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

Fabrício Catani de Freitas

A detecção de exoplanetas usando dados do HARPS/ESO

São Paulo

2014

Fabrício Catani de Freitas

A detecção de exoplanetas com dados do HARPS/ESO

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

Área de Concentração: Astronomia
Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Meléndez Moreno

São Paulo

2014

Dedico este trabalho a todos que estiveram ao meu lado nesses anos, à minha família pelo apoio incondicional, a meus amigos que sempre me deram força e a meu orientador pela paciência e pelos ensinamentos.

Agradecimentos

À minha família, que sempre me deu apoio e suporte para que eu pudesse estudar e seguir a carreira que sempre sonhei;

Ao meu orientador Jorge Meléndez, pela oportunidade de realizar esta pesquisa e por todo o aprendizado que me proporcionou;

À Professora Jane, que deu todo apoio para que eu pudesse concluir o curso;

Aos meus colegas do IAG que estiveram ao meu lado nessa jorna, à meus veteranos por me receberem com carinho e me aconselharem e a meus calouros pelas risadas e pela motivação;

À FAPESP, pelo apoio financeiro, sob o projeto nº: 2013/10165-7;

Ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

"*As pessoas boas devem amar seus inimigos*"

Seu Madruga

"*Se um homem não descobriu nada pelo qual morreria, não está pronto para viver*"

Martin Luther King

Resumo

O projeto consiste em identificar com altíssima precisão exoplanetas em torno de gêmeas solares e determinar seus parâmetros orbitais pelo método de variação na velocidade radial. Com o objetivo de aumentar a precisão nas medidas de velocidade radial estudou-se a atividade magnética das estrelas observadas através das linhas H e K do Ca II.

Abstract

The project consists in identifying with high precision exoplanets around solar twins and determining their orbital parameters by the method of radial velocity variations. In order to increase the accuracy in the radial velocity measurements, we studied the magnetic activity of the stars observed through the Ca II H and K lines.

Lista de Figuras

1.1 Intensidade da atividade magnética de 18 Scorpii entre 1997 e 2007. 23

2.1 Exemplo de espectro do HARPS... 25

3.1 Exemplo de filtros usados nas linhas H e K.... 27

4.1 Calibração entre os índices H e K para o índice S. 31

4.2 Evolução temporal da atividade magnética de 18 Scorpii 33

4.3 Evolução temporal da velocidade radial e da atividade magnética de 18 Scorpii 35

4.4 Ajuste dos exoplanetas às velocidades radiais de 18 Scorpii. 36

Lista de Tabelas

3.1 Filtros H e K 28

4.1 Períodos mais significativos do Sol 34

4.2 Parâmetros orbitais ajustados para 18 Scorpii 36

Sumário

1. Introdução 22

1.1 Método de velocidade radial e suas limitações 22

1.2 Gêmeas Solares 23

1.2.1 18 Scorpii 23

1.3 Objetivos 24

2. Base de dados 25

2.1 Espectrógrafo HARPS 25

2.2 Espectrógrafo HIRES 26

3. Análise 27

3.1 Análise das linhas H e K do Ca II 27

3.1.1 Sistema Internacional do índice S de Mount Wilson 28

3.2 Análise da periodicidade das linhas 28

3.2.1 Periodicidade das linhas do Sol 28

3.2.2 Periodicidade das linhas de 18 Scorpii 29

3.3 Velocidade radial das gêmeas Solares 29

3.3.1 Tratamento das medidas de velocidade radial de 18 Scorpii 30

4. Resultados 31

4.1 Calibração para o índice S 31

4.1.1 Calibração dos dados do HARPS 31

4.1.2 Calibração dos dados do HIRES 32

4.2 Evolução temporal de 18 Scorpii 33

4.3 Periodicidade das linhas do Sol 34

4.4 Velocidade radial de 18 Scorpii 35

4.4.1 Evolução da velocidade radial e atividade magnética 35
4.4.2 Ajuste de exoplanetas as medidas de velocidade radial 36
5. Conclusão 37

Referências 37

Capítulo 1

Introdução

1.1 Método de velocidade radial e suas limitações

O primeiro exoplaneta foi descoberto em 1995 pelo método de variação na velocidade radial (Mayor & Queloz 1995). O método de variação na velocidade radial consiste em analisar diversos espectros da estrela numa ampla janela temporal e determinar em cada espectro sua velocidade radial pela variação para o *blueshift* ou para o *redshift*. Se a estrela apresentar uma variação periódica na velocidade radial com amplitude pequena (<< 1 km s^{-1}), então pode haver um planeta orbitando-a.

Devido a limitações instrumentais e intrínsecas a estrelas, é mais fácil a identificação de exoplanetas massivos e de baixos períodos orbitais, pois estes causam maior variação na velocidade radial. Entretanto para identificar outros planetas semelhantes a Terra é necessário uma análise muito maior dos espectros, pois além da limitação instrumental há uma limitação devido a fenômenos estelares como oscilações, atividade magnética e granulação, que geram variações periódicas nas linhas observadas. Além de diminuir a precisão na velocidade radial, tais variações podem ser confundidas com a presença de exoplanetas.

Para melhorar a precisão das medidas de velocidade radial é necessário estudar a atividade estelar. Para se determinar o período de atividade magnética da estrela e o seu período de rotação, usa-se a variação nas linhas H e K do Ca II, que são linhas bem intensas e fortemente relacionadas com a atividade estelar. Numa estrela ativa há emissão no centro das linhas H e K; quanto maior for o pico de emissão em relação ao continuo mais intensa será a atividade magnética observada.

Como o projeto estuda gêmeas solares, usamos o Sol como referência, pois é a estrela que melhor conhecemos na sua atividade magnética, portanto podemos afirmar que as linhas mais sensíveis à atividade magnética do Sol também serão mais sensíveis à atividade magnética das gêmeas solares. Assim, outro objetivo importante do projeto é determinar, a partir das medidas de largura e profundidade de certas linhas do Sol, se há alguma linha que não apresente periodicidade, e quais períodos são mais característicos para a atividade magnética solar.

