

OBTENÇÃO DE PARÂMETROS ESTELARES DA ESTRELA T TAURI MON-250

MARCUS VINICIUS GRILO DA SILVA

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Física, Av. Marechal Rondon S/N, 49100-000, São Cristóvão, SE, Brasil
Draft version 15 de setembro de 2017

Resumo

Estudar estrelas jovens é essencial para compreender como são formados as estrelas e os planetas. O Sol é uma estrela de baixa massa da Sequência Principal, mas em seus estágios iniciais já foi uma estrela T Tauri, portanto, estudar estrelas da Pré Sequência Principal colabora no entendimento dos fenômenos que originaram o Sistema Solar. O modelo atual de acreção magnetosférica tem explicado muitas características que são observadas nas estrelas T Tauri Clássicas (ETTCs). No entanto, ainda existem muitas questões não resolvidas.

O intuito desse trabalho é extrair parâmetros atmosféricos da estrela T Tauri Mon-250, que segundo estudos recentes, apresenta evidências claras de funis de acreção e de manchas quentes.

Os espectros utilizados nesse trabalho foram obtidos com o espectrógrafo FLAMES do VLT, na campanha CSI 2264. Para fazer a análise espectral foram utilizados os programas: IDL, iSpec, BinMag e SME. O método utilizado para obter os parâmetros foi o método do ajuste espectral sintético.

Os ajustes tiveram um resultado satisfatório e o valor encontrado para o $\log g$ concorda bem com os valores encontrados na literatura para estrelas jovens. Um estudo mais aprofundado comprovará se os resultados obtidos estão coerentes.

Palavras chave: formação estelar, disco, estrela T Tauri, acreção, espectro, ajuste espectral, parâmetros estelares.

1. INTRODUÇÃO

Entender os processos físicos envolvidos na formação das estrelas é um dos grandes desafios da Astronomia. Devido a isso, diversos telescópios espaciais e terrestres estão sendo utilizados em várias regiões do espectro eletromagnético, desde o rádio até os raios-X, para o desenvolvimento no estudo da formação estelar. O avanço das técnicas observacionais tem fornecido grandes descobertas e a construção de modelos teóricos cada vez mais consistentes com os fenômenos observados. Apesar de ter ocorrido muitos avanços, muitas questões ainda permanecem sem respostas e precisam ser estudadas para a progressão no entendimento dos fenômenos físicos que ocorrem na formação das estrelas.

As estrelas têm origem em nuvens moleculares gigantes constituídas de gás e poeira (Fig. 1), sendo a maior parte do gás composta de H_2 . Essas nuvens são muito frias, com temperaturas da ordem de 10-20K, apresentam estrutura espacial irregular e densidade variável. Existem núcleos mais densos (Fig. 2-a) que podem colapsar em uma situação de desequilíbrio de forças. Isso ocorre quando a força gravitacional é maior que as forças que agem em oposição, como a pressão do gás, movimentos turbulentos e campos magnéticos (Fig. 2-b). O colapso dos núcleos vai dar origem aos objetos jovens centrais, as protoestrelas, que se encontram embebidas em um envelope de gás e poeira (Fig. 2-c). As protoestrelas vão acumular o material em volta delas e se atingirem a temperatura suficiente para fundir hidrogênio em hélio, podem se tornar estrelas estáveis (Fig. 2-f) (Hartmann, 2009). Existe uma grande diferença de tamanho entre as protoestrelas e os núcleos da nuvem que as originam. Devido a essa redução drástica de tamanho, uma pequena rotação inicial do núcleo é extremamente intensificada pela conservação do momento angular. A conservação do momento angular durante o colapso gravitacional gera um objeto que gira rapidamente em torno da protoestrela,



FIG. 1.— Imagem do aglomerado estelar jovem NGC 2264. No centro inferior da imagem está uma região de formação estelar, a Nebulosa do Cone, seu formato foi esculpido pelos ventos de estrelas próximas. T.A. Rector (NRAO/AUI/NSF e NOAO/AURA/NSF) e B.A. Wolpa (NOAO/AURA/NSF)

um disco (Fig. 2-c). Num estágio posterior, no disco circum-estelar, os grãos de poeira podem se aglomerar e formar planetas (Fig. 2-f). Sendo assim, a origem das estrelas e a origem dos planetas estão conectadas. Compreender o processo de transferência de matéria entre o disco e a estrela é fundamental para entender a formação dos planetas (Hartmann et. al. 2016).

O envelope de poeira ao redor das protoestrelas causa uma alta extinção e obscurece a região central, dificultando o estudo da fase na vida da estrela quando ocorre o transporte de matéria do disco para a protoestrela. O processo de acreção de matéria é melhor compreendido

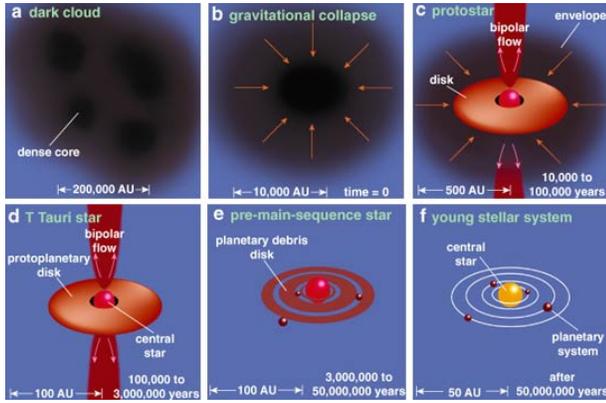


FIG. 2.— Ilustração das várias fases que uma estrela passa ao longo de seu processo evolutivo. (Greene, 2001)

na fase em que o envelope que envolve a estrela já se dispersou, devido a acreção e ao vento estelar, e o disco protoplanetário ainda não se dispersou. Nessa situação, o objeto central se torna opticamente visível. Estrelas jovens de baixa massa ($\leq 2M_{\odot}$) em tais condições são chamadas Estrelas T Tauri (ETTs) (Fig. 2-d) (Hartmann, 2009).

Para explicar as fortes linhas de emissão e o forte contínuo das Estrelas T Tauri, foi feita a suposição de que essas linhas eram causadas por atividade magnética do tipo solar (Hartmann et al. 2016). No entanto, verificou-se que apesar de várias dessas estrelas apresentarem linhas de emissão e contínuo coronais, em muitas estrelas, os excessos de emissão são explicados pela energia liberada na acreção de massa do disco à estrela. As Estrelas T Tauri Clássicas (ETTCs) em suas distribuições espectrais de energia (DEE) apresentam excesso no infravermelho (e.g., Teixeira et al. 2012), no óptico e no ultravioleta (Bouvier et al. 2007b). Elas apresentam largas linhas de emissão (principalmente na série de Balmer), linhas de emissão proibidas e emitem fortemente também em raios-X (e.g., Preibisch et al. 2005). As Estrelas T Tauri Fracas (ETTFs) não apresentam nenhuma dessas características e possuem excesso de emissão inferior, consistente com atividade magnética do tipo solar, tornando evidente que essas estrelas não possuem disco de acreção (e.g., Meyer 2009).

O material do disco das ETTCs é conduzido para a vizinhança da estrela. Na borda interna do disco, o material é aquecido a uma temperatura ($\sim 1000\text{K}$) em que a poeira é sublimada. A poeira quente da parte interna do disco reprocessa a radiação da estrela, absorvendo e a reemitindo em comprimentos de onda maiores, sendo causadora de boa parte do excesso em infravermelho na distribuição espectral da estrela. As estrelas T Tauri apresentam fortes campos magnéticos ($\sim 1\text{-}2\text{ kG}$) (Johns-Krull et al. 2001). Segundo modelos de magneto-hidrodinâmica (MHD) (e.g., Kurosawa & Romanova 2013), a magnetosfera da estrela deve truncar o disco em poucos raios estelares, num ponto em que a pressão magnética e a pressão do gás do disco estão aproximadamente em equilíbrio. A distância desse ponto à estrela é definido como raio de truncamento. Dessa forma, o material da parte interna do disco é forçado a seguir as linhas de campo magnético até a estrela, formando o que são chamadas de colunas de acreção (Bessolaz et al. 2008). Nessas colunas o gás é aquecido a temperaturas

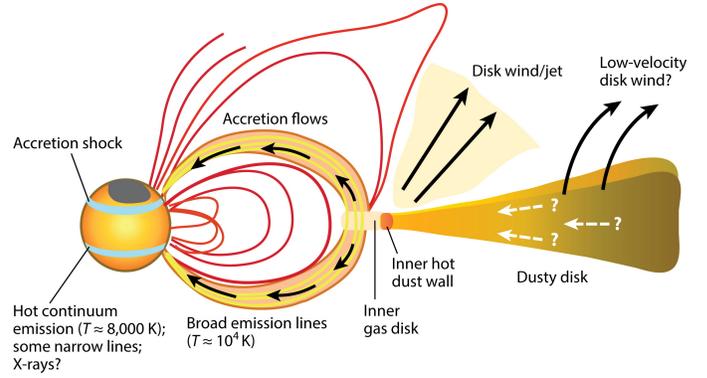


FIG. 3.— Ilustração da acreção magnetosférica em uma estrela jovem de baixa massa. (Hartmann et al. 2016)

de $\sim 8000\text{K}$ ou superiores, produzindo largas linhas de emissão, principalmente da série de Balmer do hidrogênio. O gás se move nas colunas com velocidades próximas a velocidade de queda livre e se chocam com a superfície, aquecendo a região de colisão, produzindo manchas quentes que possuem temperaturas da ordem de $T \sim 10^6\text{ K}$. Nessa região de choque ocorre emissão em raios-X, que é reprocessado, causando os fortes excessos em ultravioleta (UV) e linhas de emissão estreitas na DEE. O processo de transporte de matéria do disco circum-estelar para a estrela é chamado de acreção magnetosférica (Ver Fig. 3). Esse processo tem um papel essencial na formação da estrela, fornecendo massa e removendo momento angular através de ventos e jatos (Bouvier et al. 2006); afeta a evolução do disco, já que as radiações energéticas no UV e raios-X influenciam no tempo de vida do disco; e também na determinação das propriedades das regiões em que os planetas vão se formar.

Chamamos de velamento o fluxo adicional ao fluxo fotosférico, que faz com que as linhas de absorção pareçam menos profundas do que em estrelas que não sofrem magneto- acreção (como as ETTFs). O velamento ocorre muito no ultravioleta, no infravermelho e no óptico nas ETTCs.

