

## UMA BIBLIOTECA DE ESPECTROS ESTELARES NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA MEDIDAS DE CINEMÁTICA ESTELAR EM GALÁXIAS

Marlon R. Diniz, Rogemar A. Riffel

PPG em Física - CCNE/UFSM; Santa Maria, RS  
e-mail: [diniz.mr@gmail.com](mailto:diniz.mr@gmail.com)

### Resumo

Neste trabalho, ampliamos a biblioteca de espectros na banda K de estrelas de tipo tardio do Observatório Gemini, a partir de observações obtidas com o instrumento NIFS (Near-infrared Integral Field Spectrograph), disponíveis na base de dados do Observatório. A principal aplicação dessa biblioteca está relacionada à medida da cinemática estelar em galáxias a partir de ajustes das bandas de absorção do CO em  $\sim 2.3 \mu\text{m}$ . Para se obter medidas robustas, é necessária a inclusão dos diferentes tipos espectrais que produzem tais absorções. Apresentamos espectros de 20 estrelas com resolução espectral de  $\sim 3.2 \text{ \AA}$ , sendo 11 do tipo espectral K, 8 do tipo espectral M e 1 do tipo G, o que representa uma ampliação de 50% da biblioteca original. A inclusão de 8 espectros de estrelas do tipo M é de fundamental importância, pois preenche uma carência de estrelas desse tipo na biblioteca original e permite a obtenção de medidas mais robustas para a dispersão de velocidades estelar em galáxias. Construímos gráficos da largura equivalente (EW) para o  $\text{CaI}\lambda 2.2636 \mu\text{m}$ ,  $\text{FeI}\lambda 2.2387 \mu\text{m}$ ,  $\text{NaI}\lambda 2.2070 \mu\text{m}$ ,  $^{12}\text{CO}2.2\lambda 935 \mu\text{m}$ ,  $^{13}\text{CO}\lambda 2.3448 \mu\text{m}$  e  $\text{MgI}\lambda 2.2814 \mu\text{m}$  versus a temperatura efetiva ( $T_{\text{eff}}$ ) da estrela. Esses gráficos mostram que quanto menor a  $T_{\text{eff}}$ , maior é o valor da EW para as cinco primeiras linhas. Enquanto que, para o  $\text{MgI}\lambda 2.2814 \mu\text{m}$ , a EW apresenta um valor constante de  $\sim 0.6 \text{ \AA}$  para estrelas de

diferentes temperaturas.

**Palavras-chave:** estrelas; espectroscopia; dinâmica de galáxias.

## Abstract

In this work, we have expanded the library in the K-band spectra of the late-type stars in the Gemini observatory through the observations obtained with the Near-infrared Integral Field Spectrograph (NIFS), available in the Gemini archive. The main application of this library is the measurement of stellar kinematics in galaxies by the fitting of the CO band heads at  $\sim 2.3$  mm. To obtain reliable measurements of velocity dispersion ( $\sigma_*$ ) it is necessary to include different spectral types, representative of the stellar population which produces such absorptions. We present spectra of 20 stars with spectral resolution of  $\sim 3.2$  Å, including 11 K stars, 8 M and 1 of the type G, representing an increase of 50%. The inclusion of eight spectra of M-type stars has a fundamental importance because such stars were absent the original library. This inclusion allows more robust measurements for the stellar  $\sigma_*$  in galaxies. We present plots of equivalent width (EW) for CaI $\lambda$  2.2636  $\mu$  m, FeI $\lambda$  2.2387  $\mu$  m, NaI $\lambda$  2.2070  $\mu$  m,  $^{12}$ CO $\lambda$  2.2935  $\mu$  m,  $^{13}$ CO $\lambda$  2.3448  $\mu$  m and MgI $\lambda$  2.2814  $\mu$  m *versus* the effective temperature ( $T_{\text{eff}}$ ) of the star. These plots show that stars with lower  $T_{\text{eff}}$  have greater values of EW for the first five lines. While for MgI $\lambda$  2.2814  $\mu$  m, the EW has a constant value of  $\sim 0.6$  Å for stars of different temperatures. Finally, the use of the expanded library will provide more reliable measurements of stellar kinematics in the galaxies.

**Keywords:** stars; spectroscopy, dynamics of galaxies.

## 1. Introdução

O estudo da cinemática das estrelas de uma galáxia é o meio mais robusto de se obter informações sobre o potencial gravitacional que descreve as órbitas estelares (Emsellem et al. 2001; Márquez et al. 2003; Barbosa et al. 2006; Ganda et al. 2006; Cappellari et al. 2007, 2009; Dumas et al. 2007; Riffel et al. 2008, 2009, Riffel & Storchi-Bergmann, 2011). Entretanto, tais estudos requerem o uso de bases de espectros de

estrelas (geralmente de tipos tardios) para a realização de medidas cinemáticas. Para obter medidas confiáveis da dispersão de velocidade estelar ( $\sigma_*$ ), é necessário o uso de bibliotecas espectrais que incluam os tipos de estrelas que originam as absorções que se deseja ajustar (Riffel et al 2008, Emsellem et al. 2004, Silge & Gebhardt 2003). No infravermelho próximo, costuma-se ajustar as bandas de absorção da molécula CO em  $\lambda \sim 2.3\mu\text{m}$  na banda K a fim de se obter medidas da cinemática estelar, uma vez que estas são bastante proeminentes para a maioria das galáxias, facilitando os ajustes.