1.2 Gêmeas Solares

Gêmeas solares são estrelas muito semelhantes ao Sol, tanto em massa, temperatura e principalmente em metalicidade; atualmente são conhecidas mais de 70 dessas estrelas. O professor Jorge Meléndez lidera um projeto de longo prazo, de 2011 a 2015, de observação de gêmeas solares com o espectrógrafo HARPS do ESO. O objetivo da missão é observar periodicamente cada gêmea solar conhecida e assim ter novas informações sobre elas, como por exemplo, a presença de exoplanetas.

1.2.1 18 Scorpii

Em 1997 foi identificada a primeira gêmea solar, 18 Scorpii (Porto de Melo & da Silva 1997); esta estrela é a gêmea solar mais próxima do Sol. 18 Scorpii tem uma temperatura superficial de 5823K, 46K mais quente que o Sol, e uma idade estimada de 2,9 bilhões de anos (Meléndez et al. 2014). Justamente por ser a primeira gêmea solar identificada, a estrela 18 Scorpii é a mais observada, com um total de mais de 5 mil observações só pelo espectrógrafo HARPS. Como 18 Sco tem sido muito bem observada, em 2007 foi estimado o período de atividade magnética desta estrela (Hall, Henry & Lockwood 2007), uma informação importante que ainda é conhecida para poucas estrelas. 18 Scorpii tem um período de atividade magnética de aproximadamente 7 anos, consideravelmente menor que o Sol, cujo período é de 11 anos. Esse período mais curto está relacionado com o fato desta estrela ser mais nova e mais ativa que o Sol.

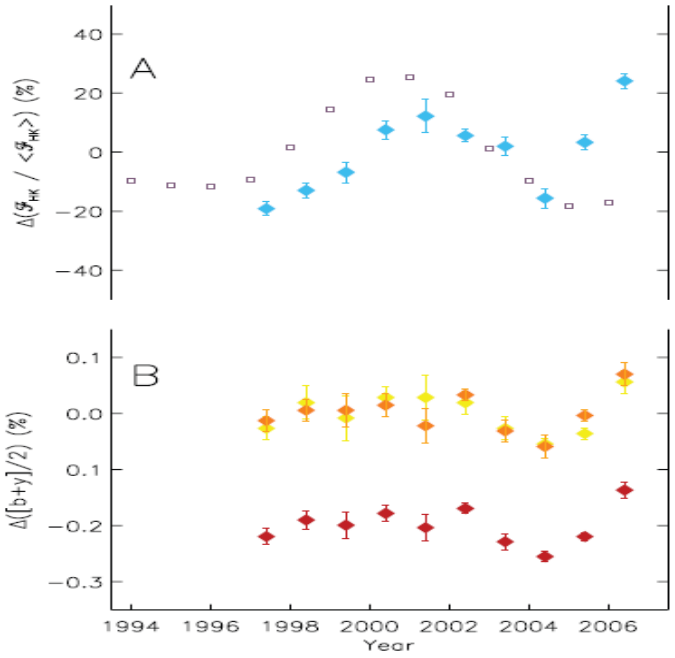


Figura 1.1: Intensidade da atividade magnética de 18 Scorpii entre 1997 e 2007. A partir do gráfico acima foi determinado que 18 Scorpii tem um período de atividade magnética de 7 anos (Hall, Henry & Lockwood 2007)

1.3 Objetivos

O objetivo do projeto é determinar as linhas do espectro mais sensíveis à atividade estelar e eliminá-las no cálculo da variação da velocidade radial para obter uma precisão bem maior e assim poder detectar planetas de menores massas. Outro objetivo importante do projeto é determinar, a partir das medidas de largura e profundidade de certas linhas dos Sol, se há alguma linha que não apresente periodicidade, e quais períodos são mais característicos para a atividade magnética solar. Além disso, também procurou-se, a partir das medidas de velocidade radial de cada gêmea solar, exoplanetas que pudessem ser detectados mesmo com o ruído presente nas medidas. Por fim, para 18 Scorpii o objetivo foi descrever a evolução temporal de sua atividade magnética e calcular o periodograma para a intensidade e largura de diversas linhas e assim determinar se há linhas em 18 Scorpii que não apresentam variações periódicas e quais períodos podem estar associados com os efeitos magnéticos de 18 Scorpii, que são ainda pouco conhecidos.

Capítulo 2

Base de dados

2.1 *Espectrógrafo HARPS*

Quase todos os dados utilizados foram espectros de observações feitas com o espectrógrafo HARPS através do telescópio do ESO de 3,6m no observatório La Silla. Foram utilizados os espectros das gêmeas solares disponíveis, o que inclui principalmente o projeto de observação de gêmeas solares liderado pelo professor Jorge Meléndez, além de espectros de outras missões, sendo boa parte deles anteriores a 2011 e desta forma ampliando a janela temporal. O espectrógrafo HARPS é dedicado à procura de exoplanetas e tem altíssima precisão, sua varredura vai de 3780 Å a 6910 Å e sua resolução espectral é de 115000, o que permite determinar velocidades radias com erros da ordem de 1m/s. Outra vantagem é que o próprio processo de redução dos espectros do HARPS calcula a velocidade radial e estima o erro da medida.

