ve	Sim	Sim
174008063	z_Pup	B3Vne	Sim	Sim
175523591	V392_Pup	B7Ve	Sim	Sim
191913102	51_Oph	A0Ve	Sim	Sim
201373582	HD_42054	B4IVe	Sim	Sim
217667184	iot_Ara	B2IIIne	Sim	Sim
220322383	15_Mon	B1Ve	Sim	Sim
220531502	V1040_Sco	B2Ve	Sim	Sim
224244458	bet_Scl	B9.5IVmnpe	Sim	Sim
243647020	mu_Cen	B2Vnpe	Sim	Sim
258704817	CO_Cir	B2.5Ve	Sim	Não
259449942	V378_Pup	B2.5Ve	Sim	Sim
124328133	HD_51404	B1.5Ve	Sim	Sim
124407255	V747_Mon	B3Ve	Sim	Não
125221242	HD_154170	B9IIIe	Sim	Sim
125406140	BD-06_1895	Be	Sim	Sim
125759847	HD_154314	B9IIIe	Sim	Sim
126125347	HD_134484	B9IIIe	Sim	Não
126460390	HD_134671	B7Ve	Sim	Não
126899506	HD_298298	B0e	Sim	Sim
131104893	HD_63988	B8Ve	Sim	Sim
138187342	HD_136556	B2.5Vne	Sim	Não
139472176	HD_14850	B8Ve	Sim	Sim
139870215	HD_71823	B3Vne	Sim	Sim
140001327	HD_72014	B1.5Vnne	Sim	Sim
140132301	HD_72126	B2nne	Sim	Não
140300162	NR_Vel	B2Ve	Sim	Sim
140702159	HIP_42007	B8.5V	Sim	Não

Apêndice B

Tabela referente a parte norte da amostra de 50 estrelas Be e a disponibilidade de espectros no banco BeSS

Para a realização das Tabelas A.1 e B.1 no formato de texto do LaTeX, uma macro para o Excel foi utilizada, transformando as tabelas originais em texto *source* do LaTeX. A Tabela B.1 diz respeito aos primeiros 50 objetos separados do hemisfério norte (ano 2).

Tabela B.1 - Resultados para as 50 estrelas Be do segundo ano do TESS a respeito da existência de observações espectroscópicas.

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
351056971	V558_Lyr	B3Ve	Sim	Sim
370042412	7_Vul	B5Vne	Sim	Sim
263507163	BD+21_3985	A0	Não	Não
297915380	BD+23_3932	B9	Não	Não
278727918	HD_177648	B2Ve	Sim	Sim
244327575	HD_339483	B1IIIe	Sim	Sim
30715501	HD_181409	B2IVe	Sim	Sim
359326345	HD_344313	B2Vpe	Sim	Sim
300618770	HD_345122	B3Ve	Sim	Sim
257345190	BD+22_3902	A3	Não	Não
393101042	BD+30_3526	A0IIe	Sim	Sim
424318140	HD_190150	B6IV-Ve	Sim	Sim
282890996	BD+26_3745	B9.5V	Não	Não
122685270	BD+38_3568	B8V	Não	Não

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
393662110	V372_Sge	B0.5IIIe	Sim	Sim
103994174	BD+30_3853	B7V	Não	Não
103368976	HD_189689	B9e	Sim	Sim
300496016	HD_345120	B5e	Sim	Sim
360049948	HD_344800	B2Vnne	Sim	Sim
435428763	HD_344873	B0IIe	Sim	Sim
338189559	MWC_314	sgB[e]?	Sim	Sim
83193772	HD_225985	B1Vpshe	Sim	Sim
103884682	HD_333226	B1Ve	Sim	Sim
138486206	11_Cyg	B8Vne	Sim	Sim
243488675	BD+20_4657	B8	Não	Não
239489156	HD_333452	B0IIIInpe	Sim	Sim
423891325	VES_95	B7IIIIn	Não	Não
360061080	HD_344783	B0IVe	Sim	Sim
87817236	MWC_623	symB[e]	Não	Não
99115271	25_Vul	B6IVe	Não	Não
48022676	CX_Dra	B4IVe	Não	Não
245286665	20_Vul	B7Ve	Não	Não
299630806	V396_Vul	B2Ve	Não	Não
159117671	HD_112028	A1IVsh	Sim	Sim
148917425	kap_Dra	B6IIIe	Sim	Sim
42360166	28_Cyg	B2.5Ve	Sim	Sim
14200511	V2119_Cyg	B2IIIe	Sim	Sim
120967488	iot_Lyr	B6IV	Sim	Sim
452456703	QR_Vul	B3V	Sim	Sim
173066803	25_Cyg	B3IVe	Sim	Sim