Entretanto, bibliotecas espectrais de estrelas nesta região são escassas na literatura e este fato motivou a construção da biblioteca de espectros de estrelas de tipo tardio com o telescópio Gemini, contento, originalmente, espectros de 40 estrelas (Winge, Riffel & Storchi-Bergmann 2009 – WRS-09). Neste trabalho, os autores apresentam uma aplicação da biblioteca em medidas da cinemática estelar para as galáxias NGC 4051, NGC 7582 e NGC 4258, a partir de ajustes das bandas de absorção do CO, utilizando como base todos os espectros da biblioteca simultaneamente e também espectros individuais. O principal resultado deste estudo é que os valores médios de  $\sigma_*$  obtidos utilizando somente um espectro como base diferem em até 70% – templates com larguras equivalentes (EWs) do  $^{12}\text{CO}\lambda\ 2.2935\mu\text{m}$  maiores resultam em menores valores de dispersão de velocidade. Esse resultado evidencia a importância de se utilizar uma biblioteca contendo espectros de estrelas de vários tipos espectrais (e varrendo um grande intervalo de valores de EWs) para obter medidas robustas da dispersão de velocidades.

A biblioteca de WRS-09 é composta principalmente por espectros de estrelas de tipos espectrais G e K, apresentando uma deficiência em espectros de estrelas de tipo M. Neste trabalho, ampliamos a biblioteca de WRS-09 a partir de dados do Observatório Gemini, incluindo espectros de 20 estrelas do tipo tardio (desde G8 até M3), sendo 7 estrelas do tipo M, sanando assim a deficiência de espectros de estrelas desta classe.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, descrevemos as observações e o processo de redução de dados. A seção 3 apresenta os resultados obtidos, os quais são discutidos na seção 4. As conclusões do presente trabalho são apresentadas na seção 5.

## 2. Observações e redução de dados

No presente trabalho, utilizamos dados espectroscópicos públicos, disponíveis na base de dados do Observatório Gemini, obtidos com o instrumento NIFS (Near-infrared Integral Field Spectrograph; McGregor et al. 2003) do telescópio Gemini Norte, os quais fazem parte dos projetos identificados como GN-2006A-C-11 (Investigador Principal (IP): Kenneth Freeman), GN-2007A-Q-45 (IP: Davor Krajnovic) e GN-2007A-Q-62 (IP: Matthias Tecza). Foram incluídos todos os dados públicos de estrelas de tipo tardio obtidos na banda K, disponíveis até a presente data. O NIFS é uma unidade de campo integral (IFU – Integral Field Unit), que possui um campo de visão de  $\sim 3 \times 3$  arcsec<sup>2</sup>, dividido em 29 slices com elementos de resolução com tamanhos de  $\sim 0.1 \times 0.04$  arcsec<sup>2</sup> que opera nas bandas Z, J, H, K, K<sub>s</sub> e K<sub>L</sub> do espectro eletromagnético.

A Tabela 1 apresenta a amostra utilizada assim como o tipo espectral, temperatura efetiva, estrela padrão utilizada para a remoção das absorções telúricas, data da observação, tempo de exposição, resolução espectral e a identificação de seu respectivo projeto. A temperatura efetiva das estrelas foi obtida do catálogo de Cayrel de Strobel et al. 2001 e, para as estrelas que não estavam presentes neste catálogo, foi utilizada a tabelade John S. Drilling & Arlo U. Landolt do livro Allen's Astrophysical Quantities (2001), fazendo uma interpolação entre dois tipos espectrais próximos quando necessário. A temperatura efetiva para a estrela HD 113538 foi obtida de Moutou et al. 2010, é 4685 K.

A redução de dados foi realizada utilizando o pacote **gemini.nifs** do software IRAF (Images Reduction And Analysis Facility), seguindo o procedimento padrão para redução de dados espectroscópicos. Foi aplicada divisão por flat-field, subtração do céu, calibração em comprimento de onda, correção por distorção espacial, remoção das bandas telúricas e normalização dos espectros. As principais tarefas do pacote **gemini.nifs** utilizadas para a redução dos dados de calibrações foram: *nfprepare*, *nsreduce*, *nsflat* e *nswavelength*. Para a redução dos dados de ciência e estrelas telúricas, foram utilizadas as tarefas *nfprepare*, *nsreduce*, *nstransform*, *nfelluric*, *nfextract* e *gemcombine*.

As observações utilizadas neste trabalho foram obtidas na banda K, utilizando a rede de dispersão K\_G5605 e o filtro HK\_0603, resultando em uma resolução espectral média de  $\sim 3.2$  Å, obtida a partir da largu-

ra a meia altura de perfis típicos de linhas de emissão presentes na lâmpada de calibração em comprimento de onda.

