

Gradientes radiais de idade e metallicidade segundo a síntese de populações: IC5328

Deise A. Rosa

Supervisor: André de C. Milone

INPE – 2017

Introdução

- Processo de formação e evolução.

Galáxias Elípticas



pouco gás e poeira

estrelas de idades avançadas

metallicidade solar/sobressolar

matéria escura

M89



Fonte:<http://geology.com> M89 (NGC 4552). Galáxia elíptica do tipo E0, a 60 milhões de anos-luz da Terra, na constelação de Virgem. Magnitude. Crédito: NOAO/AURA/NSF/nasa/galaxy-collisions

Introdução

- Galáxias em pares, trios, que são comuns no Universo Local (Frenk et. al. 1988, Carlberg & Couchman 1989 e Giuricin et al. 2000).

M51



NGC6769-71



Aglomerado de Virgem



<http://www.astronoo.com/pt/aglomerado-de-galaxias.html>

Galáxias elípticas e lenticulares



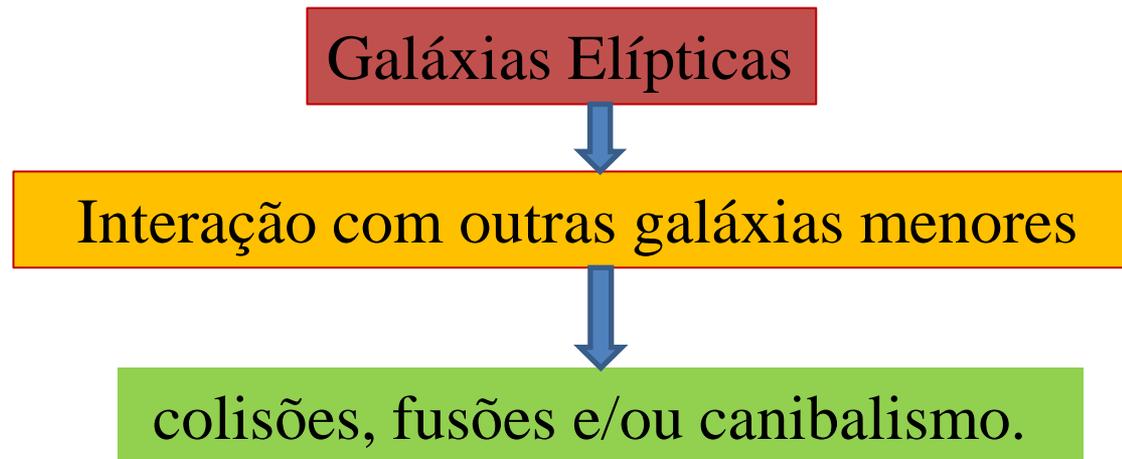
Galáxias “early-type”,

Galáxias espirais e irregulares



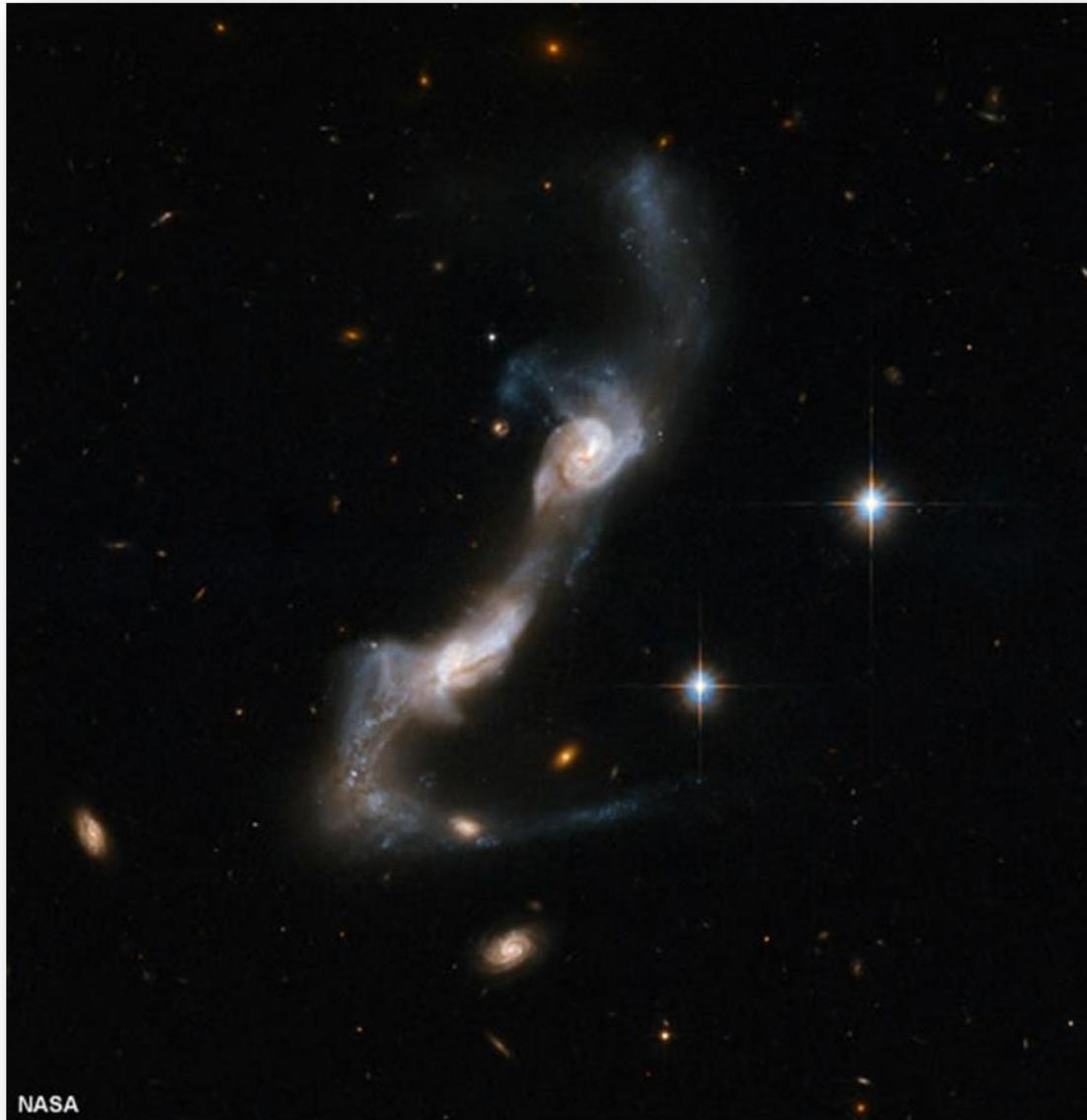
Galáxias “late-type”.

- As galáxias “early-type” (ou seus núcleos) -> mistura de populações estelares (ex. Worthey et al. 1992).
- As propriedades das galáxias dependem fortemente do meio em que se encontram.