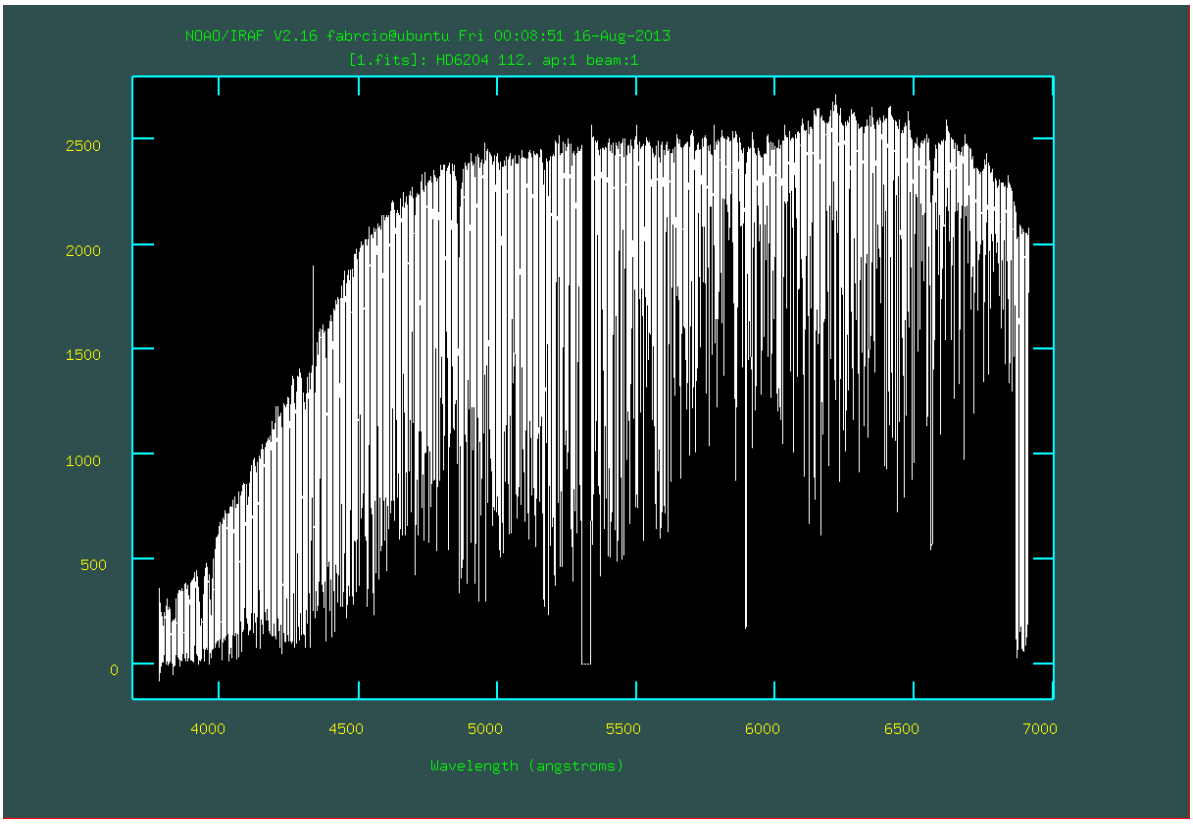


Figura 2.1: Exemplo de espectro do HARPS da gêmea solar hip4909. Pelo espectro é possível notar a elevada precisão do espectrógrafo cuja resolução espectral chega a 115000.

2.2 Espectrógrafo HIRES

Apesar de muito numerosas, as observações de 18 Scorpii feitas pelo HARPS foram mal distribuídas, durante aproximadamente 3 anos não houve observações entre 2009 e 2012. Para compensar este período, para medir a intensidade da atividade magnética de 18 Scorpii também foram usados espectros do espectrógrafo HIRES no observatório Keck. O Espectrógrafo HIRES também é bem preciso, seu poder de resolução espectral chega a 85 mil. Apesar de sua resolução ser menor que a do HARPS, este ainda tem a vantagem de que desde 2005 teve ao menos uma observação por ano da estrela 18 Scorpii. Assim foi possível levantar o comportamento da estrela 18 Scorpii com uma boa varredura temporal.

Capítulo 3

Análise

3.1 Análise das linhas H e K do Ca II

Na região coberta pelos espectros as linhas mais largas são as linhas H e K do Ca II, 3968,47 Å e 3933,68 Å respectivamente. A análise destas linhas se deu através das medidas dos índices H e K. Os índices H e K são a razão entre a emissão no centro de cada linha com o fluxo de uma região aproximadamente contínua do espectro. Como a atividade magnética da estrela altera a intensidade das linhas, os índices H e K são bons indicadores da atividade magnética da estrela, pois a emissão no centro das linhas é proporcional à intensidade da atividade magnética. Como essas linhas são bem largas, da ordem de 1,3 Å, é possível calcular com boa precisão a intensidade da estrela em cada observação. Para essa medição criou-se dois filtros, um na linha H e outro na K, e selecionou-se uma região aproximadamente contínua para cada linha (Tab. 3.1). Como cada estrela possui uma determinada velocidade radial, foi feita para cada estrela a correção devida ao efeito Doppler, e com a rotina sbands do IRAF foram calculados os índices H e K. Esse processo foi repetido para cada espectro disponível de todas gêmeas solares, e assim foram calculados os índices para determinar quais eram mais ativas.