**Tabela 1. Propriedades da amostra.**

Projeto	Estrela	Class. Esp.	Teff (K)	Estrela padrão	Data da obs.	Tempo de exp.	Res. Espectral(Å)
GN-2006A-C-11	HD 139195	K0III	5091	HR 5685	22/07/06	30	3.2
	HD 108164	K2III	4582	HIP 59354	13/02/06	300	3.1
	HD 162211	K2III	4582	HIP 93194	22/07/06	60	3.2
	HD 166229	K3III	4540	HIP 93194	22/07/06	30	3.2
	HD 121447	K4III	4200	HIP 59354	13/02/06	200	3.1
	HD 181596 <sup>a</sup>	K5III	4050	HIP 95853	22/07/06	90	3.2
	HD 201065 <sup>a</sup>	K5Ib	3999	HIP 11169	22/07/06	60	3.2
	HD 129975 <sup>a</sup>	K3III	4290	HIP 72220	08/05/07	240	3.5
GN-2007A-Q62	HD 339034 <sup>a</sup>	K3Iab	4200	HIP 96153	05/05/07	80	3.2
	HD 613 <sup>a</sup>	K4III	4180	HD 221491	05/10/07	240	3.2
	BD+44 337	K5Ib	3990	HD 14212	06/10/07	400	3.4
	HD 118290a	M0III	3690	HIP 65198	03/05/07	20	3.4
	VES 145a	M0Iab	3620	HD 186440	24/06/07	32	3.4
	BD+09 4750a	M1III	3610	HD 196544	04/10/07	20	3.4
	BD-01 3097	M2III	3540	HIP 74689	08/05/07	100	3.3
	BD+59 274	M2	3400	HIP 5361	04/10/07	160	3.4
	BD+39 4208	M3Iab	3200	HD 191720	02/05/07	20	3.3
	HD 109053	G8III	4880	HIP 68120	24/06/07	32	3.2
GN-2007A-Q-45	HD 124440	K2III	4582	HIP 68120	04/05/07	30	3.2
	BD+03 2954	M0III	3690	HIP 50459	03/06/07	180	3.2

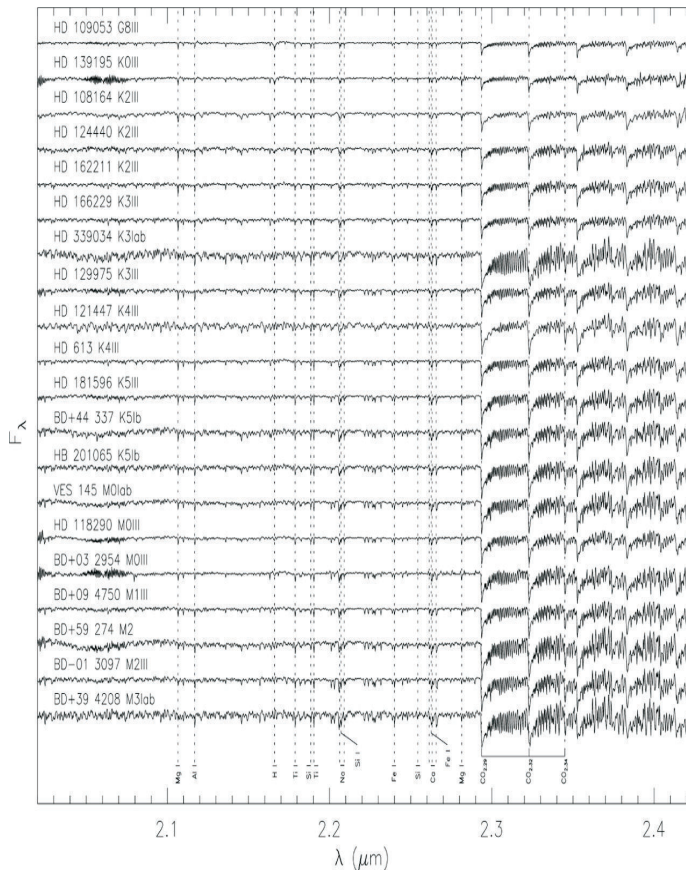
<sup>a</sup> estrelas que não estavam presentes no catálogo de Cayrel Strobel et al. 2001.

### 3. Resultados

A Figura 1 apresenta os espectros resultantes das 20 estrelas analisadas neste trabalho, os quais possuem um intervalo espectral de 2.1 a 2.45  $\mu$  m estão centrados em 2.2  $\mu$  m. Os espectros estão organizados de acordo com a classe espectral da estrela (estrelas mais quentes no topo e mais frias na base). A identificação da estrela e seu tipo espectral são apresentados em cada espectro, assim como as principais linhas de absorção detectadas. Os fluxos foram normalizados e por questão de visualização

somamos uma constante arbitrária entre um espectro e outro.

Todos os espectros foram corrigidos para velocidade zero, utilizando a tarefa *dopcor* do IRAF e tomando como referência o comprimento de onda central da linha do Mg I em  $\lambda = 22814.21 \text{ \AA}$ . Esta linha particular foi escolhida por estar presente em todos os espectros e apresentar um perfil gaussiano, facilitando seu ajuste. Essa correção é fundamental para a realização de medidas confiáveis de velocidades radiais em galáxias e para permitir a comparação destas com velocidades obtidas a partir de linhas de emissão do gás.



**Figura 1. Espectros para as 20 estrelas, nos quais identificamos absorções para: MgI  $\lambda$  2.1066  $\mu$  m, AlI  $\lambda$  2.1169  $\mu$  m, HI  $\lambda$  2.1661  $\mu$  m, TiI  $\lambda$  2.1788  $\mu$  m, SiI  $\lambda$  2.1885  $\mu$  m, TiI  $\lambda$  2.1903  $\mu$  m, NaI  $\lambda$  2.2062  $\mu$  m, SiI  $\lambda$  2.2068  $\mu$  m, NaI  $\lambda$  2.1089  $\mu$  m, FeI  $\lambda$  2.2398  $\mu$  m, SiI  $\lambda$  2.2543  $\mu$  m, CaI  $\lambda$  2.2614  $\mu$  m, FeI  $\lambda$  2.2626  $\mu$  m, CaI  $\lambda$  2.2631  $\mu$  m, CaI  $\lambda$  2.2657  $\mu$  m, MgI  $\lambda$  2.2814  $\mu$  m,  $^{12}\text{CO}$   $\lambda$  2.2935  $\mu$  m,  $^{12}\text{CO}$   $\lambda$  2.3227  $\mu$  m e  $^{13}\text{CO}$   $\lambda$  2.3448  $\mu$  m.**