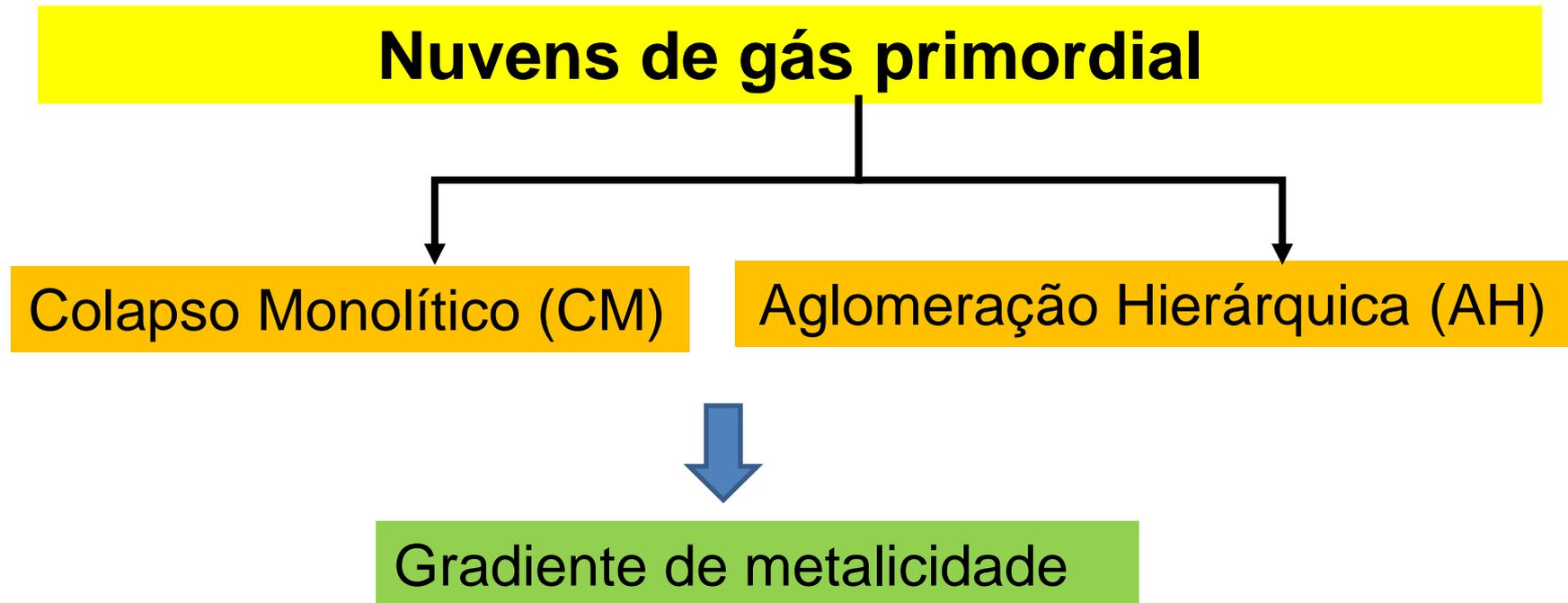


- Função de massa das galáxias -> a morfologia de seus constituintes

- interações também desencadeiam um amplo conjunto de fenômenos físicos e morfológicos.



- Davies et al. (2001) -> cinemática do gás e estrelas como acerca das propriedades de populações estelares na galáxia “early-type” NGC4365.
- Gradientes de metalicidade de galáxias “early-type” -> formação do sistema -> históricos de fusões.