A emissão associada com a acreção surge em várias regiões do sistema disco-estrela, com diferentes propriedades físicas. As linhas de emissão largas são produzidas nos fluxos com velocidades próximas a velocidade de queda livre (Bonnell et al. 1998). Existem também linhas proibidas que são produzidas nos ventos estelares impulsionados pela acreção. O perfil das linhas pode dar indícios das regiões que elas são formadas. Linhas com larguras comparáveis à velocidade de queda livre são formadas na magnetosfera, enquanto que linhas estreitas provavelmente são formadas na região de choque (Hartmann et al. 2016).

A distribuição espectral de uma ETTC é constituída de linhas de emissão e contínuo devido à fotosfera, à coroa, ao fluxo de acreção magnetosférico e ao choque de acreção. Para determinar a emissão devida à energia de acreção, ou seja, o excesso, o espectro fotosférico é subtraído do espectro observado (espectros fotosféricos sintéticos podem ser gerados em programas computacionais).

Uma das características típicas das ETT é a variabilidade (Joy et al. 1945). As manchas quentes e frias, a extinção causada pelo disco e a variação da taxa de acreção são fatores que colaboram para a rica variabi-

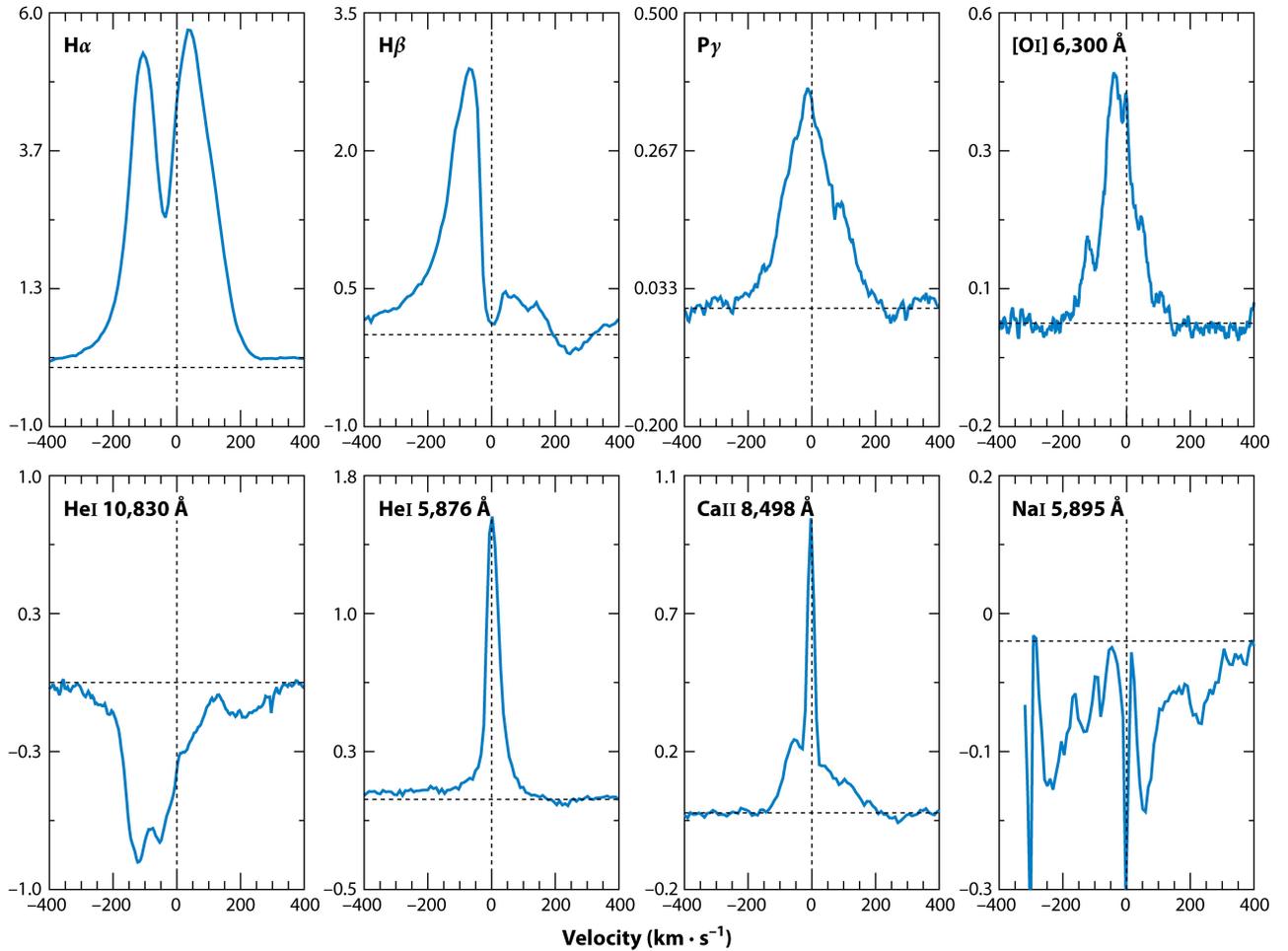


FIG. 4.— Essa figura apresenta os perfis de algumas linhas de emissão estreitas e largas da ETTC DK Tau. A linha $H\alpha$ apresenta absorção gerada por ventos, desviada para o azul, sobre a linha de emissão larga. As linhas $H\beta$ e Paschen γ ($P\gamma$) não apresentam absorção desviada para o azul devido à baixa profundidade óptica da região em que são formadas; em vez disso, apresentam um pico de emissão aproximadamente central e, juntamente com o dupletto de ressonância NaI, possuem absorção desviada para o vermelho, característica dos modelos de acreção magnetosférica. A linha de emissão larga do [OI] 6.300 Å, desviada para o azul, é formada nos ventos ou jatos. Observa-se que a linha do HeI 10.830 Å apresenta tanto componentes de absorção desviadas para o azul (BACs) (produzidas por ventos) como componentes desviadas para o vermelho (RACs), os RACs são gerados pelos fluxos de matéria nas colunas de acreção. As linhas do HeI 5.876 Å e do CaII são exemplos de linhas estreitas, centradas na velocidade da estrela, que surgem na região de choque. (Hartmann et al. 2016)

lidade das ETTC (e.g., Herbst et al. 1994, Grankin et al. 2007). As ETTC são variáveis fotometricamente e espectroscopicamente em várias regiões do espectro eletromagnético. Linhas de emissão podem variar sua intensidade e forma rapidamente, em horas ou dias (e.g., Johns & Basri 1995a; Muzerolle et al. 1998; Costigan et al. 2014). Estrelas como AA Tau podem apresentar variabilidade fotométrica periódica, causada por manchas quentes e frias ou pela extinção da poeira circum-estelar (Bouvier et al. 2007a; Alencar et al. 2010). Da análise fotométrica é possível obter estimativas da distribuição de poeira na linha de visão, quando o disco interno oculta a estrela à medida que o sistema gira, se o ângulo de inclinação do sistema disco-estrela é favorável.

Com base em modelos MHD (e.g., Kulkarni & Romanova 2009; Romanova et al. 2009, 2013; Kurosawa & Romanova 2013), as ETTC podem sofrer acreção em um regime estável ou instável. O regime estável ocorre quando existe um desalinhamento entre o eixo de rotação e o eixo magnético. Nessa situação existem duas colunas de acre-

ção principais conectando o disco à superfície da estrela. A interação entre o disco e a estrela eleva a poeira do disco interno acima do plano médio do disco de acreção por causa de instabilidades magnetorotacionais (Turner et al. 2010). Isso gera uma deformação (*warp* em inglês) no disco, que é opticamente espesso, próximo do raio de truncamento. Nas extremidades das colunas conectadas superfície estelar surgem manchas quentes. As observações mostram que a existência desse desalinhamento entre eixo de rotação e eixo magnético é comum (Gregory et al. 2012).

Se o sistema disco-estrela em um regime de acreção estável é visto de uma baixa inclinação o fluxo da estrela na curva de luz será periódico devido ao movimento das manchas quentes. Se o mesmo sistema é visto de uma alta inclinação, o fluxo observado também será periódico, mas nesse caso devido a extinção causada pela poeira na deformação na parte interna do disco na linha de visada (McGinnis et al. 2015).

No regime instável, vários fluxos de acreção surgem em

regiões aleatórias, produzindo várias manchas quentes, devido as instabilidades Rayleigh-Taylor entre o disco de acreção e a magnetosfera da estrela (Sousa et al. 2016).

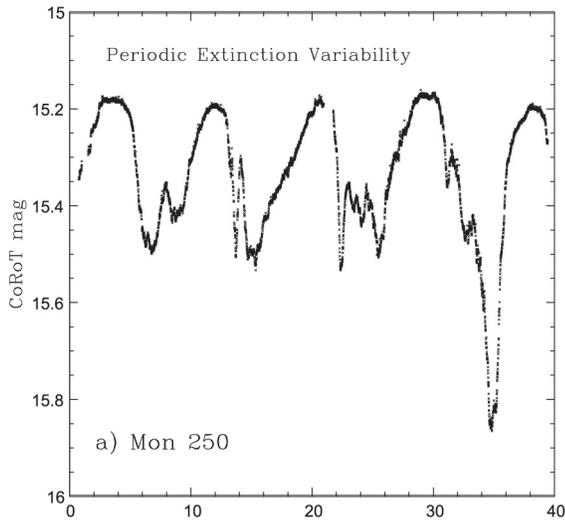


FIG. 5.— Nessa curva de luz de Mon-250, é claramente perceptível a periodicidade do fluxo. Essa periodicidade está associada a extinção causada pelo material circunestelar. (Stauffer et al. 2015)

O objeto de estudo desse trabalho é uma ETTC chamada CSIMon-000250 (para brevidade do texto, será chamada de Mon-250) que se localiza no aglomerado estelar jovem NGC 2264. Na tabela 1 estão algumas propriedades físicas de Mon-250. Essa estrela apresenta modulação fotométrica no óptico e variabilidade espectroscópica. O mecanismo considerado responsável pela periodicidade observada em sua curva de luz (Fig. 5), sendo que ela é vista em uma alta inclinação ($i = 62^\circ \pm 28^\circ$), é a deformação na parte interna do disco de acreção (McGinnis et al. 2015). Nas fases centrais dos eclipses, observa-se no espectro de Mon-250, absorções desviadas para o vermelho. Isso indica que a coluna de acreção aparece na nossa linha de visada nos momentos que o fluxo diminui, sendo que o material na coluna de acreção, responsável pela absorção, se afasta, em direção à superfície da estrela, com relação a um referencial na Terra. Portanto, Mon-250 apresenta fortes evidências de funis de acreção.