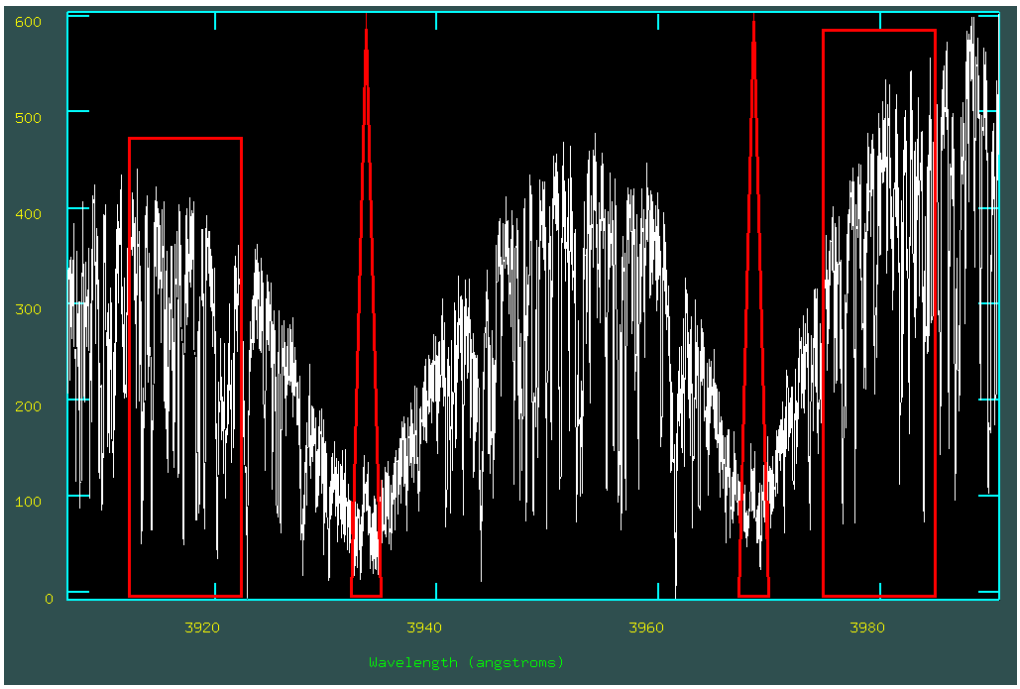


Figura 3.1: Região do espectro onde se encontram as linhas H e K do Ca II de uma estrela muito ativa. Os triângulos representam filtros usados para calcular a emissão na linha K (à esquerda) e na linha H (à direita). Os retângulos representam regiões do contínuo usados para normalizar as emissões.

Tabela 3.1 – Linhas H e K com as respectivas regiões do contínuo usadas para determinar os índices H e K

Linha	Centro	Largura	Região do contínuo	Centro	Largura
K (Ca II)	3933.663 Å	1.3 Å		3919.8 Å	5 Å
H (Ca II)	3968.469 Å	1.3 Å		3982.3 Å	5 Å

3.1.1 Sistema Internacional do índice S de Mount Wilson

O índice S de Mount Wilson se trata do sistema internacional de medidas de intensidade da atividade magnética da estrela. O índice S é calculado de forma similar aos índices H e K, entretanto estes índices foram originalmente definidos a partir de observações do observatório de Mount-Wilson, o qual tem um grande projeto de determinação de ciclo de atividade magnética de diversas estrelas. Uma parte importante do projeto foi converter as medidas obtidas pelos índices H e K da estrela 18 Scorpii para medidas no índice S e desta forma poder comparar as medidas obtidas com outras encontradas na literatura. Para fazer essa conversão de índices foram feitas duas calibrações, uma com dados do HARPS e outra com dados do HIRES. Em cada calibração usou-se diversas estrelas cujo índice S já era conhecido e calcularam-se os índices H e K médio de cada estrela. Em seguida foram feitos ajustes lineares correlacionando os índices H e K com o índice S e determinou-se qual era mais vantajoso. Os resultados destas calibrações estão presentes nas figuras 4.1 e 4.2. Finalmente com essa calibração entre os índices converteram-se os índices H e K de 18 Scorpii para o índice S, usando diferentes calibrações para os dados do HARPS e do HIRES, e com mais algumas medidas do índice S presentes na literatura foi levantada a evolução temporal da atividade magnética de 18 Scorpii. A evolução temporal da intensidade magnética de 18 Scorpii segue na figura 4.3.

3.2 Análise da periodicidade das linhas

Como o objetivo é determinar quais linhas do espectro são mais afetadas pela atividade magnética da estrela e devido ao fato dos fenômenos relacionados à atividade magnética estelar serem periódicos, procurou-se por periodicidade nas larguras e intensidades das linhas observadas. A busca por periodicidade se deu em duas etapas, primeiro com algumas linhas do Sol que foram medidas por vários anos e com diversas linhas da estrela 18 Scorpii.

3.2.1 Periodicidade das linhas do Sol

Como o projeto trabalha com gêmeas solares as linhas do Sol podem ser usadas como referência. A grande vantagem de analisar as linhas do Sol é o fato do Sol ter uma ampla janela temporal de observações pois começou a ser observado antes que as demais estrelas, além de que seus espectros são mais constantes. Usando medidas nas linhas de 5379.6 Å (Fe I), 5380.3 Å (C I), 5381.0 Å (Ti II), 5393.2 Å (Fe I), 5394.6 Å (Mn) e 5395.2 Å (Fe I) de espectros solares desde 1973 (W. Livingston, et al, 2007), calculou-se a periodicidade das larguras e profundidades das linhas para determinar se estas linhas são sensíveis à atividade magnética ou à rotação do Sol. Para calcular a periodicidade das linhas utilizou-se um periodograma e considerou-se apenas os picos com probabilidade de falso alarme menor que 0,1, com isso determinaram-se os períodos mais significativos e as linhas mais afetadas pela atividade magnética. Os períodos mais significativos encontrados estão presentes na tabela 4.1.

3.2.2 Periodicidade das linhas de 18 Scorpii

Para medir as periodicidades das linhas de 18 Scorpii, primeiro, através da rotina scombine no IRAF, para cada noite com várias observações foram combinados 5 espectros considerados os melhores de cada noite. Assim a razão sinal/ruído de cada espectro combinado aumentou consideravelmente. Em seguida foram selecionadas centenas de linhas de diversos elementos do C (z=6) ao Zn (z=30) entre 3900 Å e 6900 Å e para cada uma dessas linhas foi selecionado uma região aproximadamente contínua do espectro próxima a ela. Desta forma foram criados filtros para medir a largura e profundidade de cada uma destas linhas, e através da rotina sbands foi obtida a largura e profundidade de cada linha. Em seguida foi criado um modelo para estimar os erros nas medidas, para isso simulou-se vários espectros ideais (sem ruídos) para cada espectro combinado e adicionou ruídos a cada um deles, sendo que a intensidade do ruído era inversamente proporcional à razão sinal/ruído de cada espectro. Após isso foram medidas as larguras e profundidades destes espectros simulados e os desvios encontrados foram considerados os erros de cada medida original.

Com isso foi obtida a evolução temporal da largura e profundidade de cada linha com seus respectivos erros, desta forma foi possível utilizar o periodograma para todas as linhas e determinar os períodos mais relevantes, que podem estar relacionados com o período de atividade magnética ou de rotação, assim como as linhas que mais se alteram devido à atividade da estrela.