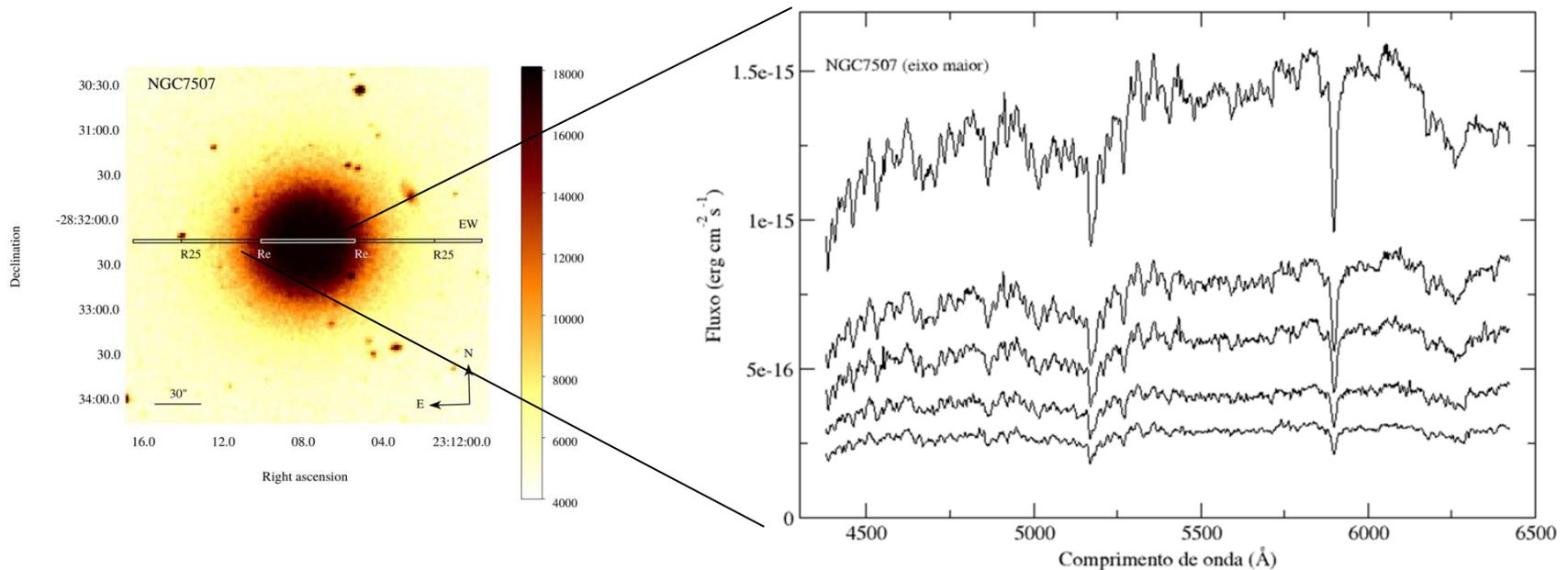
Atividades do 1º ano

- Mapear espacialmente as propriedades de populações estelares de oito galáxias “early-type” luminosas próximas de ambientes distintos: campo, pares, grupos ($M_B < M_B^*$, $cz < 6000 \text{ km/s}$, catalogo Guiricin et al. 2000)
- Análise da cinemática estelar interna: curvas de rotação & perfis radiais de dispersão de velocidades -> parâmetro de anisotropia e desalinhamento cinemáticos projetado --> estado dinâmico do sistema.