TIC	Nome Usual	Tipo Espectral	Registro no BeSS	Possui dado
14411033	MWC_1016	B0.2III	Não	Não
187779407	BD+46.2948	B1Vnne	Sim	Sim
194129618	BD+44.3475	none	Não	Não
16187387	HD_195407	B0IVpe	Sim	Sim
380407422	HD_331976	B0pe	Sim	Sim
273897184	HD_193516	B2IIIe	Sim	Sim
15126043	HD_194779	B3IIe	Sim	Sim
41777648	HD_191378	A5e	Sim	Sim
12149788	EM*_AS_396	B2.5IVe	Sim	Sim
312232757	HD_228438	B0.5IIIe	Sim	Sim

Apêndice C

Tabela referente às estrelas com eventos de construção
de disco

Nos Apêndices C, D, E e F, os objetos identificados nos quatro eventos definidos no Capítulo 4 possuem observações espectroscópicas concomitante à data em que o TESS visitou o alvo. Apenas estão presentes as informações básicas dos objetos; sendo omitidas as figuras produzidas.

Tabela C.1 - Estrelas Be com eventos de construção de disco organizadas por nome, tipo espectral e magnitude aparente V.

Nome	Tipo Espectral	V_{ap}
228 Eri	B2Vne	5,41
ϵ PsA	B8Ve	4,18
HD 72043	B8e	8,41
HD 195407	B0IVpe	7,51
QV Tel	B3IIIpe	5,36
V744 Mon	B1.5Ve	8,07
V1374 Ori	B8e	7,48
ζ Tau	B2IVe	3,03

Apêndice D

Tabela referente às estrelas com eventos de dissipação
de disco

Tabela D.1 - Estrelas Be com eventos de dissipação de disco organizadas por nome, tipo espectral e magnitude aparente V.

Nome	Tipo Espectral	V_{ap}
56 Eri	B2Ve	5,81
β CMi	B2Vne	7,96
HD 38856	B5Ve	7,35
HD 51506	B2.5IVe	7,81
V378 Pup	B2.5Ve	5,70
V763 Mon	B5e	8,00

Tabela referente às estrelas com eventos isolados de disco

Tabela E.1 - Estrelas Be com eventos isolados de disco organizadas por nome, tipo espectral e magnitude aparente V.

Nome	Tipo Espectral	V_{ap}
HD 37149	B8Ve	8,14
ι Lyr	B6IVe	5,25
OT Gem	B2Ve	6,48
V749 Mon	B4IVe	7,41
V1369 Ori	B5Vpe	6,62

Tabela referente às estrelas com discos estacionários

Tabela F.1 - Estrelas Be com discos estacionários organizadas por nome, tipo espectral e magnitude aparente V.

Nome	Tipo Espectral	V_{ap}
105 Tau	B2Ve	5,92
AX Mon	B2IIpshev	5,82
δ Sco	B0.2IVe	2,32
HD 37330	B5III	7,57
HD 44783	B9IIe	6,31
HD 47054	B7IIe	4,48
HD 62367	B9e	7,27
ν Gem	B6IIe	4,14
ϕ Pup	B1IVnne	5,12
V695 Mon	B2.5Ve	6,52
V696 Mon	B2Vne	5,21
V742 Mon	B2IIe	6,77
V743 Mon	unclB[e]	6,28
V1372 Ori	B2Vne	7,51

Plano de observação do céu pelo satélite TESS

Inicialmente, o plano da missão era cobrir todo o céu por dois anos, dividindo-o em 26 diferentes setores, cada um 24° por 96° . As câmeras na espaçonave então examinariam cada setor por aproximadamente 27 dias (em duas órbitas geocêntricas), observando as estrelas mais brilhantes em uma cadência de 2 minutos.