Foram realizadas medidas de EW para os 20 espectros através do *software* PACCE (Perl Algorithm to Compute Continuum and Equivalent Widths – Riffel & Vale, 2011, em preparação), para as seguintes absorções: NaI  $\lambda$  2.2070  $\mu$  m, FeI  $\lambda$  2.2387  $\mu$  m, CaI  $\lambda$  2.2636  $\mu$  m, MgI  $\lambda$  2.2814  $\mu$  m,  $^{12}\text{CO}$   $\lambda$  2.2935  $\mu$  m e  $^{13}\text{CO}$   $\lambda$  2.3448  $\mu$  m. Os limites de integração para cada linha, bem como as regiões de contínuo utilizadas nas medidas são apresentadas na Tabela 2. Os resultados obtidos para as EWs são apresentados na Tabela 3, na qual o erro foi estimado pelo *software* PACCE, de acordo com a equação de Vollman & Eversberg (2006).

WRS-09 obtiveram uma anti-correlação entre a EW do  $^{12}\text{CO}$   $\lambda$  2.2935  $\mu$  m e a temperatura efetiva da estrela a partir de medidas de EW para as estrelas da biblioteca original, ou seja, estrelas mais quentes possuem  $\text{EW}_{\text{CO}2.2935}$  menores do que estrelas mais frias. A fim de verificar se essa tendência é observada na nossa amostra e também para outras linhas de absorção, construímos gráficos para as EWs do NaI  $\lambda$  2.2070  $\mu$  m, FeI  $\lambda$  2.2387  $\mu$  m, CaI  $\lambda$  2.2636  $\mu$  m, MgI  $\lambda$  2.2814  $\mu$  m,  $^{12}\text{CO}$   $\lambda$  2.2935  $\mu$  m e  $^{13}\text{CO}$   $\lambda$  2.3448  $\mu$  m *versus* a temperatura efetiva da estrela. Esses gráficos são apresentados na Figura 2, na qual os círculos representam a amostra de WRS-09 e os quadrados, a amostra do presente trabalho.

**Tabela 2. Limites de integração e pontos de contínuo.**

Elemento	$\lambda$ ( $\mu$ m)	Limites de integração ( $\mu$ m)	Pontos de contínuo ( $\mu$ m)
Na I	2.2070	2.2053 - 2.2101	2.2035 - 2.2048 ; 2.2120 - 2.2170
Fe I	2.2387	2.2367 - 2.2410	2.2335 - 2.2365 ; 2.2432 - 2.2446
Ca I	2.2636	2.2608 - 2.2678	2.2580 - 2.2605 ; 2.2700 - 2.2740
Mg I	2.2814	2.2805 - 2.2825	2.2775 - 2.2800 ; 2.2840 - 2.2880
$^{12}\text{CO}$	2.2935	2.2910 - 2.3070	2.2830 - 2.2888 ; 2.3120 - 2.3140
$^{13}\text{CO}$	2.3448	2.3436 - 2.3480	2.3390 - 2.3425 ; 2.3492 - 2.3505

**Tabela 3. Medidas de EW da amostra atual para o  $\text{NaI}\lambda$  2.2070  $\mu\text{m}$ ,  $\text{FeI}\lambda$  .2387  $\mu\text{m}$ ,  $\text{CaI}\lambda$  2.2636  $\mu\text{m}$ ,  $\text{MgI}\lambda$  2.2814  $\mu\text{m}$ ,  $^{12}\text{CO}\lambda$  2.2935  $\mu\text{m}$  e  $^{13}\text{CO}\lambda$  2.3448  $\mu\text{m}$ .**