- Síntese de populações estelares usando código bem estabelecido como o STARLIGHT – idade, metalicidade e razões de abundâncias $[\alpha/\text{Fe}]$ -> (valores médios) -> quantificar os gradientes radiais.

Amostra Observacional

IC5328, NGC1052, NGC1209, NGC5812, NGC6758, NGC6861, NGC7507 e NGC7796

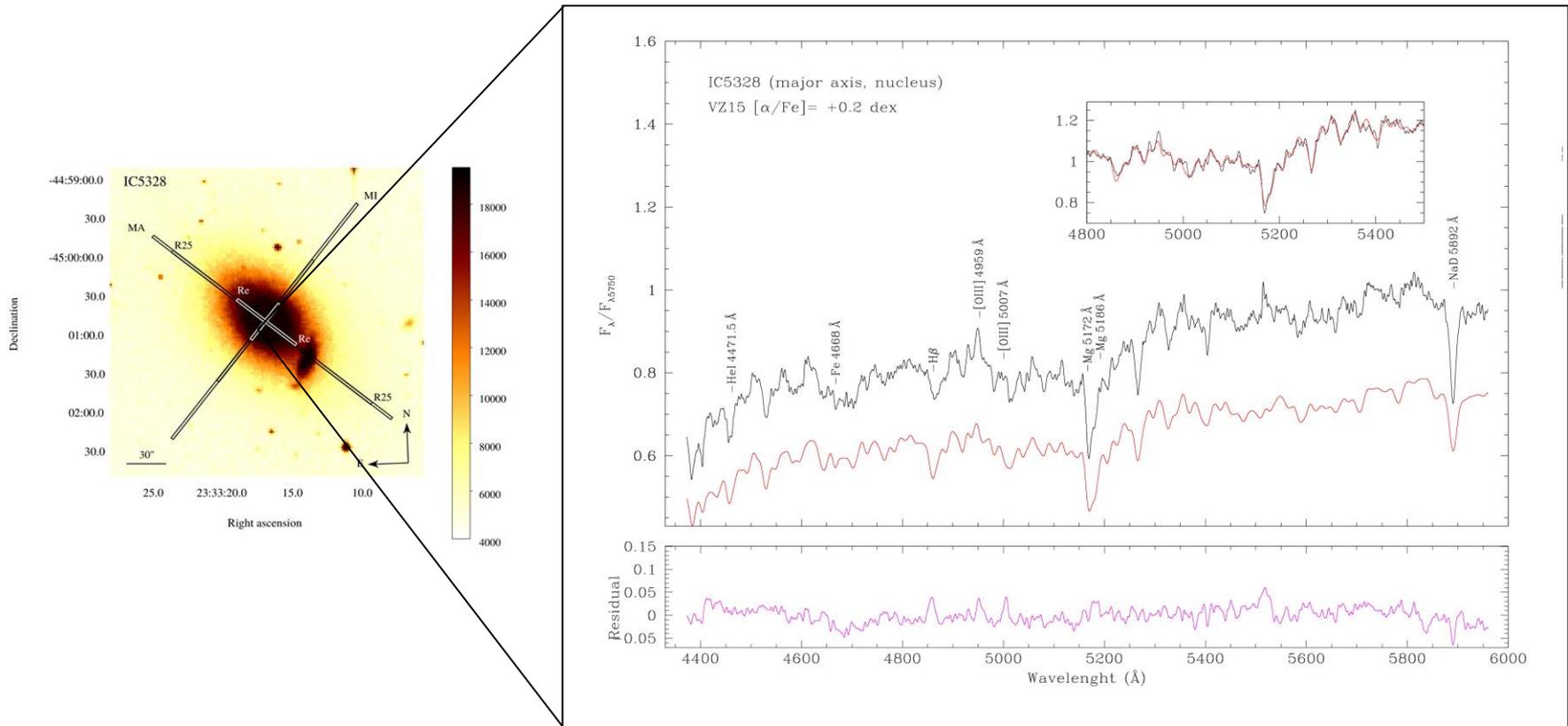
- outubro 1998/agosto de 1999 -> espectrógrafo Boller & Chivens no foco Cassegrain de 1,60 m do Observatório do Pico dos Dias (OPD/LNA).