Além disso, o campo de visão é orientado ao longo de uma linha de longitude eclíptica com o ajuste de mira do instrumento geralmente apontado para $\pm 54^\circ$ de latitude eclíptica, que centraliza a Câmera 4 em um polo eclíptico. Com essa orientação planejada, uma região com diâmetro de 24° centralizada no polo eclíptico pode ser observada de maneira contínua por aproximadamente 1 ano (ver Ricker et al. 2015).

Devido à grande contribuição científica até o momento, a missão foi estendida para 4 anos no total. Durante o primeiro ano da missão (julho de 2018 até julho de 2019), o hemisfério sul eclíptico foi observado. Durante o segundo ano da missão (julho de 2019 até julho de 2020), o hemisfério norte foi observado. O terceiro ano da missão (julho de 2020 até julho 2021) está em andamento, e o hemisfério sul eclíptico está sendo re-observado, sem modificações. O último ano da missão (julho de 2021 até setembro de 2022) pretende abordar 16 setores; algumas partes do hemisfério norte eclíptico será re-observado, porém uma faixa de 240° da eclíptica também vai ser observada (pela primeira vez).

Além da busca por exoplanetas, a missão TESS permite também pedidos de alvos adicionais através do programa denominado *Guest Investigator*. As Figuras G.1 e G.2 mostram a esquemática da divisão do céu para os dois primeiros anos, enquanto que as Figuras G.3 e G.4 finalizam com a divisão do céu para os dois últimos anos. Todas as imagens deste Apêndice G foram retiradas de NASA 2018b, visando apenas o uso científico.

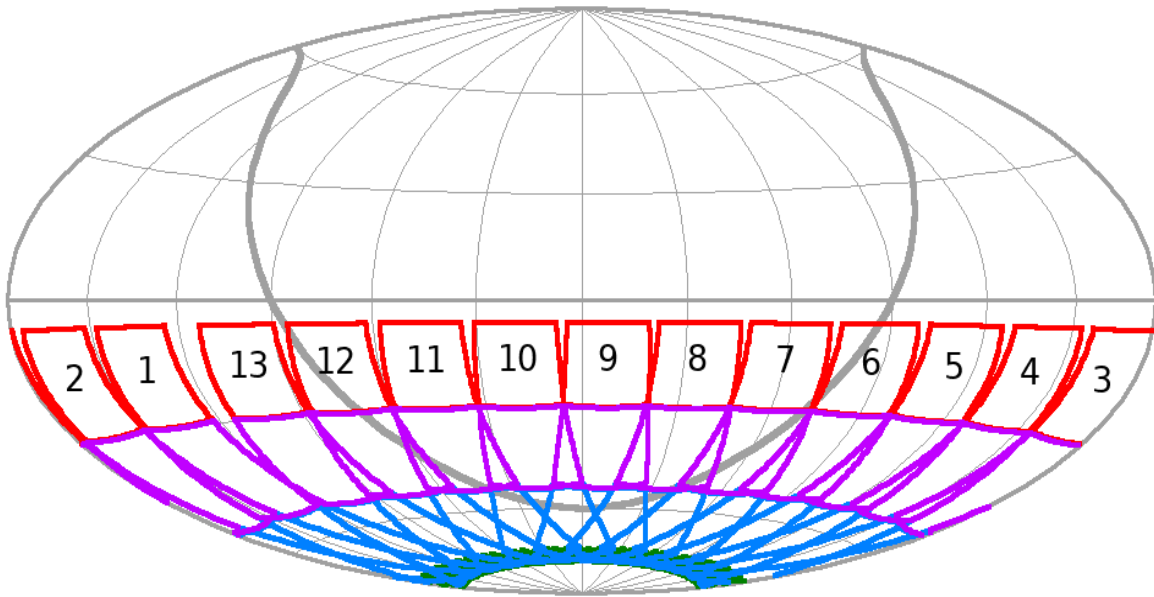


Figura G.1: Divisão setorial do céu para o ano 1, contendo os setores 1 a 13. O instrumento mirou para uma declinação eclíptica de -54° para cada um dos setores.