Estrela	Clas. Esp.	EW <sub>Na I</sub>	EW <sub>Fe I</sub>	EW <sub>Ca I</sub>	EW <sub>Mg I</sub>	EW <sub>CO 2.29</sub>	EW <sub>CO 2.34</sub>
HD 109053	G8III	0.99 ± 0.05	0.35 ± 0.06	1.18 ± 0.09	0.42 ± 0.03	05.69 ± 0.49	0.38 ± 0.28
HD 139195	K0III	1.27 ± 0.07	0.26 ± 0.08	1.30 ± 0.17	0.68 ± 0.05	05.63 ± 0.59	0.16 ± 0.31
HD 108164	K2III	2.69 ± 0.08	0.63 ± 0.09	2.12 ± 0.14	1.07 ± 0.05	11.08 ± 0.48	0.68 ± 0.37
HD 124440	K2III	2.47 ± 0.11	0.64 ± 0.16	1.95 ± 0.19	0.84 ± 0.08	11.15 ± 0.64	1.04 ± 0.62
HD 162211	K2III	2.01 ± 0.10	0.74 ± 0.13	1.71 ± 0.16	0.83 ± 0.07	12.06 ± 0.74	1.24 ± 0.67
HD 166229	K3III	2.17 ± 0.09	0.47 ± 0.13	1.80 ± 0.17	0.91 ± 0.06	10.64 ± 0.73	0.55 ± 0.56
HD 129975	K3III	2.96 ± 0.09	0.75 ± 0.11	2.56 ± 0.17	0.72 ± 0.07	14.65 ± 1.17	2.71 ± 0.80
HD 339034	K3lab	3.95 ± 0.29	1.00 ± 0.36	3.02 ± 0.37	0.77 ± 0.14	26.59 ± 2.93	2.70 ± 1.70
HD 121447	K4III	3.03 ± 0.28	0.16 ± 0.37	-	0.56 ± 0.11	19.00 ± 0.91	2.61 ± 0.90
HD 613	K4III	2.22 ± 0.07	0.72 ± 0.08	2.04 ± 0.12	0.67 ± 0.05	14.09 ± 1.00	2.27 ± 0.79
HD 181596	K5III	2.57 ± 0.08	0.72 ± 0.09	2.53 ± 0.13	0.51 ± 0.07	16.35 ± 1.07	2.38 ± 1.06
HD 201065	K5Ib	3.28 ± 0.16	0.82 ± 0.18	2.38 ± 0.19	0.64 ± 0.09	18.98 ± 1.31	2.27 ± 1.25
BD+44 337	K5Ib	3.87 ± 0.20	0.95 ± 0.21	2.94 ± 0.25	0.82 ± 0.10	16.95 ± 1.19	1.47 ± 1.16
HD 118290	M0III	2.12 ± 0.06	0.66 ± 0.07	2.05 ± 0.15	0.48 ± 0.06	14.05 ± 1.04	3.00 ± 0.75
BD+03 2954	M0III	2.62 ± 0.11	0.66 ± 0.11	2.18 ± 0.20	0.45 ± 0.04	15.81 ± 1.49	3.94 ± 1.23
VES 145	M0Iab	3.42 ± 0.11	0.90 ± 0.12	3.13 ± 0.19	0.64 ± 0.07	17.61 ± 1.47	2.98 ± 1.15
BD+09 4750	M1III	2.86 ± 0.07	0.85 ± 0.09	2.70 ± 0.14	0.59 ± 0.07	16.90 ± 1.32	2.95 ± 1.09
BD+59 274	M2	3.71 ± 0.18	1.02 ± 0.22	2.96 ± 0.27	0.65 ± 0.09	23.95 ± 1.91	3.25 ± 1.73
BD-01 3097	M2III	3.63 ± 0.12	0.97 ± 0.15	3.71 ± 0.22	0.20 ± 0.08	20.03 ± 1.88	2.36 ± 1.63
BD+39 4208	M3Iab	5.34 ± 0.31	1.38 ± 0.40	3.95 ± 0.38	0.58 ± 0.15	24.30 ± 2.84	2.48 ± 2.16



**Tabela 4. Medidas de EW da amostra de WRS-09 para o  $\text{NaI } \lambda 2.2070 \mu\text{m}$ ,  $\text{FeI } \lambda 2.2387 \mu\text{m}$ ,  $\text{CaI } \lambda 2.2636 \mu\text{m}$ ,  $\text{MgI } \lambda 2.2814 \mu\text{m}$ ,  $^{12}\text{CO} \lambda 2.2935 \mu\text{m}$  e  $^{13}\text{CO} \lambda 2.3448 \mu\text{m}$ .**