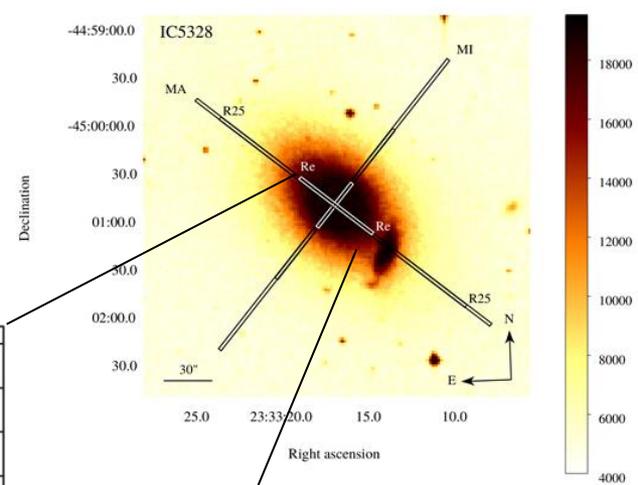
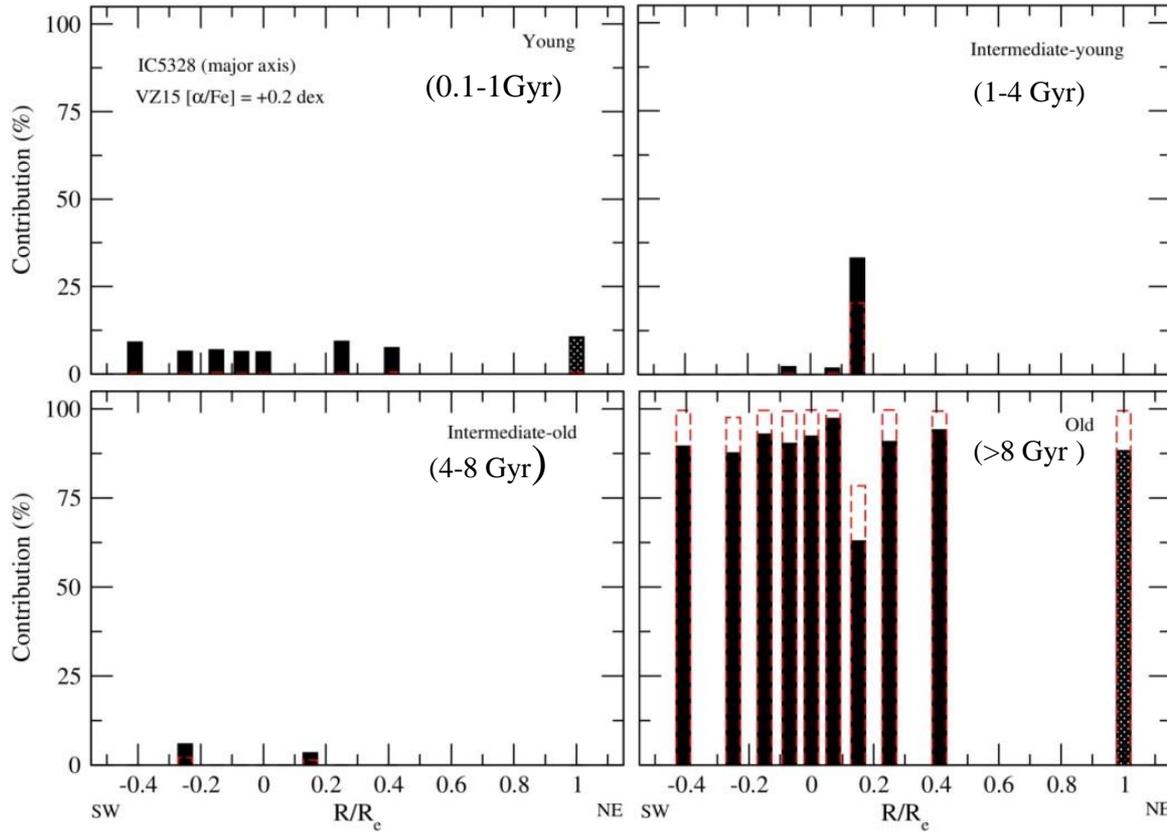
- $\lambda\lambda 4300-6400 \text{ \AA}$, fenda de $230'' \times 2.08''$ com $1''/\text{pix}$, $R=1800$ (FWHM = 2.84 \AA em $\lambda 5100 \text{ \AA}$, $\sigma_{\text{inst}} = 71 \text{ km/s}$).
- Redução dos dados - IRAF - procedimento padrão.