3.3 Velocidade radial das gêmeas solares

Para cada gêmea solar foram utilizadas as medidas de velocidade radial calculadas nos espectros do HARPS. Assim para cada estrela foram feitos ajustes a procura de exoplanetas cujas órbitas estivessem de acordo com as velocidades radiais observadas. Entretanto, a grande maioria destas estrelas tinham poucas observações, além disso muitas só começaram a ser observadas pelo HARPS durante o programa de Longo Prazo do professor Jorge Meléndez. Desta forma há uma grande limitação tanto em detectar exoplanetas com maiores períodos orbitais quanto em realizar uma estatística mais robusta com os dados. Entretanto há uma grande exceção, a estrela 18 Scorpii, que além de ser observada desde 2005, devido ao número excessivamente alto de observações, permite um tratamento estatístico mais robusto.

3.3.1 Tratamento das medidas de velocidade radial de 18 Scorpii

A estrela 18 Scorpii já foi observada mais de 5000 vezes pelo HARPS desde 2005, sendo que destas observações boa parte ocorreu em maio de 2009, quando 18 Scorpii foi observada uma semana inteira a cada 1 ou 2 minutos durante todas as noites, o que gerou milhares de espectros. Como havia muitas medidas de velocidade radial de 18 Scorpii, foram eliminadas as medidas com erro maior que 2 m/s. Para as noites nas que havia muitas observações foram utilizadas apenas as medidas no meio da noite, no horário cujas medidas têm menos ruído. O Sol tem oscilações acústicas que duram 5 minutos, tais oscilações também são fonte de ruído ao calcular a velocidade radial de outras estrelas; uma forma de contornar esse ruído é calcular a média da velocidade radial de uma estrela calculada em cada período. Ainda não se sabe ao certo o período das oscilações acústicas de 18 Scorpii, mas devido à sua semelhança ao Sol acredita-se que seja próximo de 5 minutos. Então com o intuito de minimizar o ruído devido as oscilações acústicas calculou-se a média das velocidades radiais a cada 12 minutos, aproximadamente 2 ciclos solares. Assim as mais de 5000 medidas de velocidade radial de 18 Scorpii foram reduzidas para aproximadamente 70 com erros menores que as medidas originais. O resultado desta redução de dados pode ser visualizado na figura 4.4.

Finalmente, depois de toda essa redução de dados, foi feito o ajuste de exoplanetas aos dados. O resultado deste ajuste segue na figura 4.5 e os parâmetros orbitais encontrados seguem na tabela 4.2.

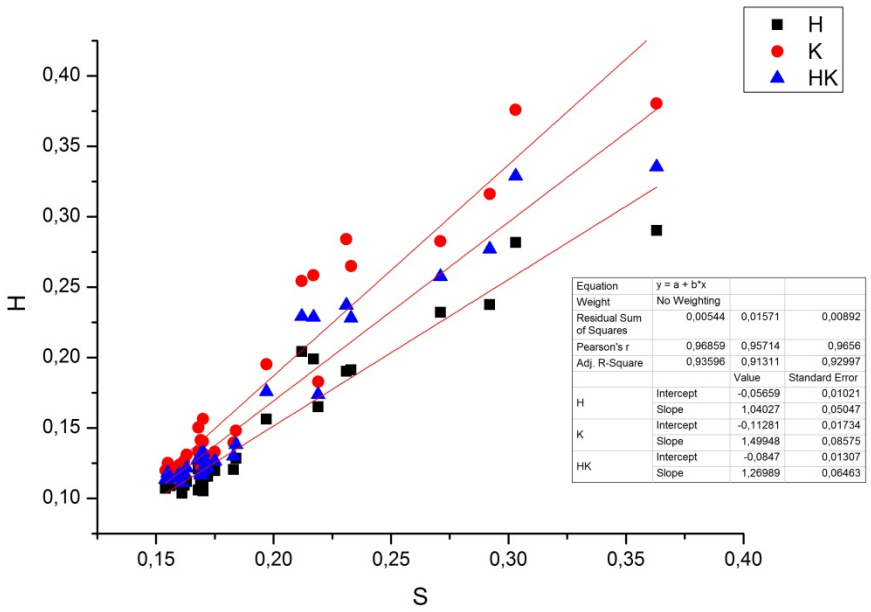
Capítulo 4

Resultados

4.1 Calibração para o índice S

4.1.1 Calibração dos dados do HARPS

A partir das medidas nos índices H e K de diversas estrelas obteve-se o ajuste entre os índices medidos pelos espectros do HARPS.



Equation	y = a + b*x		
Weight	No Weighting		
Residual Sum of Squares	0,00544	0,01571	0,00892
Pearson's r	0,96859	0,95714	0,9656
Adj. R-Square	0,93596	0,91311	0,92997
		Value	Standard Error
H	Intercept	-0,05659	0,01021
	Slope	1,04027	0,05047
K	Intercept	-0,11281	0,01734
	Slope	1,49948	0,08575
HK	Intercept	-0,0847	0,01307
	Slope	1,26989	0,06463

Figura 4.1: Ajuste linear entre os índices H e K em relação ao índice S com os dados do HARPS. No eixo vertical os valores representam a média de cada índice H e K de cada estrela e no eixo horizontal o valor do índice S das mesmas estrelas, permitindo correlacionar os índices.

Pelo ajuste, ficou determinado que o índice H é melhor para fazer a conversão para o índice S pois o ajuste linear ficou melhor ajustado aos dados. A relação de conversão do índice H para o índice S ficou estabelecida como:

$$\mathrm{Index(S)} = 1{,}04 * \mathrm{Index(H)} - 0{,}057$$

Sendo Index(H) o índice H medido e Index(S) o índice S calculado.

4.1.2 Calibração dos dados do HIRES

Como foi determinado na calibração dos dados do HARPS o índice H é o melhor para fazer a conversão para o índice S, por isso esse também foi o índice utilizado para fazer a conversão dos dados do HIRES para o índice S.