Estrela	Clas. Esp.	$\text{EW}_{\text{NaI}}$	$\text{EW}_{\text{FeI}}$	$\text{EW}_{\text{CaI}}$	$\text{EW}_{\text{MgI}}$	$\text{EW}_{\text{CO } 2.29}$	$\text{EW}_{\text{CO } 2.34}$
HD20038	F7IIIw	0.64 ± 0.05	0.27 ± 0.02	1.14 ± 0.05	0.33 ± 0.02	5.43 ± 0.12	0.35 ± 0.12
HD36079	G5II	0.89 ± 0.04	0.38 ± 0.04	0.85 ± 0.07	0.29 ± 0.02	3.10 ± 0.19	0.04 ± 0.12
HD6461	G3V	0.44 ± 0.03	0.34 ± 0.03	0.50 ± 0.14	0.24 ± 0.01	3.56 ± 0.17	0.23 ± 0.15
HD26965	K1V(a)	1.45 ± 0.05	0.24 ± 0.05	1.87 ± 0.06	0.95 ± 0.02	2.94 ± 0.20	0.04 ± 0.14
HD209750	G2Ib	-	-	1.62 ± 0.18	0.45 ± 0.03	2.83 ± 0.31	-
HD64606	G8V	1.01 ± 0.02	0.11 ± 0.03	1.01 ± 0.08	0.63 ± 0.04	1.71 ± 0.28	-
HD38392	K2V	2.03 ± 0.03	0.65 ± 0.03	2.45 ± 0.05	1.05 ± 0.02	4.09 ± 0.27	-
HD224533	G9III	1.38 ± 0.05	0.52 ± 0.09	1.36 ± 0.09	0.56 ± 0.03	5.48 ± 0.37	-
HD191408	K3V	-	-	1.93 ± 0.06	0.98 ± 0.01	2.94 ± 0.19	-
HD35369	G8III	0.90 ± 0.05	0.36 ± 0.04	0.96 ± 0.08	0.44 ± 0.03	6.68 ± 0.34	0.43 ± 0.29
HD213789	G6III	-	-	1.33 ± 0.07	0.51 ± 0.03	6.58 ± 0.34	0.17 ± 0.27
HD107467	G8 III	1.09 ± 0.08	0.30 ± 0.11	1.77 ± 0.10	0.59 ± 0.03	7.96 ± 0.35	0.84 ± 0.26
HD213009	G7III	-	-	1.60 ± 0.09	0.55 ± 0.04	8.96 ± 0.46	0.21 ± 0.32
HD1737	G5III	1.83 ± 0.08	0.54 ± 0.09	1.83 ± 0.11	0.62 ± 0.05	7.99 ± 0.45	0.22 ± 0.34
HD212320	G6III	1.34 ± 0.08	0.33 ± 0.08	1.24 ± 0.07	0.50 ± 0.03	6.83 ± 0.35	0.28 ± 0.30
HD210885	G8II	1.35 ± 0.28	0.22 ± 0.19	0.95 ± 0.19	0.51 ± 0.06	6.05 ± 0.47	-
HD206067	K0III	1.39 ± 0.06	0.56 ± 0.06	1.76 ± 0.09	0.70 ± 0.03	8.64 ± 0.46	0.97 ± 0.39
HD105028	K0III	0.73 ± 0.13	0.12 ± 0.12	-	0.25 ± 0.06	6.51 ± 0.45	0.30 ± 0.30
BD+44337	K5Ib	3.86 ± 0.21	1.06 ± 0.22	2.96 ± 0.23	0.84 ± 0.07	15.75 ± 0.87	1.71 ± 0.79
HD10598	K2III	1.80 ± 0.11	0.73 ± 0.11	2.28 ± 0.17	0.65 ± 0.04	14.27 ± 0.64	1.85 ± 0.63
HD109655	K5III	2.75 ± 0.11	0.85 ± 0.09	2.48 ± 0.10	0.63 ± 0.04	17.04 ± 0.88	3.26 ± 0.79
HD3989	K5II	2.57 ± 0.38	0.51 ± 0.22	1.84 ± 0.20	0.50 ± 0.09	14.25 ± 0.80	1.98 ± 0.70
HD30354	M2III	4.31 ± 0.14	1.04 ± 0.21	3.74 ± 0.18	0.59 ± 0.07	18.96 ± 1.22	2.06 ± 1.05
HD236791	M3III	3.89 ± 0.16	1.04 ± 0.17	3.52 ± 0.15	0.46 ± 0.06	17.95 ± 1.10	2.57 ± 0.93
HD27796	M3III	3.10 ± 0.08	1.03 ± 0.09	3.54 ± 0.14	0.51 ± 0.04	17.08 ± 0.93	2.30 ± 0.84
HD235774	M5III	3.53 ± 0.24	0.75 ± 0.19	3.04 ± 0.15	0.48 ± 0.07	17.45 ± 1.02	2.13 ± 0.93
HD173764	G4IIa	1.24 ± 0.09	0.60 ± 0.10	1.63 ± 0.10	0.38 ± 0.04	9.72 ± 0.52	0.37 ± 0.38
HD4188	K0III	1.28 ± 0.09	0.70 ± 0.05	1.20 ± 0.09	0.54 ± 0.04	8.44 ± 0.47	0.35 ± 0.32
HD34642	K0IV	1.24 ± 0.05	0.50 ± 0.04	2.08 ± 0.06	0.63 ± 0.03	8.60 ± 0.38	0.07 ± 0.31
HD113538	K8V	-	0.93 ± 0.44	5.63 ± 0.05	-	8.16 ± 0.42	-
HD39425	K2III	2.11 ± 0.12	0.79 ± 0.12	1.91 ± 0.13	0.79 ± 0.05	11.21 ± 0.61	1.01 ± 0.53
HD218594	K1III	1.36 ± 0.09	0.61 ± 0.09	1.85 ± 0.08	0.48 ± 0.04	11.48 ± 0.57	1.00 ± 0.47
HD198700	K1II	-	-	1.69 ± 0.11	0.52 ± 0.06	12.97 ± 0.76	0.90 ± 0.58
HD4730	K3III	2.73 ± 0.13	0.80 ± 0.12	2.14 ± 0.10	0.68 ± 0.05	13.51 ± 0.73	1.18 ± 0.64
HD720	K5III	1.96 ± 0.11	0.82 ± 0.08	1.99 ± 0.09	0.52 ± 0.05	14.03 ± 0.75	1.67 ± 0.66
HD9138	K4III	2.15 ± 0.08	0.58 ± 0.05	1.91 ± 0.10	0.51 ± 0.03	16.05 ± 0.76	2.27 ± 0.73
HD32440	K6III	2.52 ± 0.06	0.78 ± 0.09	1.78 ± 0.11	0.53 ± 0.04	13.85 ± 0.82	1.92 ± 0.71
HD63425B	K7III	2.45 ± 0.07	0.59 ± 0.07	2.81 ± 0.07	0.54 ± 0.03	18.10 ± 1.05	3.10 ± 0.98
HD112300	M3III	-	-	3.05 ± 0.14	0.56 ± 0.05	16.57 ± 1.16	2.79 ± 0.95
HD2490	Mo III	3.34 ± 0.14	0.90 ± 0.12	2.80 ± 0.13	0.61 ± 0.06	17.51 ± 1.07	2.18 ± 0.92