Síntese de População Estelar

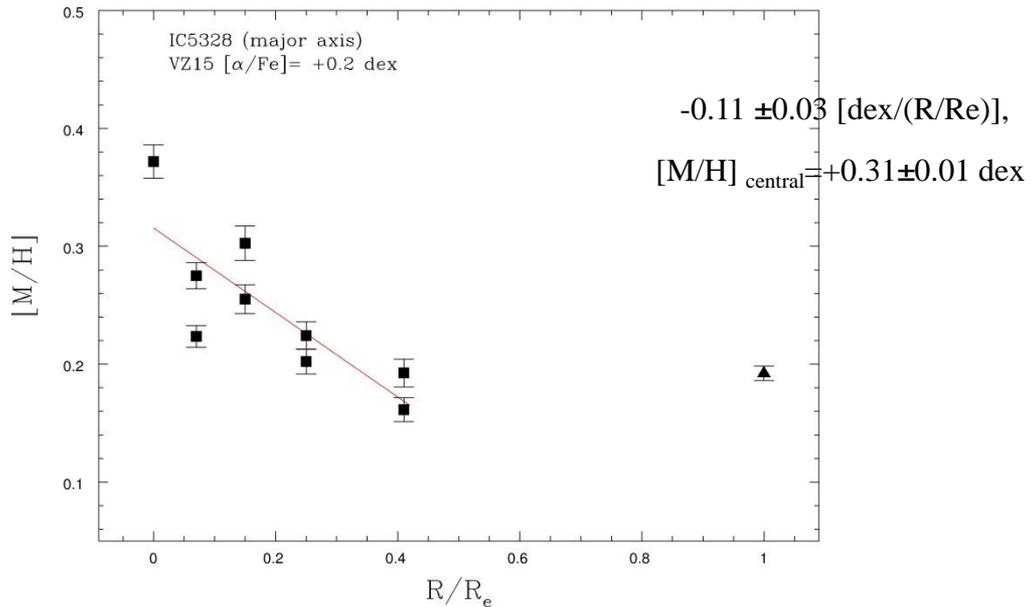
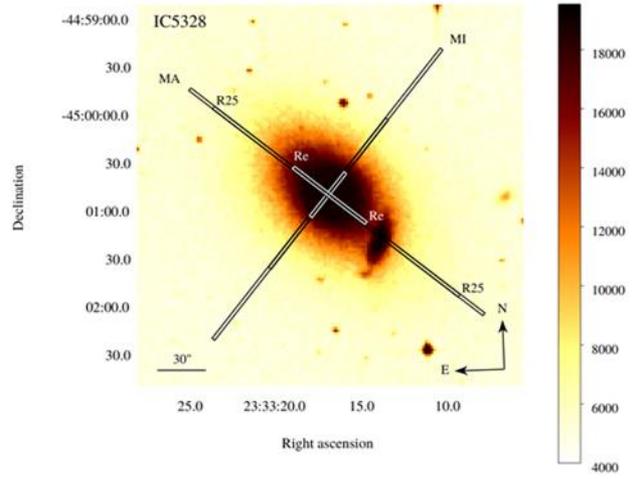
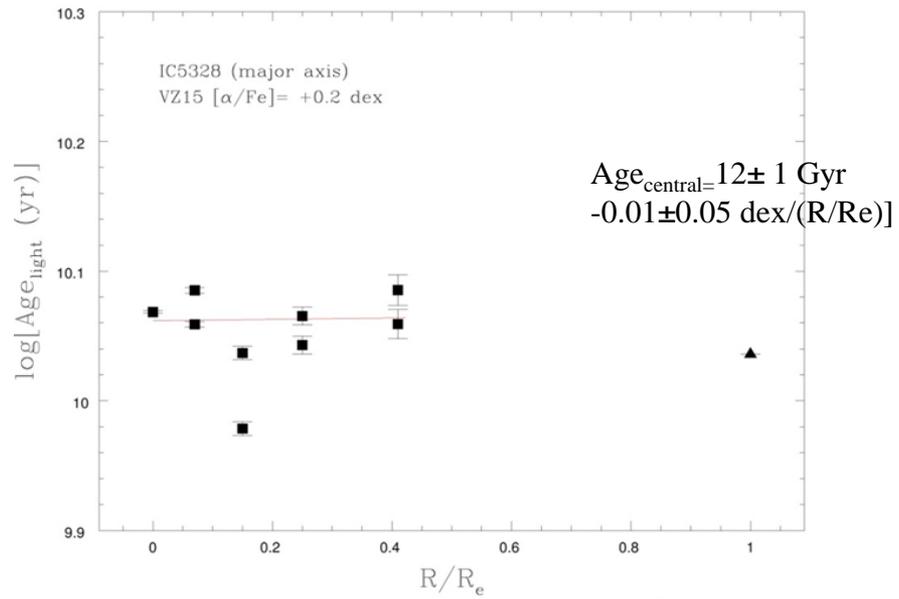
- Código STARLIGHT (Cid Fernandes et al. 2004; 2005) & base de modelos de SSPs de Vazdekis et al. (2015) com $[\alpha/\text{Fe}] = 0.0$ e $+0.4$ dex.