2. OBJETIVOS

O propósito desse trabalho é analisar os dados espectroscópicos de Mon-250 obtidos pelo espectrógrafo FLAMES do VLT, aplicando o método do ajuste espectral sintético, e a partir dessa técnica determinar os valores dos parâmetros estelares gravidade superficial ($\log g$) e metalicidade ($[M/H]$).

3. OBSERVAÇÕES

Para compreender os processos físicos responsáveis pela rica variabilidade observada nas ETTCs, de dezembro de 2011 a janeiro de 2012, uma campanha internacional chamada Coordinated Synoptic Investigation of NGC 2264 (CSI 2264) foi organizada para observar NGC 2264 simultaneamente em 15 telescópios (11 telescópios terrestres e 4 telescópios espaciais) tais como: o Chandra

(raios-X) durante 3,5 dias, o Spitzer (infravermelho) durante 29 dias e o FLAMES no VLT/ESO, que realizou espectroscopia durante 20 noites (Cody et al. 2014). O conjunto dos dados adquiridos com essa campanha permite uma vasta análise dos fenômenos físicos que acontecem nas ETTCs, de forma nunca feita antes, já que CSI 2264 foi pioneira em obter informações fotométricas e espectroscópicas que cobrem um amplo intervalo em comprimentos de onda, de raios-X até infravermelho, em longa escala temporal.

O Very Large Telescope (VLT) é um observatório astronômico localizado no Cerro Paranal, Chile. É o instrumento óptico mais avançado do mundo, composto por quatro telescópios com espelhos principais de 8,2 m e quatro telescópios auxiliares com espelhos de 1,8 m. O FLAMES (Fibre Large Array Multi Element Spectrograph) é o espectrógrafo multi-objeto de média-alta resolução do VLT. Ele pode observar alvos sobre um campo de visão de 25 arcmin em diâmetro, cobrindo o intervalo de 370–950 nm. O FLAMES sustenta dois espectrógrafos diferentes cobrindo toda a faixa espectral visual: GIRAFFE e UVES. O UVES fornece maior resolução espectral ($R \sim 47.000$), mas pode observar apenas 8 objetos por vez. O GIRAFFE oferece resolução intermediária ou alta (tipicamente de $R \sim 5.000$ a $R \sim 30.000$), portanto em relação ao UVES, ele é mais limitado em termos de resolução, porém ele pode observar uma quantidade muito maior de alvos. Seu conjunto de fibras MEDUSA permite a observação simultânea de até 132 objetos.

Mais de 120 estrelas de NGC 2264 foram observadas utilizando o espectrógrafo multi-objeto FLAMES/GIRAFFE. Dividiu-se essas estrelas em dois campos que foram observados por 40h, sendo cada exposição com duração de 40 minutos em aproximadamente 20 noites entre 4 dezembro de 2011 e 29 de fevereiro de 2012. Como o campo de visão do FLAMES (25') é muito menor que a extensão do aglomerado NGC 2264, mesmo com dois apontamentos, apenas a parte central do aglomerado foi observada, um campo centrado em (RA 06:41:04.8, declinação +09:45:00 e o outro centrado em RA 06:40:58.8, declinação +09:21:54). Os dados foram obtidos com a configuração HR15N, que cobre a faixa espectral de 6470 a 6790 Å, com resolução $R \sim 17.000$.

Os espectros de alta resolução de Mon-250 utilizados nesse trabalho foram obtidos com o espectrógrafo FLAMES do Very Large Telescope (VLT), operado pelo consórcio ESO.

Os espectros foram reduzidos, normalizados e tiveram artefatos como raios cósmicos, pixels quentes e linhas atmosféricas removidos pela estudante de doutorado da UFMG Pauline McGinnis, que gentilmente cedeu os dados para utilização nesse trabalho.

4. METODOLOGIA

Os programas utilizados na análise dos dados foram: IDL, SME, BinMag e iSpec. O pacote IDL (Interactive Data Language) foi utilizado para restaurar os arquivos salvos na extensão .sav. Os arquivos com dados espectrais de todas as noites de observação foram restaurados na extensão .dat, contendo uma coluna com fluxos, uma coluna com comprimentos de onda e uma coluna com erros. A coluna com erros foi criada utilizando o IDL, porque para o iSpec ler arquivos de texto deve existir uma coluna de erros, embora, como ocorreu nesse

TABELA 1
 PROPRIEDADES FÍSICAS DE MON-250

Mon ID	T_{ef} (K)	$vsini$ (km/s)	L (L_{\odot})	R (R_{\odot})	i (graus)	Tipo Esp.
CSIMon-000250	4550.0	9.8 ± 2.2	1.229	1.62	70.29	K3

Stauffer et al. (2015)

caso, o erro seja desconhecido e a coluna seja preenchida com zeros. O BinMag é um programa escrito em linguagem IDL para examinar espectros estelares teóricos e compara-los com as observações. O BinMag foi utilizado para abrir espectros sintéticos, observar as linhas de absorção que aparecem nos intervalos nos quais os espectros foram gerados, e então selecionar as linhas que deveriam ser utilizadas no ajuste espectral do iSpec. O SME é um programa escrito na linguagem IDL para gerar espectros sintéticos, o lançamento da versão 1.0 do SME está descrita em Valenti and Piskunov (1996, A&A, 118, 595).

O iSpec é um software para análise espectral. Seu código está escrito principalmente em Python e ele pode ser usado em diferentes plataformas. É uma ferramenta adequada para a determinação de parâmetros estelares tais como temperatura efetiva, gravidade superficial, metalicidade e abundância individual. Com o iSpec é possível tratar observações espectrais facilmente e derivar parâmetros atmosféricos com os dois métodos mais utilizados: a técnica do ajuste espectral sintético e o método da largura equivalente (Blanco-Cuaresma et al. 2014a). O código iSpec oferece uma grande variedade de opções de:

- modelos de atmosfera (MARCS GES/APOGEE, ATLAS Kurucz/Castelli/Apogee/Kirby);
- códigos de transferência radiativa (SPECTRUM - R. O. Gray, Turbospectrum - Bertrand Plez, SME - Valenti & Piskunov, MOOG - Chris Sneden e Synthe - Kurucz/Atmos);
- lista de linhas (VALD, GES);
- abundância solar (Asplund 2005/2009, Grevese 1998/2007 e Anders 1989).

Isso facilita o diagnóstico de qual é o melhor código, modelo de atmosfera e abundância que se deve utilizar na análise espectral.

Na técnica do ajuste espectral sintético, gera-se um espectro sintético que é comparado com o espectro observado similarmente ao que é feito no programa SME (Valenti & Piskunov 1996). Um método de mínimos quadrados minimiza a diferença entre os espectros sintéticos e os observados (Markwardt 2009). O código inicia em um dado ponto no espaço de parâmetros e realiza várias interações até a convergência, i.e. até o χ^2 atingir um valor inferior a um dado limite ou quando o número máximo de interações é alcançado. O cálculo do espectro sintético pode ser demorado dependendo da região escolhida. Por isso, regiões específicas do espectro podem ser selecionadas para reduzir o tempo do cálculo computacional.

Nesse trabalho, espectros de três noites de observação da estrela Mon-250 foram escolhidos para obtenção de parâmetros com o método do ajuste espectral sintético.

Todos os 13 espectros foram abertos no iSpec e deslocados verticalmente para serem comparados um a um. Foi verificado que a razão sinal/ruído (S/N) é aproximadamente a mesma em todos os espectros e que as linhas de absorção são bastante estáveis. Também foram observadas algumas linhas de emissão, que podem ser linhas nebulares residuais ou linhas com contaminação nebulosa. Os espectros também foram dispostos em sobreposição. Nessa configuração, o mais notável foi a grande variabilidade da linha $H\alpha$ (Fig. 6). O critério para selecionar os espectros observados foi a emissão em $H\alpha$. Foram escolhidas as noites que apresentavam linhas de emissão $H\alpha$ bastante distintas. Os espectros escolhidos foram: o da primeira noite, que apresenta máxima emissão em $H\alpha$; o da oitava noite, que apresentava emissão intermediária; e o da décima primeira noite, que apresentava emissão mínima, com componente de absorção desviada para o vermelho (RAC, do inglês Redshifted Absorption Components) (Fig. 7).

Em ETTCs, é observado que a linha $H\alpha$ varia devido à rotação do sistema disco-estrela. É esperado que isso ocorra na acreção em um regime estável, em que existe um desalinamento entre o eixo de rotação e o campo magnético. Nessa configuração geométrica, em diferentes fases rotacionais, a projeção da região de emissão $H\alpha$ é diferente, conseqüentemente produzindo variabilidade na linha. Se as colunas de acreção são responsáveis pela produção da maior parte da emissão $H\alpha$, quando a estrela está sob um regime estável espera-se que a variabilidade em $H\alpha$ seja periódica. Mas é importante ressaltar que diferentes regiões contribuem com emissão em $H\alpha$ (vento do disco, jatos, cromosfera) e cada região tem seu próprio período, isso pode dificultar a observação da periodicidade da linha.

O perfil da linha $H\alpha$ de Mon-250 foi estudado por McGinnis et al. (2015) em diferentes fases rotacionais e notou-se que durante o mínimo da curva de luz era observado um RAC em muitos espectros. Esse estudo atribuiu essa constatação como uma evidência de que o funil de acreção tem uma associação espacial com a estrutura que causa os mínimos de fluxo observados (a deformação na parte interna do disco). O material que está caindo em direção a estrela é o responsável pela absorção, com movimento de afastamento em relação ao observador, causando os RACs que são observados nos espectros.

A escolha dos espectros das três noites de observação de Mon-250, com diferentes perfis de emissão, foi motivada pelo interesse de observar se a atividade da magneto-acreção afeta a determinação de parâmetros.

Os parâmetros que foram obtidos nesse trabalho foram gravidade superficial e metalicidade. O interesse decorre do fato de serem parâmetros sem valores determinados na literatura para essa estrela.