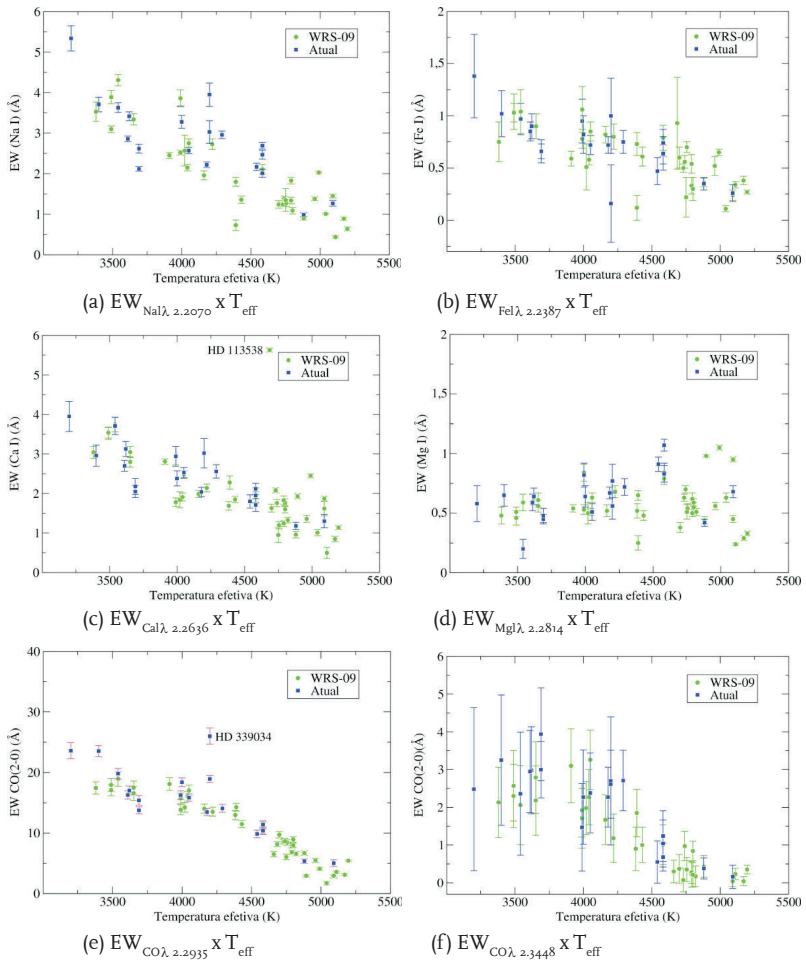


Figura 2. Gráficos de EWs x  $T_{eff}$ .

#### 4. Discussão dos resultados

A Figura 2e mostra que as estrelas da presente amostra apresentam um comportamento muito semelhante ao observado por WRS-09: estrelas mais quentes apresentam  $EW_{CO_{2.29}}$  menores do que estrelas mais frias. Observa-se também que a presente amostra aumenta o número de pontos na região com  $EW > 12$  e  $T_{eff} < 4500$  K, tornando assim a amostra mais completa do que a amostra original. Vale ainda ressaltar que os

valores absolutos de  $EW_{\text{CO}\lambda\ 2.2935}$  obtidos no presente trabalho são em geral menores do que aqueles obtidos por WRS-09. Isso se deve ao fato de utilizarmos limites de integração e regiões de contínuo diferentes dos utilizados por WRS-09. Utilizando os mesmos limites de integração e pontos de contínuo, obtemos valores semelhantes aos de WRS-09 para a EW.

As Figuras 2a, b, c e f mostram que o  $\text{NaI}\lambda\ 2.2070\mu\text{m}$ ,  $\text{FeI}\lambda\ 2.2387\mu\text{m}$ ,  $\text{CaI}\lambda\ 2.2636\mu\text{m}$  e  $^{13}\text{CO}\lambda\ 2.3448\mu\text{m}$  apresentam um comportamento semelhante ao descrito acima. Na Figura 2c, a estrela HD 113538 apresenta  $EW_{\text{CaI}\lambda\ 2.2636}$  maior do que o esperado pela tendência das demais estrelas. Sugerimos que isso se deve ao fato de a linha do  $\text{NaI}\lambda\ 2.2070\mu\text{m}$  estar contaminada por uma linha do  $\text{FeI}$  ( $\lambda = 2.2626\mu\text{m}$ ) no espectro dessa estrela. Na Figura 2d,  $\text{MgI}\lambda\ 2.2814\mu\text{m}$ , não se observa a mesma relação entre  $T_{\text{eff}}$  e EW. A  $EW_{\text{MgI}\lambda\ 2.281}$  não varia muito com  $T_{\text{eff}}$  tendo um valor médio de  $\sim 0.6\text{ \AA}$ . Esse resultado está de acordo com trabalhos disponíveis na literatura (e.g. Schreiber 2000).

## 5. Conclusão

Neste trabalho, utilizamos dados espectroscópicos de estrelas de tipo tardio, obtidos com o instrumento NIFS do Telescópio Gemini Norte, disponíveis na base de dados do Observatório, a fim de ampliar a biblioteca de espectros estelares de WRS-09. Os principais resultados são os seguintes:

1. a biblioteca original de estrelas de tipo tardio obtidas no infravermelho próximo com o telescópio Gemini foi ampliada em 50%, passando de 40 para 60 espectros estelares; o número de espectros de estrelas do tipo M foi duplicado (de 6 para 13 estrelas), sanando uma deficiência na biblioteca original; a partir de gráficos de EWs para as linhas do  $\text{NaI}\lambda\ 2.2070\mu\text{m}$ ,  $\text{FeI}\lambda\ 2.2387\mu\text{m}$ ,  $\text{CaI}\lambda\ 2.2636\mu\text{m}$ ,  $^{12}\text{CO}\lambda\ 2.2935\mu\text{m}$  e  $^{13}\text{CO}\lambda\ 2.3448\mu\text{m}$  versus temperatura efetiva, verificamos que estrelas mais quentes possuem EWs menores para estas linhas. Já para o  $\text{MgI}\lambda\ 2.2814\mu\text{m}$ , não se observa a mesma tendência: todas as estrelas possuem  $EW_{\text{MgI}\lambda\ 2.2814}$  parecidas. Esses resultados estão de acordo com os resultados obtidos para outras bibliotecas de espectros com menores resoluções espectrais.