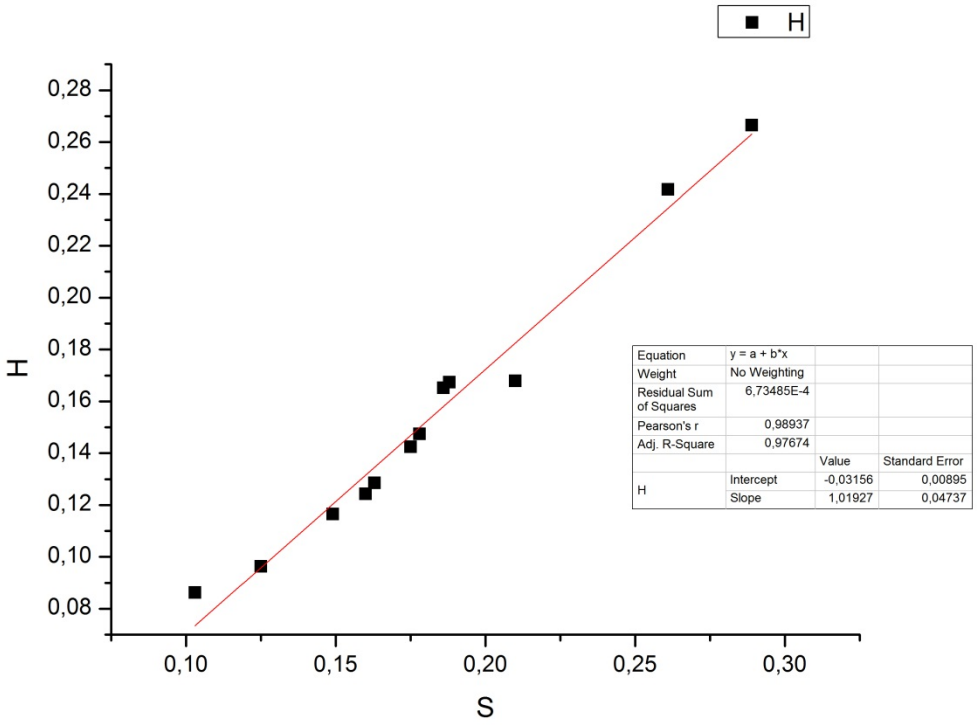


Figura 4.2: Ajuste linear entre os índice H e K em relação ao índice S com os dados do HIRES. No eixo vertical os valores representam a média de cada índice H e K de cada estrela e no eixo horizontal o valor do índice S das mesmas estrelas, permitindo correlacionar os índices.

A relação de conversão do índice H para o índice S ficou estabelecida como:

$$\mathrm{Index(S)} = 1{,}019 * \mathrm{Index(H)} - 0{,}032$$

4.2 Evolução temporal de 18 Scorpii

A partir das calibrações feitas para os dados do HARPS e do HIRES foi levantada a evolução temporal de 18 Scorpii e feita a média a cada 3 meses junto com outros valores encontrados na literatura.

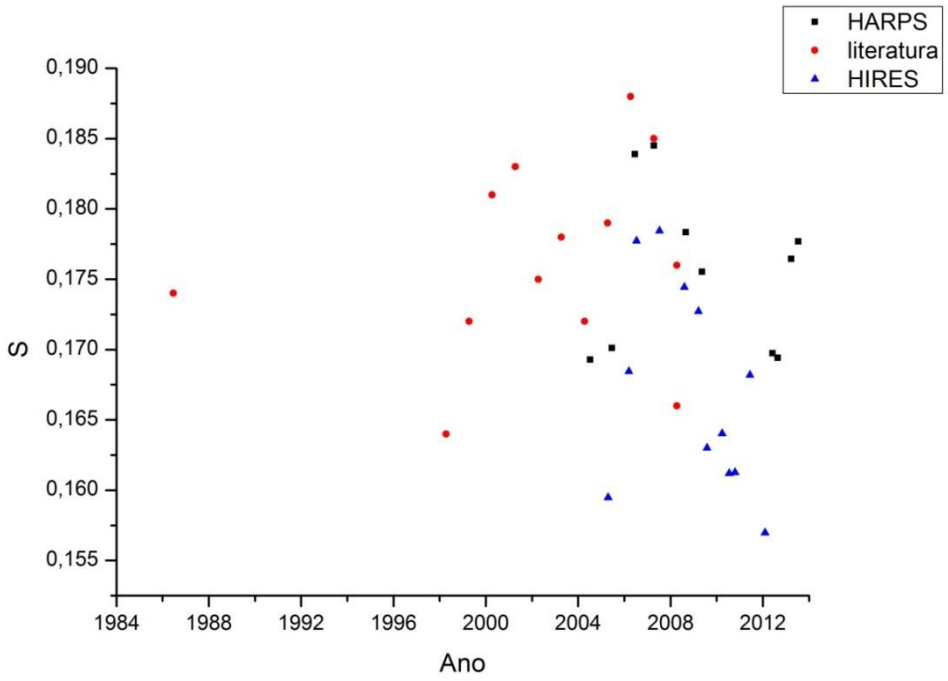


Figura 4.3: Evolução temporal da atividade magnética de 18 Scorpii, a partir do índice S. Os pontos em vermelhos são valores que já eram conhecidos, os demais foram calculados a partir da conversão do índice H para o índice S.

4.3 Periodicidade das linhas do Sol

A partir das medidas do Sol desde 1973 foi calculada a periodicidade da largura e da profundidade das linhas cujo alarme falso é menor que 0,1.