A técnica utilizada para determinar os parâmetros foi o método do ajuste espectral. Nesse método foram realizados os seguintes passos no iSpec:

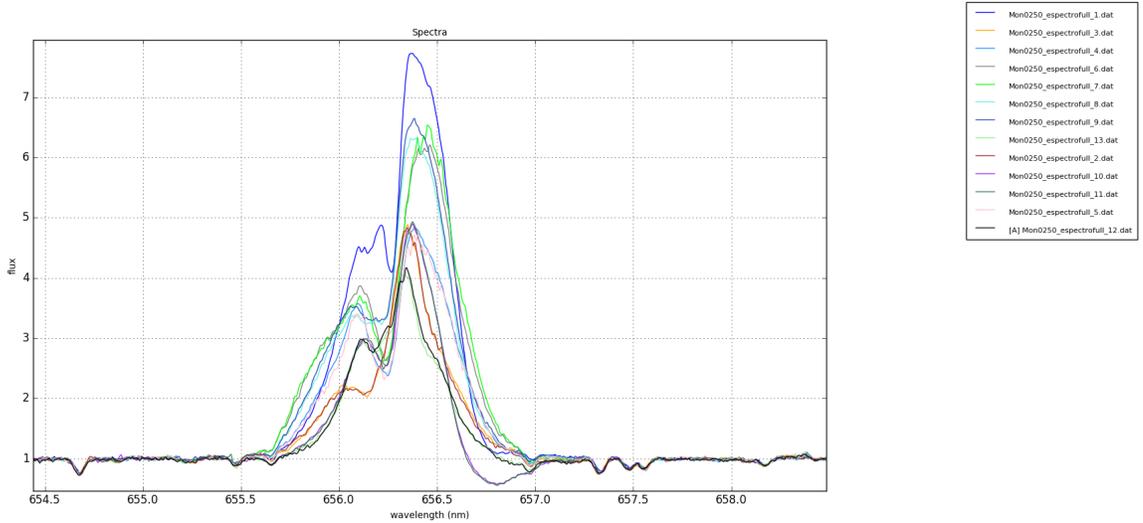


FIG. 6.— Espectros da estrela Mon-250 de 11 noites de observação sobrepostos. É notável a grande variabilidade da linha $H\alpha$.

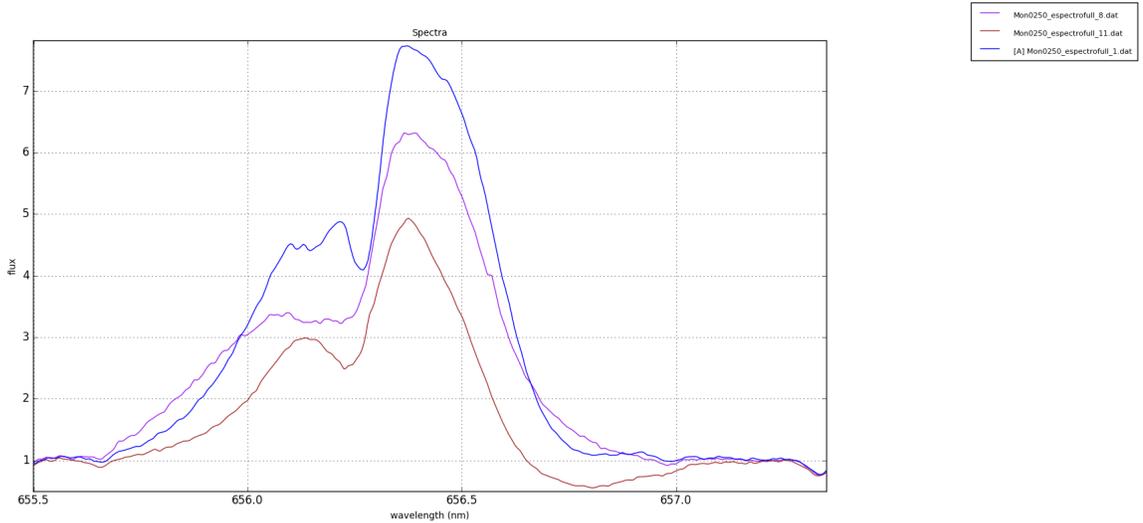


FIG. 7.— Nessa figura observa-se a variabilidade da linha $H\alpha$ dos espectros observados que foram selecionados para obtenção dos parâmetros estelares. O espectro da primeira noite (em azul) apresenta máxima emissão em $H\alpha$; o espectro da oitava noite (em roxo) apresentava emissão intermediária; o espectro da décima primeira noite (em vermelho) apresentava emissão mínima, com componente de absorção desviada para o vermelho.

1. Os comprimentos de onda foram divididos por 10, utilizando a opção ‘Operations - Apply mathematical expression’, para converter os valores de angstrom para nanômetro, unidade utilizada pelo iSpec.
2. Os espectros foram corrigidos do desvio Doppler causado pela velocidade radial da estrela, com a opção ‘Operations - Correct velocity relative to atomic line mask (radial velocity)’.
3. O contínuo dos espectros foi ajustado através do menu ‘Operations - Fit continuum’. O modelo de ajuste utilizado foi o de valor fixo, já que o espectro estava normalizado.
4. Selecionou-se linhas de absorção que cobriam as regiões espectrais que seriam utilizadas para a computação do χ^2 . É importante fazer uma boa seleção

de linhas para ter uma boa determinação de parâmetros. Nessa etapa foi necessário informar os elementos químicos responsáveis pelas linhas. Foram utilizados os elementos químicos observados no BinMag dos espectros sintéticos (gerados no SME). A seleção de linhas foi feita com base na lista de linhas atômicas GES (Versão 5.0), essa lista que é utilizada no Gaia-ESO Survey (GES) (Heiter et al. 2014).

5. As linhas selecionadas para os ajustes foram ajustadas com uma gaussiana, com a opção ‘Operations - Fit lines’.
6. Aplicou-se segmentos que cobriam todo o intervalo espectral. Os segmentos selecionam as regiões em que o espectro sintético será computado. Como era de interesse que todo o espectro fosse ajustado, a

extensão dos segmentos foi grande o suficiente para cobrir todo o espectro. No entanto é possível economizar tempo computacional selecionando regiões menores, caso não seja de interesse ajustar todo o espectro.

7. A opção do menu ‘Parameters - Determine astrophysical parameters with synthesis’ foi utilizada para ajustar espectros sintéticos ao espectro observado. O código de transferência radiativa utilizado foi o SPECTRUM, desenvolvido por Richard O. Gray (Gray & Corbally 1994). O modelo de atmosfera escolhido para o ajuste foi o MARCS GES (Gustafsson et al. 2008). Esse modelo inclui a suposições físicas de estratificação (esférica ou plano-paralela) e equilíbrio hidrostático, comprimento de mistura, equilíbrio termodinâmico local (LTE, do inglês local thermodynamic equilibrium) e transferência radiativa. A abundância química solar foi definida seguindo Grevese et al. (2007). A lista de linhas utilizada foi a lista GES (versão 5.0) com estrutura hiperfina e isótopos. Ela cobre a região espectral de 420 a 920 nm.
8. Foram utilizados os valores conhecidos dos parâmetros estelares de Mon-250 como parâmetros iniciais: temperatura efetiva $T_{ef} = 4550K$ (Stauffer et al. 2015), velocidade rotacional projetada $v_{seni} = (9,8 \pm 2,2)$ km/s (Stauffer et al. 2015) e resolução espectral $R = 17000$ (McGinnis et al. 2015). As abundâncias individuais escolhidas foram: Fe e Ca, porque são os elementos químicos que apresentam maior quantidade de linhas de absorção no espectro. A metalicidade $[M/H]$ foi mantida solar e os demais parâmetros foram mantidos nos valores padrões do programa. Como recomendado em (Blanco-Cuaresma et al. 2014a) os parâmetros iniciais fornecidos foram o mais próximo possível do resultado final esperado, a fim de reduzir o tempo de cálculo computacional.
9. O parâmetro $\log g$ foi selecionado como parâmetro livre já que se quer terminar o seu valor. O seu valor inicial foi $\log g = 4.0$, que é um valor fiducial, seguindo a recomendação em (Blanco-Cuaresma et al. 2014a) de fornecer parâmetros iniciais o mais próximo possível do resultado final esperado, a fim de reduzir o tempo de cálculo computacional. A abundância química individual e a resolução espectral também foram mantidas como parâmetros livres, porque notou-se que nessa condição os ajustes ficavam melhores.
10. Foram realizados em todos os ajustes 10 iterações para o cálculo computacional dos parâmetros, embora seja afirmado que a técnica do ajuste espectral aparentemente produz bons resultados em torno da quinta e sexta iteração (Blanco-Cuaresma et al. 2014a).
11. Dessa maneira o valor do $\log g$ foi determinado. Esse valor foi utilizado para calcular $[M/H]$, com os mesmos parâmetros iniciais. Em seguida o valor encontrado para a metalicidade foi utilizado para determinar o $\log g$, e assim sucessivamente, até a convergência dos valores.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma análise inicial foi realizada gerando espectros sintéticos no iSpec com diferentes parâmetros e comparando com o espectro observado. Foi verificado que cada parâmetro influencia de forma diferente nas linhas de absorção. A temperatura influencia muito na profundidade das linhas (no caso das linhas e faixa de temperaturas analisadas observou-se que o aumento da temperatura diminui a profundidade das linhas) e a gravidade influencia muito nas asas das linhas. A metalicidade é um parâmetro muito importante porque tem influência tanto na profundidade (o perfil da linhas é mais profundo quando a metalicidade aumenta) como nas asas das linhas de absorção. Além disso, verificou-se que a metalicidade é um parâmetro muito sensível, uma pequena variação nele modifica consideravelmente o perfil das linhas.

Foi verificado também que existem linhas que são mais sensíveis a temperatura, como as linhas do FeI, enquanto outras não são muito dependentes como as linhas do CaI.

Um aspecto interessante que se observou nesses espectros, é a identificação no iSpec dos elementos químicos que sofreram transições, absorvendo fótons com os comprimentos de onda correspondentes às linhas de absorção. É notável que existem várias linhas do CaI e do FeI, indício de que esses elementos químicos são abundantes na fotosfera de Mon-250.

Como não foram observadas mudanças significativas nas linhas de absorção, comparando os espectros das diferentes noites, os ajustes foram aplicados em todo intervalo espectral dos dados. Nas subseções a seguir, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para as três noites de observação escolhidas para a análise espectral.

5.1. Análise dos ajustes espectrais obtidos para a primeira noite de observação de Mon-250

Na figura 8 observa-se as mais de 100 linhas de absorção que foram selecionadas para o ajuste espectral.

Nas figuras 9 e 10 estão os ajustes obtidos (sobrepostos ao espectro da estrela em azul) em alguns intervalos do espectro contendo várias linhas. O primeiro ajuste aplicado está em vermelho e o último ajuste em verde claro, obtido quando os valores de $\log g$ e $[M/H]$ convergiram. Nesses ajustes adotou-se abundância individual do Fe e a abundância foi selecionada como parâmetro livre, porque os ajustes ficaram melhores nessas condições. Analisando esses intervalos espectrais pode-se constatar que os ajustes estão coerentes com o espectro observado.