Assim, a presente biblioteca de espectros de estrelas de tipo tardio possibilitará medidas mais robustas da cinemática estelar em galáxias.

## Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Fundo de Incentivo a Pesquisa - UFSM (FIPE) - e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Foi baseado em observações obtidas no Observatório Gemini, que é operado pela Associação de Universidades para Pesquisa em Astronomia (AURA), sob um acordo de cooperação com a NSF, em nome do Consórcio Gemini: *National Science Foundation* (Estados Unidos), *Science and Technology Facilities Council* (Reino Unido), *National Research Council* (Canadá), *CONICYT* (Chile), *Australian Research Council* (Austrália), Ministério da Ciência e Tecnologia (Brasil) e *Tecnología e Innovación Productiva* (Argentina).

## Referências

- COX, A., **Allen's Astrophysical Quantities**, Ed. 4, 2001, New York. ALLEN'S ASTROPHYSICAL QUANTITIES, 4TH EDITION, COX, A., (EDITOR), SPRINGER-VERLAG, new york, 2001.
- BARBOSA, F. K. B., STORCHI-BERGMANN, T., CID FERNANDES, R., WINGE, C., SCHMITT, H., 2006, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 371, p. 170.
- CAPPELLARI, M. ET AL. 2007, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 379, p. 418.
- CAPPELLARI, M., NEUMAYER, N., REUNANEN, J., VAN DER WERF, P. P., DE ZEEUW, P. T., RIX, H.-W., 2009, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 394, p. 660.
- CAYREL DE STROBEL, G., SOUBIRAM, C., FRIEL, E. D., RALITE, N., FRANCOIS, P., 1997, **Astronomy and Astrophysics Supplement**,

v. 124, p. 299.

DUMAS, G., MUNDELL, C. G., EMSELLEM, E., NAGAR, N. M.,  
2007, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 379, p.  
1249.

EMSELLEM, E., GREUSARD, D., COMBES, F., FRIEDLI, D., LEON,  
S., PECONTAL, E., WOZNIAK, H., 2001, *Astronomy and  
Astrophysics*, v. 368, p. 52.

EMSELLEM, E., CAPPELLARI, M., PELETIER, R. F., MCDERMID, R.  
M., BACON, R., BUREAU, M., COPIN, Y., DAVIES, R. L.,  
KRAJNOVIÆ, D., KUNTSCHNER, H., MILLER, B. W., & DE  
ZEEUW, P. T. 2004, *Monthly Notices of the Royal Astronomical  
Society*, v. 352, p. 721.

SCHREIBER, F., N., M., S., 2000, *Astronomical Journal*, v.120, p.  
2089.

GANDA, K., FALCON-BARROSO, J., PELETIER, R. F.,  
CAPPELLARI, M., EMSELLEM, E., MCDERMID, R. M., DE ZEEUW,  
P. T., CAROLLO, C. M., 2006, *Monthly Notices of the Royal  
Astronomical Society*, v. 367, p. 46.

MCGREGOR, P. J., HART, J., CONROY, P. G., PFITZNER,  
M. L., BLOXHAM, G. J., JONES, D. J., DOWNING, M. D., DAWSON,  
M., YOUNG, P., JARNYK, M., & VAN HARMELEN, J. *Proceedings of  
S Pie*, 2003, v. 4841, p. 1581.

MÁRQUEZ, I., MASEGOSA, J., DURRET, F., GONZALEZ DELGA-  
DO, R. M., MOLES, M., MAZA, J., P'EREZ, E., ROTH, M., 2003,  
*Astronomy and Astrophysics*, v. 409, p. 459.

MOU TOU C., MAYOR M., LO CURTO G., SEGRANSAN D., UDRY  
S., BOUCHY F., BENZ W., LOVIS C., NAEF D., PEPE F., QUELOZ  
D., SANTOS N.C., SOUSA S., 2011, *Astronomy and Astrophysics*, v.  
567, p. 63.

RIFFEL, R. A., STORCHI-BERGMANN, T., WINGE, C.,  
MCGREGOR, P. J., BECK, T., SCHMITT, H., 2008, *Monthly Notices  
of the Royal Astronomical Society*, v. 385, p. 1129.

RIFFEL, R. A., STORCHI-BERGMANN, T., DORS, O. L., WINGE, C., 2009, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 393, p. 783.

RIFFEL, R. A., STORCHI-BERGMANN, T., 2011, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 411, p. 469.

SILGE, J., & GEBHARDT, K., 2003, **Astronomical Journal**, v. 125, p. 2809.

VOLLMANN, K. & EVERSBERG, T., 2006, **Astronomical Notes**, v. 327, p. 862.

WINGE, C., RIFFEL, R. A., STORCHI-BERGMANN, 2009, **Astrophysical Journal Supplement Series**, v.183, p. 186.

Submetido em: 04/05/2011

Aceito em: 13/07/2011