Tabela 4.1 – Períodos mais significativos do Sol

Linha	Períodos para a profundidade (dias)	Períodos para a largura (dias)
5379.6 Å (Fe I)	12865	12685.4
	30.4053	30.4009
	30.2163	3653.23
	29.5111	15.2077
	41.6572	2575.79
5380.3 Å (C I)	12102.1	2677.16
	30.3985	1001.97
	29.5046	379.459
	15.207	
	41.684	
5381.0 Å (Ti II)	16826.4	12685.4
	30.4096	30.4014
	3715.67	3643.91
	2597.87	15.2372
	15.2352	2577.12
5393.2 Å (Fe I)	10525.5442	10717.3
		4206.86
5394.6 Å (Mn)	13622.6857	14223.3
	4537.0617	4334.5
5395.2 Å (Fe I)	13829.9265	10751.9
	4376.2342	4217.51

Com os resultados do periodograma notou-se que as linhas utilizadas tinham periodicidades nítidas, os períodos mais longos encontrados, da ordem de 10000 dias, devem estar relacionados com o período de atividade magnética do Sol de 11 anos, enquanto que os menores períodos de 30 dias devem estar relacionados com a rotação do Sol.

4.4 Velocidade radial de 18 Scorpii

4.4.1 Evolução da velocidade radial e atividade magnética

A partir do tratamento de dados das medidas de velocidade radiais de 18 Scorpii foi levantado a evolução temporal de sua velocidade radial, e em seguida comparada com as medidas de intensidade da atividade magnética obtida com os mesmos dados do HARPS.

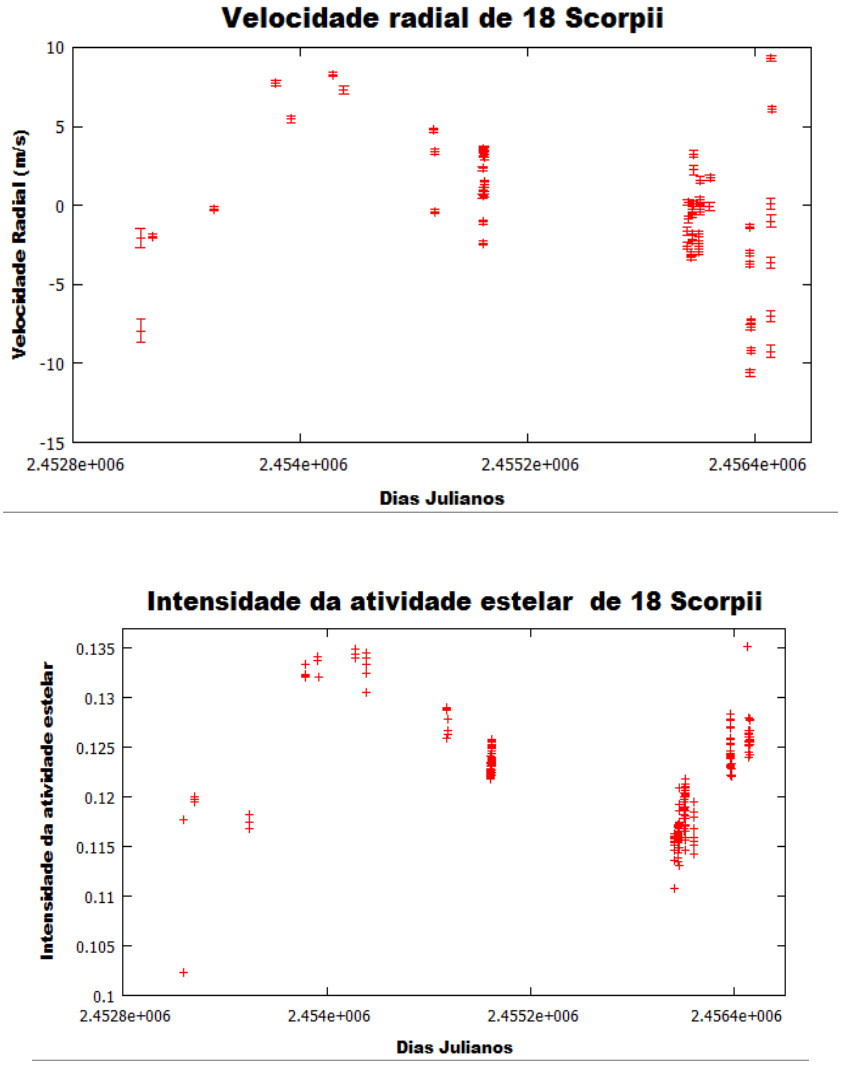


Figura 4.4: Evolução temporal da velocidade radial segundo as medidas do HARPS (acima) e a evolução temporal da atividade magnética usando o índice S após a conversão do índice H (abaixo) de 18 Scorpii.

Quando comparado a velocidade radial e o índice de atividade magnética no mesmo período é possível notar uma clara correlação, tanto os picos de máximo quanto de mínimo se coincidem. Essa correlação é um forte indicio de que as variações de velocidade radial são devidas em boa parte à atividade magnética de 18 Scorpii.

4.4.2 Ajuste de exoplanetas às medidas de velocidade radial

A partir das medidas de velocidade radial foram ajustados exoplanetas à curva de velocidade radial. Como o ajuste com 1 exoplaneta não ficou bom, foi adicionado mais 1 exoplaneta para melhorar o ajuste.