A figura 11 apresenta a linha do CaI, verifica-se mais detalhadamente os ajustes e é possível compará-los. Percebe-se que do primeiro ajuste (em vermelho) ao último (em verde), os ajustes são gradativamente melhorados. O primeiro ajuste possui asas mais largas e largura maior que a linha do espectro observado, o segundo ajuste (em roxo) possui uma largura e asas mais coerentes com a linha do espectro observado e nota-se que as linhas dos espectros sintéticos posteriores adquirem um perfil cada vez mais consistente com o espectro observado. Esse comportamento é esperado, já que os parâmetros ajustados ($\log g$ e $[M/H]$) influenciam nessas propriedades (asas e largura) das linhas.

Observou-se que existem algumas linhas no espectro que não são ajustadas. Essas linhas devem ser estudadas,

TABELA 2
PARÂMETROS OBTIDOS COM OS AJUSTES - PRIMEIRA NOITE DE OBSERVAÇÃO

ajuste	Teff (K)	logg	MH	v _{mic} (km/s)	v _{mac} (km/s)	v _{sini} (km/s)	limb	R
1	4550.00	4.16	0.00	4.21	4.21	9.80	0.60	7222
2	—	4.16	-0.73	—	—	—	—	10058
3	—	3.75	-0.73	—	—	—	—	9813
4	—	3.75	-0.76	—	—	—	—	9953
5	—	3.74	-0.76	—	—	—	—	9853

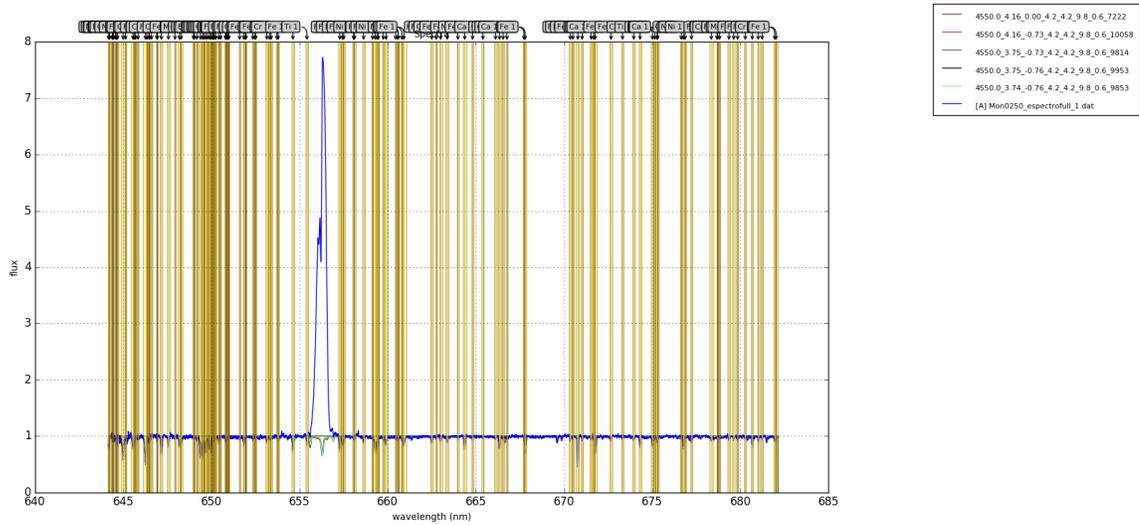


FIG. 8.— Linhas selecionadas para computar o ajuste espectral - primeira noite de observação de Mon-250.

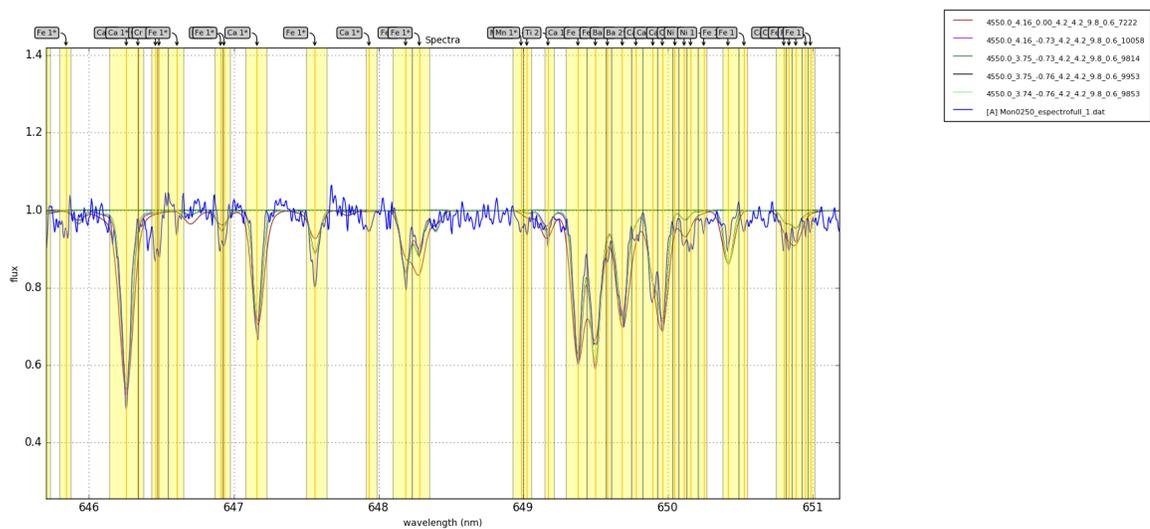


FIG. 9.— Ajustes vistos em um intervalo espectral com muitas linhas de absorção. O espectro da estrela está em azul e seguindo a ordem dos ajustes temos: em vermelho o primeiro ajuste; em roxo o segundo ajuste; em verde escuro o terceiro ajuste; em preto o quarto ajuste; e em verde claro o quinto ajuste - primeira noite de observação de Mon-250.

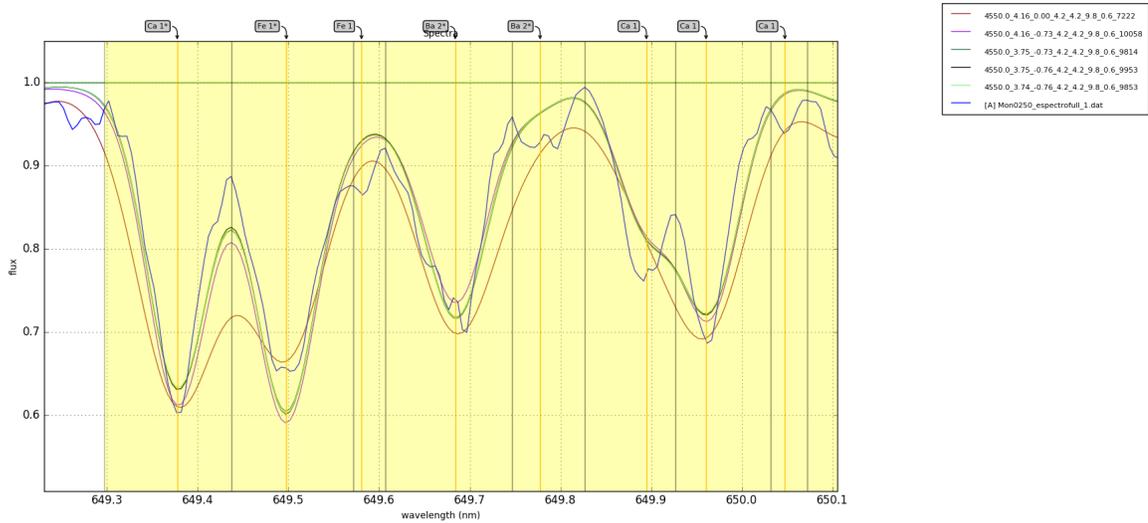


FIG. 10.— Ajustes vistos em um intervalo espectral com muitas linhas de absorção - primeira noite de observação de Mon-250.

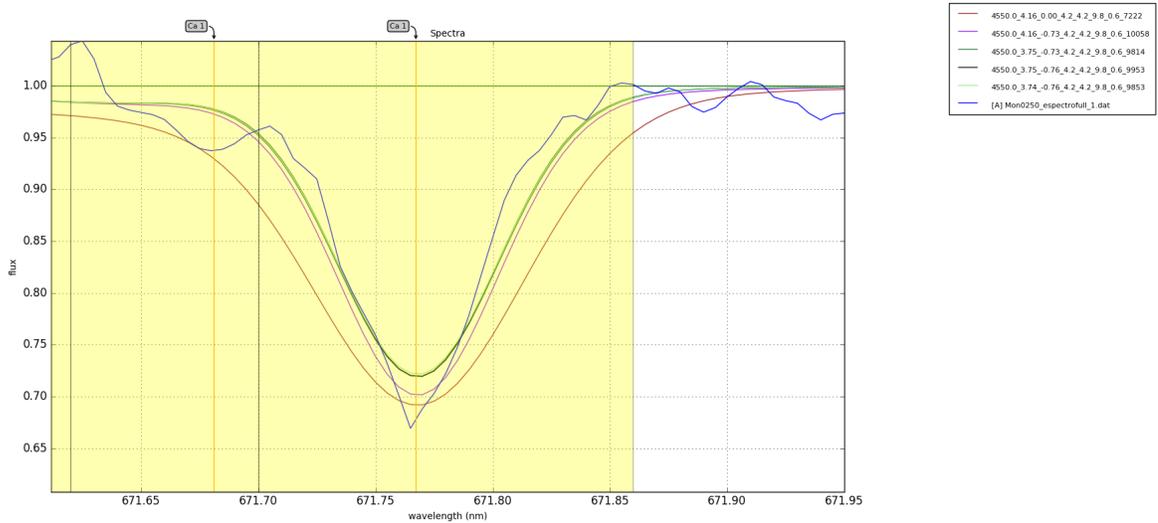


FIG. 11.— Ajustes dos espectros sintéticos computados na linha de absorção do Ca I - primeira noite de observação de Mon-250.

pois é provável que sejam produzidas por alguma componente de acreção como vento ou disco circum-estelar.