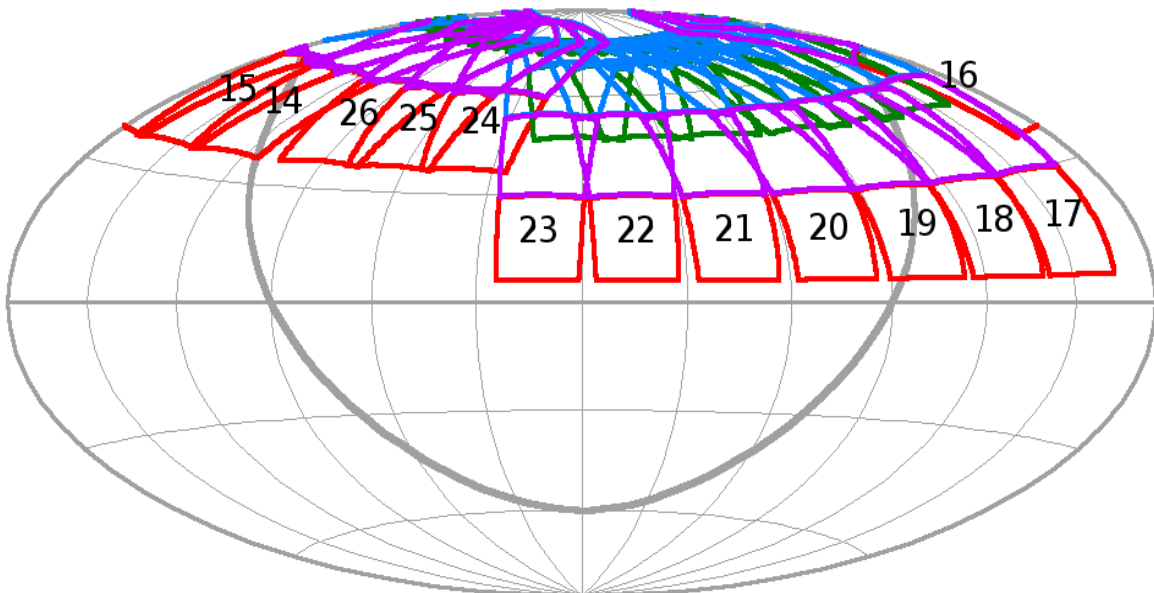


Figura G.2: Divisão setorial do céu para o ano 2, contendo os setores 14 a 26. O instrumento mirou para uma declinação eclíptica de $+54^\circ$ para cada um dos setores.