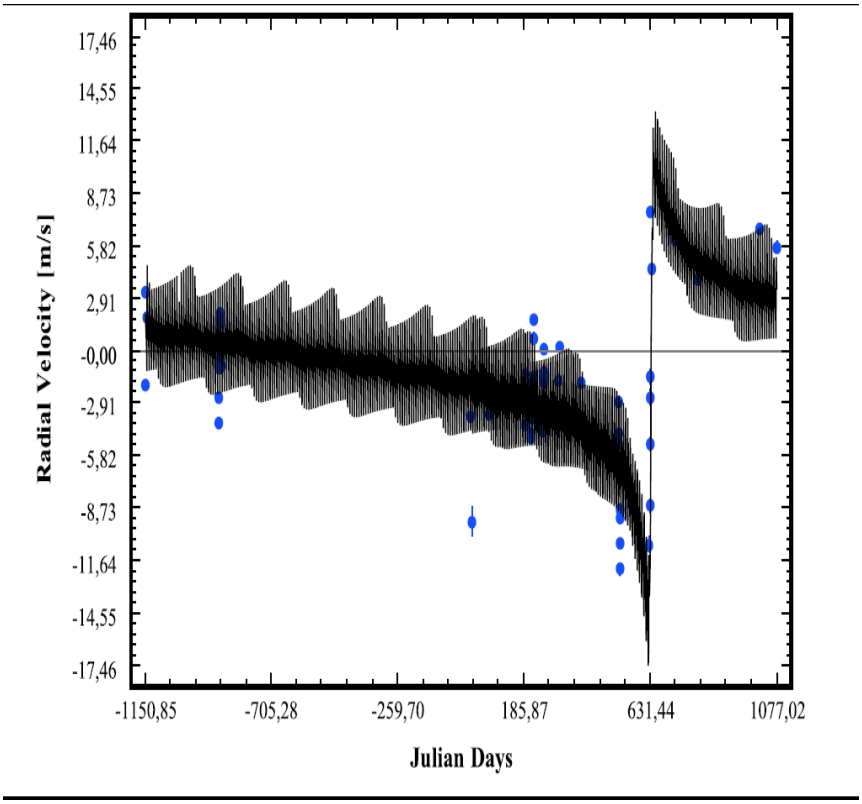


Figura 4.5: Ajuste dos exoplanetas às velocidades radiais de 18 Scorpii.

Tabela 4.2 – Parâmetros orbitais ajustados

	Exoplaneta 1	Exoplaneta 2
Período	2701,60 dias	8,04 dias
Massa	0,2857 MJ	0,0197 MJ
Excentricidade	0,944	0,854

O primeiro exoplaneta tem vários indícios de se tratar de um alarme falso, primeiro pois as velocidades radiais tem o mesmo comportamento da atividade magnética quando comparadas no mesmo período, além disso o período encontrado para este exoplaneta foi de aproximadamente 7 anos, próximo ao período de atividade magnética e por fim sua excentricidade é muito elevada, o que raramente ocorre nas órbita de planetas.

Capítulo 5

Conclusões

Pelo resultado dos periodogramas não foi possível identificar nenhuma linha que não se altere com a atividade magnética. Entretanto ficou claro que a periodicidade das linhas analisadas está relacionada com o ciclo magnético da estrela e com o período de rotação.

O ajuste feito dos exoplanetas, apesar de próximo às medidas originais, pode se tratar de um alarme falso. Ao que tudo indica, o primeiro exoplaneta ajustado provavelmente se trata de ruído devido a atividade de 18 Scorpii, enquanto que o segundo ainda pode se tratar de um exoplaneta real.

A continuação do projeto consiste em continuar procurando linhas sensíveis à atividade estelar, para no futuro eliminá-las do cálculo de velocidade radial para assim determinar essa grandeza com maior precisão. Posteriormente também pretende-se detectar exoplanetas em gêmeas solares usando os novos dados que a equipe do orientador Jorge Meléndez irá coletar, e também tentaremos eliminar as linhas sensíveis a atividade magnética da estrela.

Devido à minha participação na pesquisa dos espectros do HARPS do programa de procura de exoplanetas do Professor Meléndez, e em particular pelo meu trabalho relacionado à atividade da estrela 18 Sco, fui co-autor em duas publicações sobre as gêmeas solares HIP 102152 e 18 Sco:

1. High Precision Abundances of the Old Solar Twin HIP 102152: Insights on Li Depletion from the Oldest Sun. Monroe. TalaWanda R.; Meléndez, Jorge; Ramírez, Iván; Yong, David; Bergemann, Maria; Asplund, Martin; Bedell, Megan; Tucci Maia, Marcelo; Bean, Jacob; Lind, Karin; Alves-Brito, Alan; Casagrande, Luca; Castro, Matthieu; do Nascimento, José-Dias; Bazot, Michael; Freitas, Fabrício C. 2013, ApJ, 774, L32 (6 pp)

2. 18 Sco: A Solar Twin Rich in Refractory and Neutron-capture Elements. Implications for Chemical Tagging. Meléndez, Jorge; Ramírez, Iván; Karakas, Amanda I.; Yong, David; Monroe, TalaWanda R.; Bedell, Megan; Bergemann, Maria; Asplund, Martin; Tucci Maia, Marcelo; Bean, Jacob; do Nascimento, J. D., Bazot, M. Alves-Brito, A., Freitas, Fabrício C., Matthieu, C., 2014, ApJ, 791, 14 (14pp)

Referências Bibliográficas

Hall, Jeffrey C.; Henry, Gregory W.; Lockwood, G. Wesley, The Sun-like activity of the solar twin 18 Scorpii, The Astronomical Journal, 2007, Vol. 133, p. 2206

Livingston W., Sun-as-a-Star Spectrum Variations 1974-2006, The Astronomical Journal, 2007, Vol. 657, p.1137

Mayor M., Queloz D., A Jupiter-mass companion to a solar-type star, Nature, 1995, vol. 378, p. 35

Meléndez, Jorge; Ramírez, Iván; Karakas, Amanda I.; Yong, David; Monroe, TalaWanda R.; Bedell, Megan; Bergemann, Maria; Asplund, Martin; Tucci Maia, Marcelo; Bean, Jacob; do Nascimento, J. D., Bazot, M. Alves-Brito, A., Freitas, Fabrício C., Matthieu, C. 18 Sco: A Solar Twin Rich in Refractory and Neutron-capture Elements. Implications for Chemical Tagging. 2014, ApJ, 791, p. 14 (14 pp.)

Monroe, TalaWanda R.; Meléndez, Jorge; Ramírez, Iván; Yong, David; Bergemann, Maria; Asplund, Martin; Bedell, Megan; Tucci Maia, Marcelo; Bean, Jacob; Lind, Karin; Alves-Brito, Alan; Casagrande, Luca; Castro, Matthieu; do Nascimento, José-Dias; Bazot, Michael; Freitas, Fabrício C., High Precision Abundances of the Old Solar Twin HIP 102152: Insights on Li Depletion from the Oldest Sun. 2013, ApJ, 774, L32 (6 pp)