A tabela 2 apresenta os valores encontrados para os ajustes espectrais. Nas tabelas 2, 3 e 4 os valores da primeira linha são os valores obtidos do primeiro ajuste (na tabela 2 temos $\log g = 4,16$) mantendo a metalicidade fixa ($[M/H] = 0,00$), os valores iniciais do $\log g$ e $[M/H]$ foram 4,00 e 0,00 respectivamente. Foi necessário realizar cinco ajustes para os valores de $\log g$ e $[M/H]$ convergirem. Os resultados obtidos no ajuste final foram $\log g = 3,74$ e $[M/H] = -0,76$. O valor do $\log g$ está em acordo com valores encontrados na literatura para estrelas jovens. O valor da metalicidade concorda com o valor encontrado para a abundância do Fe, $[Fe/H] = -0,85$. A estimativa dos erros dos parâmetros estelares dependem muito de uma boa estimativa dos erros do fluxo espectral. Se os erros do fluxo forem subestimados, como foi nessa análise, os erros encontrados para os parâmetros devem apresentar valores pouco realistas. Percebeu-se que alguns parâmetros apresentaram erros nulos. Portanto, as estimativas dos erros encontrados nos ajustes para os parâmetros podem ser desprezadas, já que o arquivo com as informações espectroscópicas não continha coluna de erros para o fluxo e essa coluna foi preenchida com zeros.

5.2. Análise dos ajustes espectrais obtidos para a oitava noite de observação de Mon-250

A figura 12 apresenta a grande quantidade de linhas que foram selecionadas para o ajuste do espectro observado (em azul). Nesses ajustes foi utilizado o mesmo método aplicado nos ajustes da primeira noite de observação, mas a abundância individual adotada foi a do Ca e ela foi mantida como parâmetro fixo, porque dessa forma os ajustes ficaram melhores.

A figura 13 apresenta algumas regiões do espectro contendo diversas linhas e os ajustes espectrais sobrepostos. Os ajustes apresentaram-se consistentes com espectro da estrela.

As figuras 14 e 15 apresentam os ajustes espectrais das linhas do CaI e do FeI, respectivamente. É claramente perceptível que do primeiro ajuste (em laranja) ao ajuste final (em verde), houve uma melhoria nos ajustes. O ajuste final teve um resultado satisfatório, concordando bem com as linhas de absorção do espectro observado.

A tabela 3 apresenta os resultados adquiridos com os ajustes espectrais. Os valores obtidos, derivados do ajuste foram $\log g = 4,20$ e $[M/H] = -0,73$. Em 4 ajustes os valores desses parâmetros convergiram. O valor do $\log g$ foi superior ao valor encontrado para o $\log g$ com os dados da primeira noite de observação, mas permanece consistente com os valores de $\log g$ das estrelas jovens, é comum encontrar estrelas jovens com $\log g$ no intervalo de 3,5 a 4,5. O valor calculado para a metalicidade é próximo do valor encontrado para metalicidade do ajuste espectral da primeira noite.

5.3. Análise dos ajustes espectrais obtidos para a décima primeira noite de observação de Mon-250

Na figura 16 vemos a grande quantidade de linhas que foram escolhidas para a computação do ajuste espectral. A abundância individual adotada foi do Ca, e definiu-se a abundância como parâmetro livre. O método utilizados para obtenção dos parâmetros foi o mesmo utilizado com os dados espectrais das noites anteriores.

Nas figuras 17 e 18, alguns intervalos espectrais são exibidos, com os ajustes espectrais sobrepostos ao espectro da estrela em azul. Verifica-se que as linhas de absorção foram ajustadas satisfatoriamente. Algumas linhas não foram ajustadas e devem ser estudadas. Elas podem ser geradas por alguma componente de acreção ou possivelmente essa estrela pode pertencer a um sistema binário. Assim a outra estrela do sistema, com outras propriedades físicas, seria responsável pelas linhas que os espectros sintéticos não ajustam.

A figura 19 mostra a linha do CaI com os ajustes espectrais. É perceptível que as asas e a largura da linhas do espectro observado do primeiro espectro sintético (em vermelho) ao último espectro (em rosa) progressivamente se adequam as asas e largura da linha da estrela.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos dos parâmetros estelares $\log g$ e $[M/H]$. Os valores resultantes dos ajustes aplicados foram $\log g = 3,76$ e $[M/H] = -0,73$. O valor do $\log g$ está coerente com o valor encontrado na primeira noite de observação e está dentro do intervalo de valores que é comum para ETTs. A metalicidade concordou bem com os valores obtidos nos ajustes das subseções anteriores, com valor igual ao obtido para o ajuste da oitava noite de observação.

5.4. Estatística dos dados obtidos

As médias aritméticas dos valores obtidos, $\log g$ e $[M/H]$, foram:

$$\overline{\log g} = \sum \frac{\log g_n}{n} = 3,9$$

$$\overline{[M/H]} = \sum \frac{[M/H]_n}{n} = -0,74$$

A medida da dispersão dos valores derivados dos ajustes, em relação a média aritmética, é dada pelo desvio padrão:

$$\sigma_{\log g} = \sqrt{\sum \frac{|\log g_n - \overline{\log g}|^2}{n-1}} = 0,26$$

$$\sigma_{[M/H]} = \sqrt{\sum \frac{|[M/H]_n - \overline{[M/H]}|^2}{n-1}} \approx 0,02$$

Os baixos valores encontrados para o desvio padrão indicam que o grau de variação dos valores obtidos em relação a média é pequeno.

Os desvios padrão das médias são dados por :

$$\overline{\sigma}_{\log g} = \frac{\sigma_{\log g}}{\sqrt{n}} \approx 0,15$$

$$\overline{\sigma}_{[M/H]} = \frac{\sigma_{[M/H]}}{\sqrt{n}} \approx 0,01$$

O desvio padrão da média prevê teoricamente o erro a que está sujeita a média dos n valores medidos. O significado estatístico do erro padrão da média do conjunto de valores significa que o valor médio tem 68% de chance

TABELA 3
PARÂMETROS OBTIDOS COM OS AJUSTES - OITAVA NOITE DE OBSERVAÇÃO

Ajuste	teff (K)	logg	MH	vmic (km/s)	vmac (km/s)	vsini (km/s)	limb	R
1	4550.00	4.68	0.00	4.21	4.21	9.80	0.60	8973
2	—	4.68	-0.70	—	—	—	—	11819
3	—	4.20	-0.70	—	—	—	—	11354
4	—	4.20	-0.73	—	—	—	—	12261

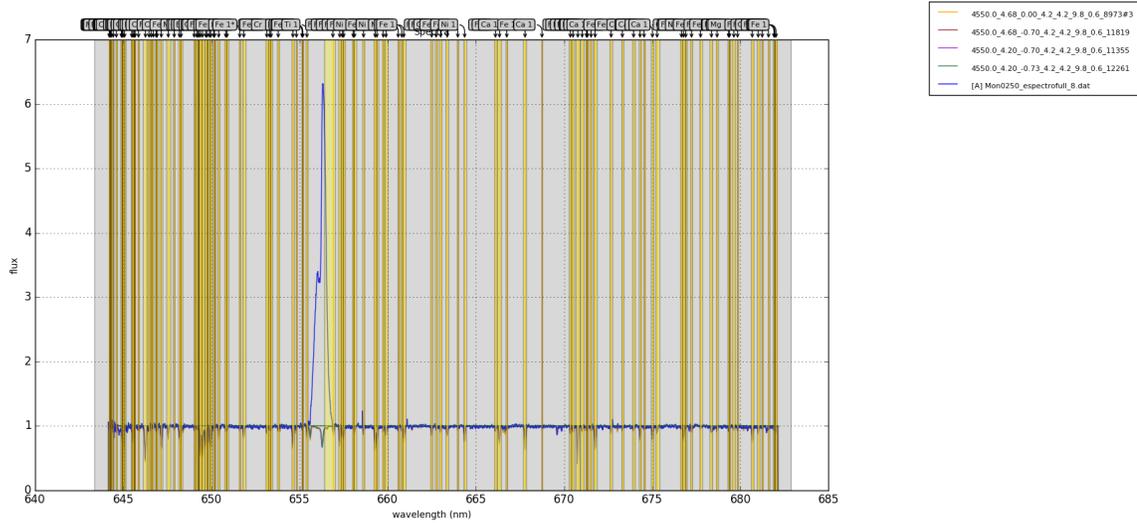


FIG. 12.— Linhas selecionadas para computar o ajuste espectral - oitava noite de observação de Mon-250.

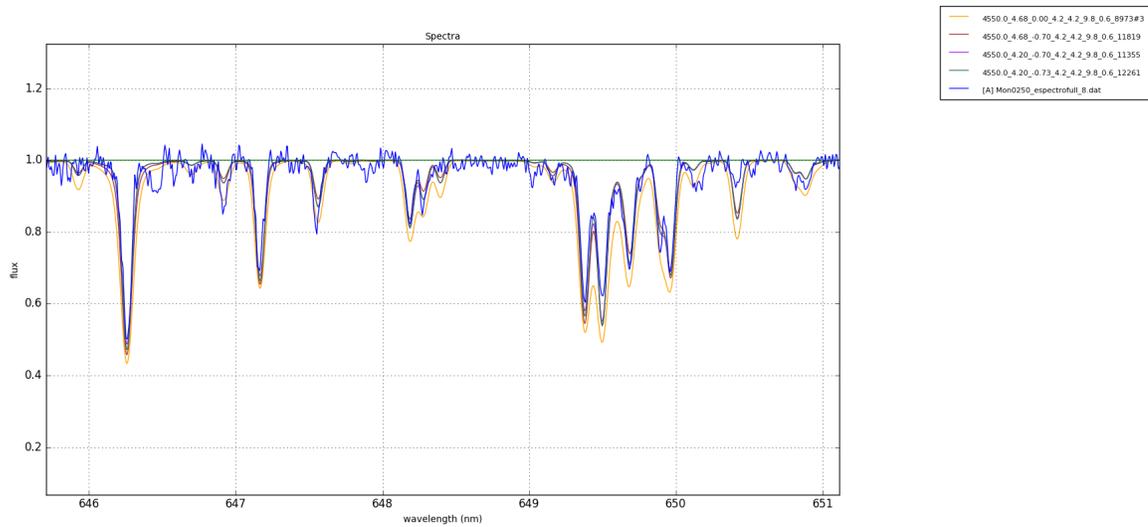


FIG. 13.— Ajustes vistos em um intervalo espectral com muitas linhas de absorção. O espectro da estrela está em azul e seguindo a ordem dos ajustes temos: em laranja o primeiro ajuste; em vermelho escuro o segundo ajuste; em roxo o terceiro ajuste; e em verde escuro o quarto ajuste - oitava noite de observação de Mon-250.

de estar dentro do intervalo $\pm\sigma$ e 95% de chance de estar dentro do intervalo $\pm 2\sigma$.