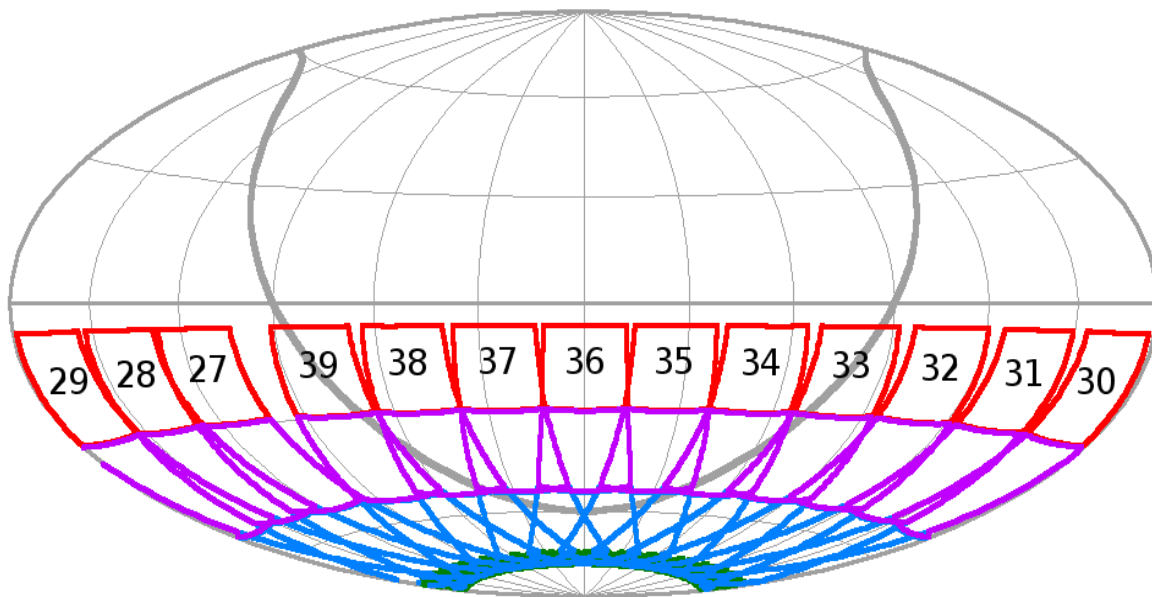


Figura G.3: Divisão setorial do céu para o ano 3, contendo os setores 27 a 39, idênticos aos do primeiro ano. O instrumento mirou para uma declinação eclíptica de -54° para cada um dos setores.

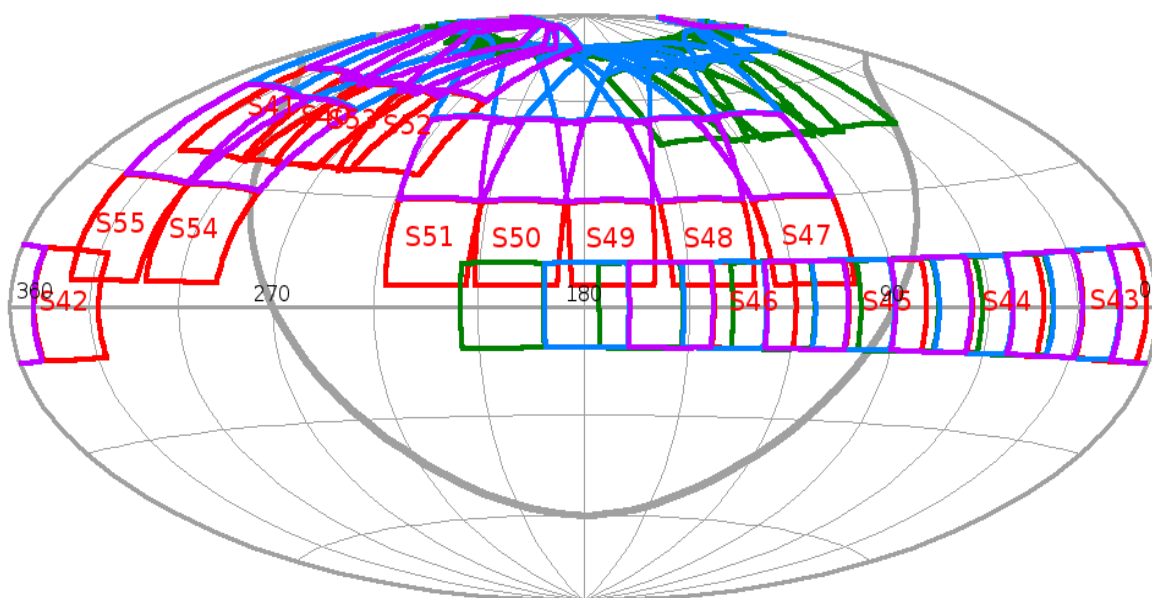


Figura G.4: Divisão setorial do céu para o ano 4, contendo os setores 40 a 55. Os setores 40 e 41 são equivalentes aos setores 14 e 15, em uma latitude eclíptica de $+85^\circ$; Os setores 42 a 46 são parte da eclíptica. Os últimos setores estão no hemisfério norte, em uma latitude de $+54^\circ$.