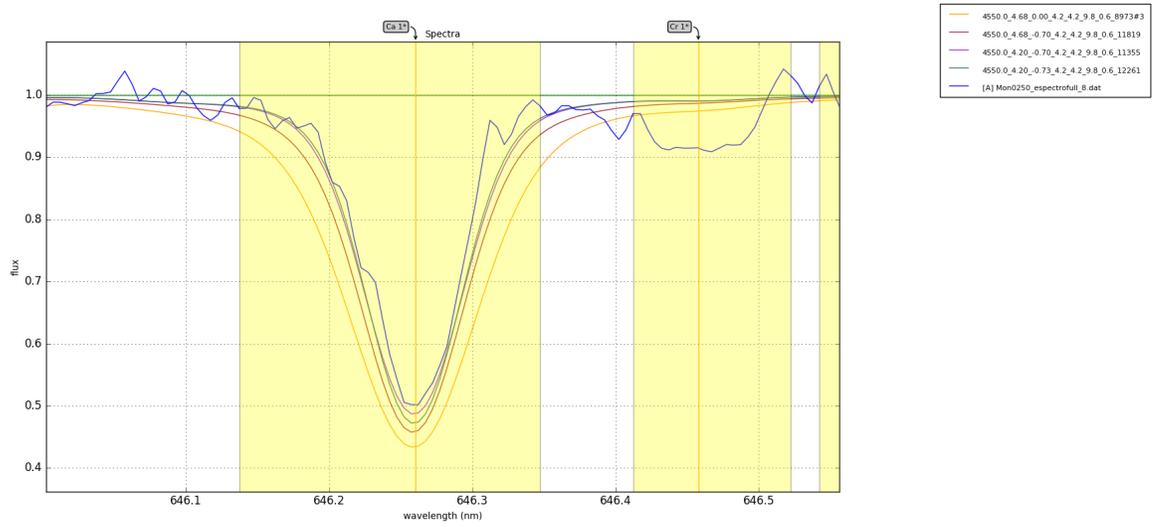


FIG. 14.— Ajustes dos espectros sintéticos computados na linha de absorção do CaI - oitava noite de observação de Mon-250.

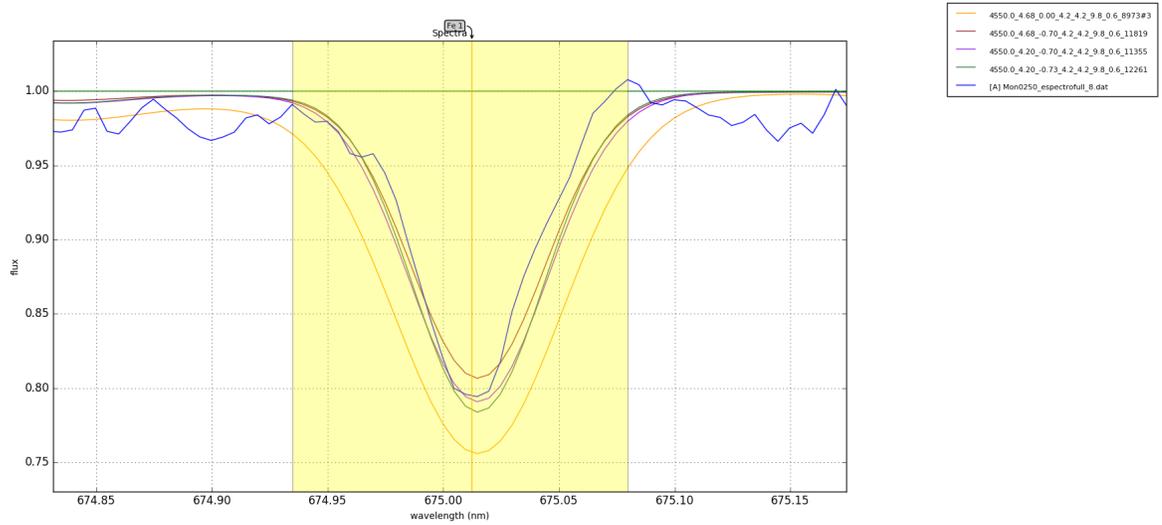


FIG. 15.— Ajustes dos espectros sintéticos computados na linha de absorção do FeI - oitava noite de observação de Mon-250.

TABELA 4
PARÂMETROS OBTIDOS COM OS AJUSTES - DÉCIMA PRIMEIRA NOITE DE OBSERVAÇÃO

Ajuste	Teff(K)	logg	MH	vmic(km/s)	vmac(km/s)	vsini(km/s)	limb	R
1	4550.00	4.85	0.00	4.21	4.21	9.80	0.60	8206
2		4.85	-0.47	—	—	—	—	10679
3		4.25	-0.47	—	—	—	—	9584
4		4.25	-0.63	—	—	—	—	10636
5		3.82	-0.63	—	—	—	—	9802
6		3.82	-0.72	—	—	—	—	10381
7		3.76	-0.72	—	—	—	—	10282
8		3.76	-0.73	—	—	—	—	10361

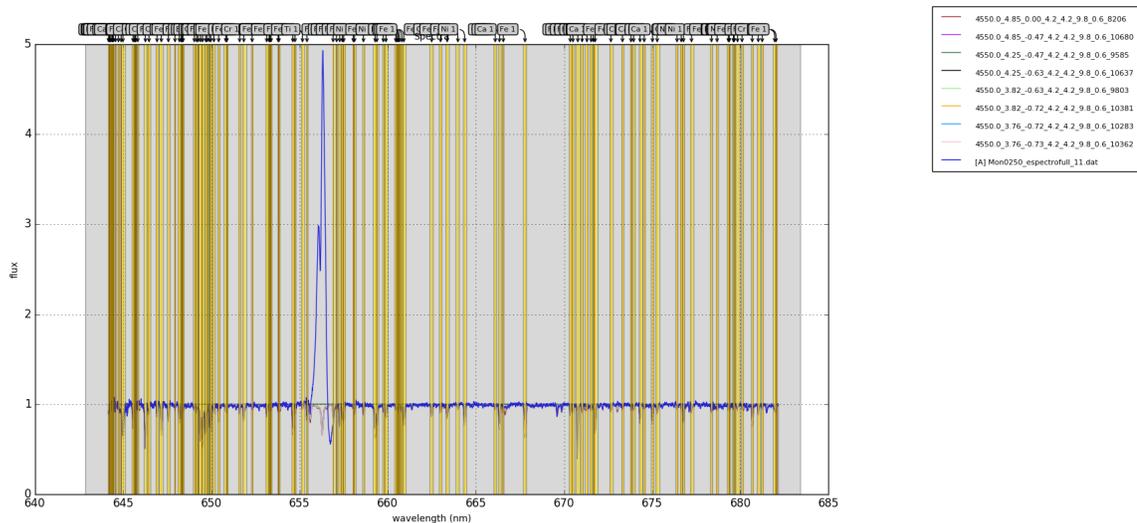


FIG. 16.— Linhas selecionadas para computar o ajuste espectral - décima primeira noite de observação de Mon-250.

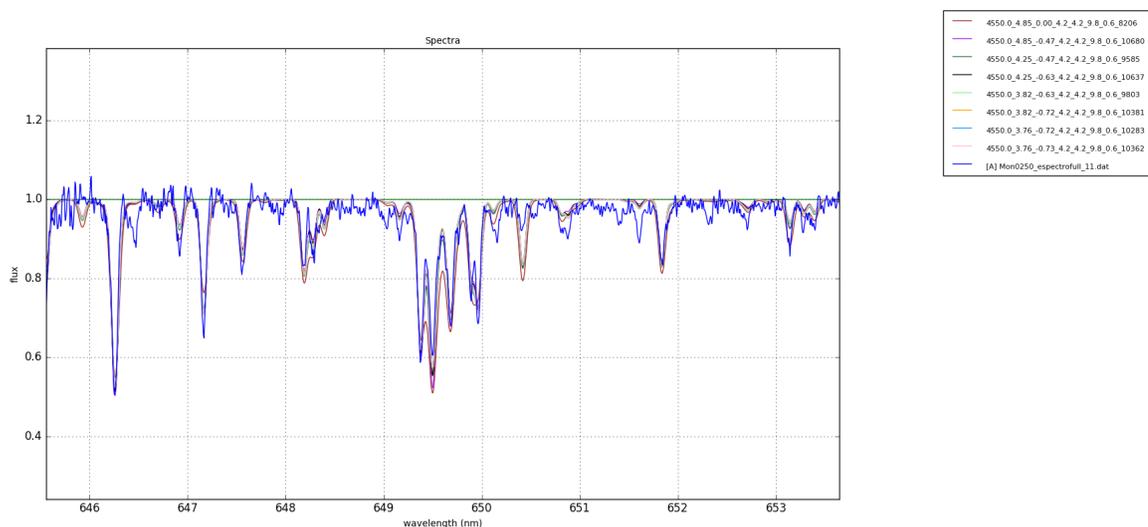


FIG. 17.— Ajustes vistos em um intervalo espectral com muitas linhas de absorção. O espectro da estrela está em azul e seguindo a ordem dos ajustes temos: em vermelho escuro o primeiro ajuste; em roxo o segundo ajuste; em verde escuro o terceiro ajuste; em preto o quarto ajuste; em verde claro o quinto ajuste; em laranja o sexto ajuste; em azul claro o sétimo ajuste; e em rosa claro o oitavo ajuste - décima primeira noite de observação de Mon-250.

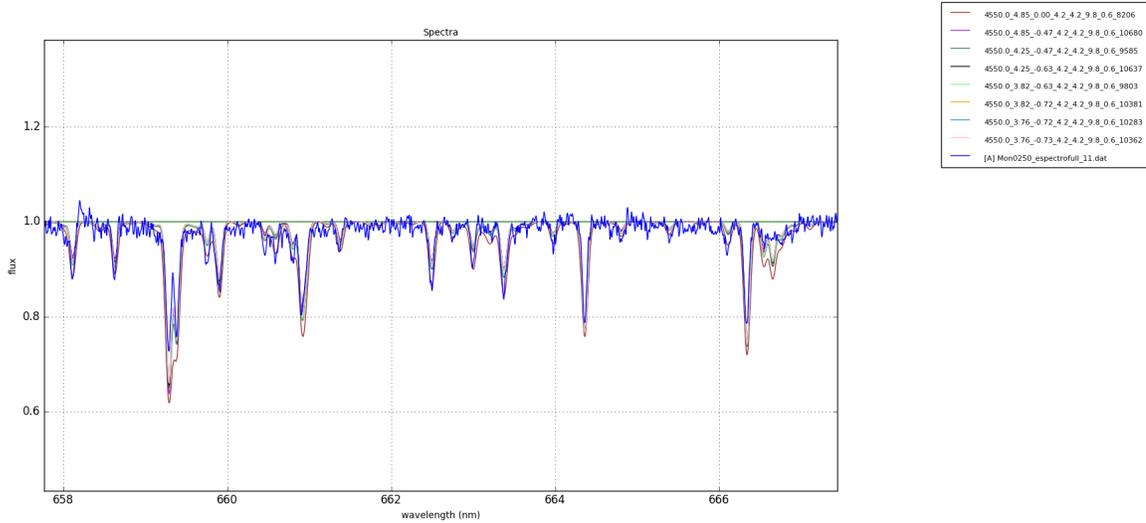


FIG. 18.— Ajustes vistos em um intervalo espectral com muitas linhas de absorção - décima primeira noite de observação de Mon-250.

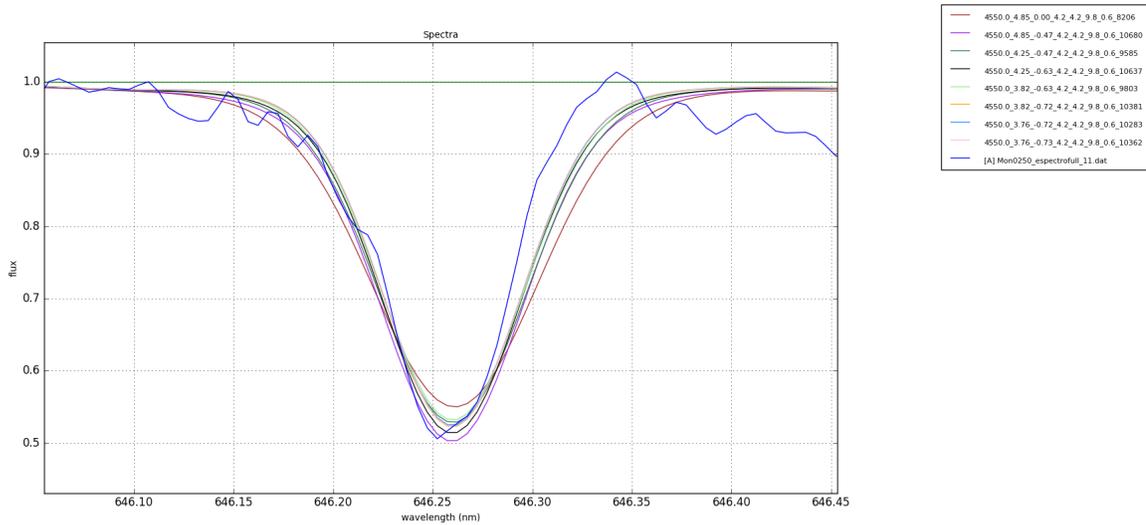


FIG. 19.— Ajustes dos espectros sintéticos computados na linha de absorção do CaI - décima primeira noite de observação de Mon-250.

6. CONCLUSÃO

O panorama atual em formação estelar prevê que as estrelas jovens de baixa massa possuem fortes campos magnéticos que interagem com o disco circum-estelar. Isso forma funis de acreção, que transportam matéria do disco para a estrela. Quando existe um desalinhamento entre o campo magnético e o disco, a acreção pode ocorrer em um regime estável, por meio de duas colunas de acreção principais. Nesse regime a interação entre o disco e a estrela via campo magnético ocasiona uma deformação no disco. Em tal situação, quando o sistema disco-estrela possui alta inclinação, a alta extinção na linha de visada provocada pela poeira levantada na base das colunas de acreção gera uma periodicidade no fluxo da estrela.

Mon-250 é um sistema observado em alta inclinação, aspecto que coopera para um cenário de ocultação gerado por material circum-estelar. Segundo estudos recentes a periodicidade da curva de luz e a conexão entre os RACs e os mínimos da curva de luz dessa estrela, indicam for-

temente que o mesmo fenômeno é responsável por ambas características, a extinção causada pelas colunas de acreção. Logo, com base nesses estudos Mon-250 apresenta evidências claras de funis de acreção.

Nesse estudo, foram utilizados os espectros de alta resolução de Mon-250, obtidos com o espectrógrafo FLAMES do VLT na campanha CSI 2264, que realizou um grande levantamento espectroscópico no aglomerado NGC 2264.

Utilizando o método do ajuste espectral sintético descrito nesse trabalho, foi possível estimar os parâmetros estelares $\log g$ e $[M/H]$ da estrela Mon-250. Os espectros sintéticos ajustaram satisfatoriamente as linhas de absorção do espectro observado. Verificou-se que fazendo ajustes para convergir os valores do $\log g$ e $[M/H]$, houve uma evolução gradual dos espectros sintéticos. A cada ajuste, as asas e a largura das linhas de absorção dos espectros computados se adequaram melhor às linhas do espectro estelar.

Os valores médios obtidos para os parâmetros $\log g$ e $[M/H]$, calculados com os resultados encontrados dos ajustes espectrais, foram $\log g = 3,9 \pm 0,15$ e $[M/H] = -0,74 \pm 0,01$. Os valores encontrados para a metalicidade em todos os ajustes foram bem próximos do valor médio, o baixo grau de variação dos valores obtidos pode ser notado pelo baixo valor encontrado para o desvio padrão $\sigma_{[M/H]} = 0,02$. O valor encontrado para o $\log g$ concorda bem com os valores de $\log g$ encontrados para estrelas jovens na literatura (tipicamente no intervalo de 3,5 a 4,5). Como não encontra-se informações disponíveis sobre esses parâmetros de Mon-250, uma análise mais detalhada é necessária para confirmar se os resultados desse traba-

lho estão corretos.

Percebeu-se que existem algumas linhas de absorção que não foram ajustadas pelos espectros sintéticos. É possível verificar dos espectros obtidos quais linhas são de fato produzidas na fotosfera da estrela, subtraindo o espectro sintético do espectro observado. As linhas de absorção ou emissão que não são ajustadas pelo espectro sintético podem ter sido produzidas por outra componente, tais como o disco de acreção, as colunas de acreção ou pelo vento estelar, podendo assim, fornecer mais evidências do processo de acreção magnetosférica.

REFERÊNCIAS

- Teixeira, P. S., Lada, C. J., Marengo, M., & Lada, E. A. 2012, *A&A*, 540, A83
- Bouvier, J., Alencar, S. H. P., Harries, T. J., Johns-Krull, C. M., & Romanova, M. M. 2007b, *Protostars and Planets V*, 479
- Preibisch, T., Kim, Y.-C., Favata, F., et al. 2005, *ApJS*, 160, 401
- Meyer, M. R. 2009, in *IAU Symp. 258*, eds. E. E. Mamajek, D. R. Soderblom, & R. F. G. Wyse, 111
- Johns-Krull, C. M., Valenti, J. A., Piskunov, N. E., Saar, S. H., & Hatzes, A. P. 2001, in *Magnetic Fields Across the Hertzsprung-Russell Diagram*, eds. G. Mathys, S. K. Solanki, & D. T. Wickramasinghe, *ASP Conf. Ser.*, 248, 527
- Bessolaz, N., Zanni, C., Ferreira, J., Keppens, R., & Bouvier, J. 2008, *A&A*, 478, 155
- Bouvier J., Alencar S. H. P., Harries T. J., Johns-Krull C. M., Romanova M. M., 2006, in Reipurth B., Jewitt D., Keil K., eds, *Protostars and Planets V*, in press (0603498)
- Bonnell IA, Smith KW, Meyer MR, et al. 1998. *MNRAS* 299:1013
- Joy AH. 1945. *Ap. J.* 102:168
- Herbst W, Herbst DK, Grossman EJ, Weinstein D. 1994, *AJ*, 108, 1906
- Grankin KN, Melnikov SY, Bouvier J, et al. 2007, *A&A* 461, 183
- Johns, C. M., & Basri, G. 1995, *AJ*, 109, 2800
- Muzerolle, J., Hartmann, L., & Calvet, N. 1998, *AJ*, 116, 455
- Costigan, G., Vink, J. S., Scholz, A., Ray, T., & Testi, L. 2014, *MNRAS*, 440, 3444
- Bouvier, J., Alencar, S. H. P., Bouvier, T., et al. 2007a, *A&A*, 463, 1017
- Alencar, S. H. P., Teixeira, P. S., Guimarães, M. M., et al. 2010, *A&A*, 519, A88
- Kulkarni, A. K., & Romanova, M. M. 2009, *MNRAS*, 398, 701
- Romanova, M. M., Ustyugova, G. V., Koldoba, A. V., & Lovelace, R. V. E. 2009, *MNRAS*, 399, 1802
- Romanova, M. M., Ustyugova, G. V., Koldoba, A. V., & Lovelace, R. V. E. 2013, *MNRAS*, 430, 699
- Kurosawa, R., & Romanova, M. M. 2013, *MNRAS*, 431, 2673
- Turner, N. J., Carballido, A., & Sano, T. 2010, *ApJ*, 708, 188
- Gregory, S. G., Donati, J.-F., Morin, J., et al. 2012, *ApJ*, 755, 97
- Blanco-Cuaresma, S., Soubiran, C., Heiter, U., & Jofré, P. 2014, *A&A*, 569, A111
- Alencar SHP, Bouver J, Walter FM, et al. 2012., *A&A*, 541, 116
- Hartmann L., Herczeg G., Calvet N., 2016, *ARA&A*, 54, 135
- Hartmann, Lee. *Accretion processes in star formation*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press. 2009, p. 1-46
- McGinnis, P.T., Alencar S.H.P., Guimarães, M.M., Sousa, A. P., Stauffer, J., Bouvier, J. et al. 2015, *A&A*, 577, A11
- Sousa, A. P., Alencar, S. H. P., Bouvier, J. et al. 2016, *A&A*, 586, A47
- Stauffer, J.S., Cody, A. M., McGinnis, P.T., et al. 2015, *AJ*, 149, 130
- Gustafsson, B., Edvardsson, B., Eriksson, K., et al. 2008, *A&A*, 486, 951
- Grevesse, N., Asplund, M., & Sauval, A. J. 2007, *Space Sci. Rev.*, 130, 105
- Gray, R. O. & Corbally, C. J. 1994, *AJ*, 107, 742