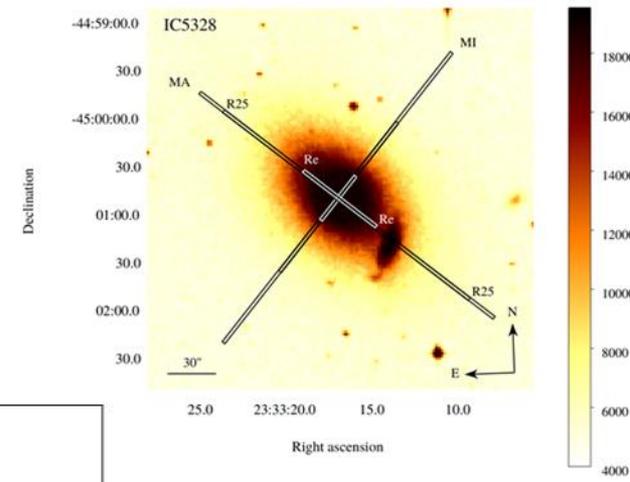
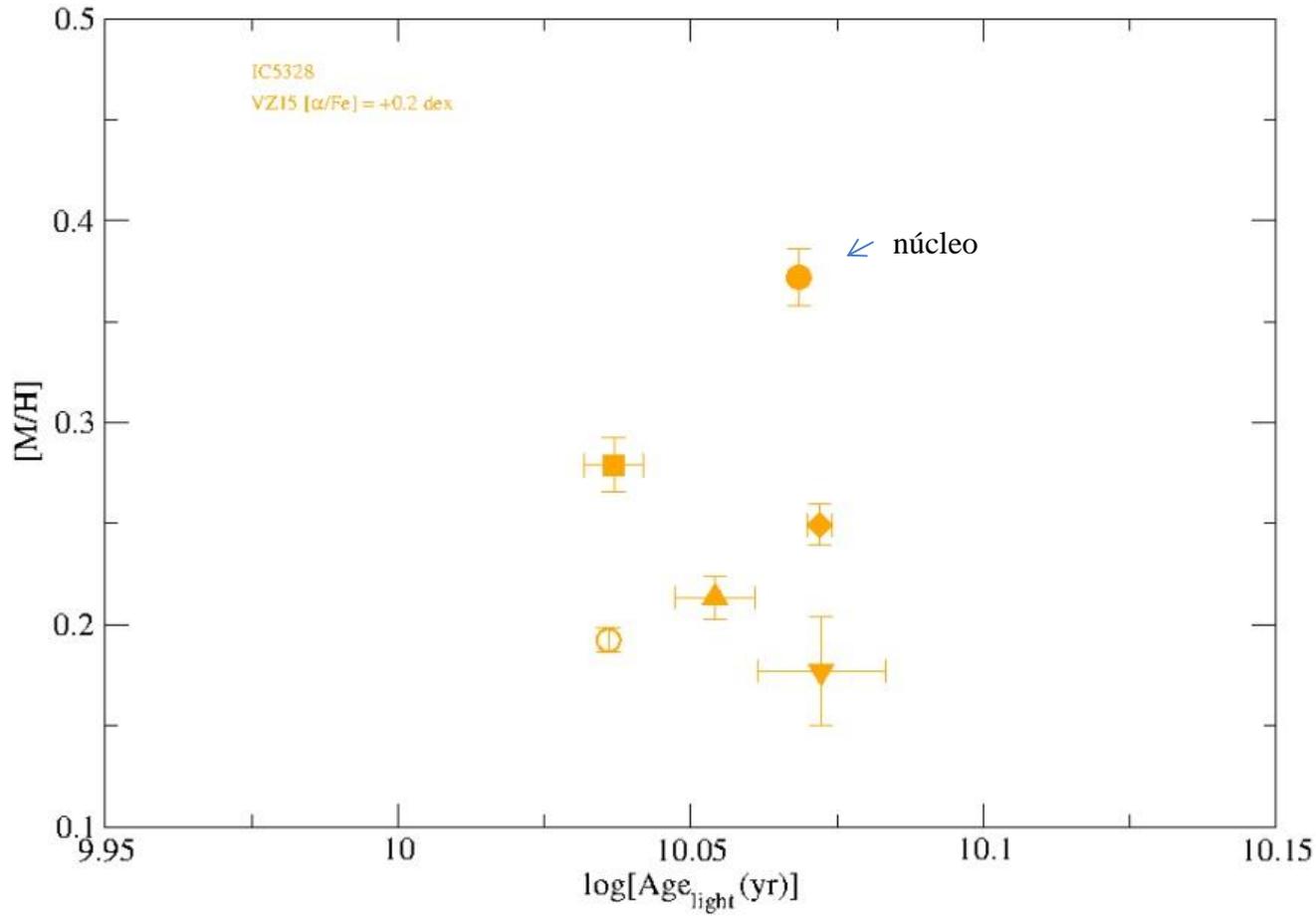
- Vazdeski et al. (2015): valores médios e distribuições em idade, $[\text{M}/\text{H}]$ (ou $[\text{Z}]$), $[\text{Fe}/\text{H}]$ e $[\alpha/\text{Fe}]$.



IC5328: gradiente nulo em idade & gradiente negativo acentuado em metalicidade global (gradiente negativo em [Fe/H] mas $[\alpha/Fe]$ uniforme = +0.2 dex!).



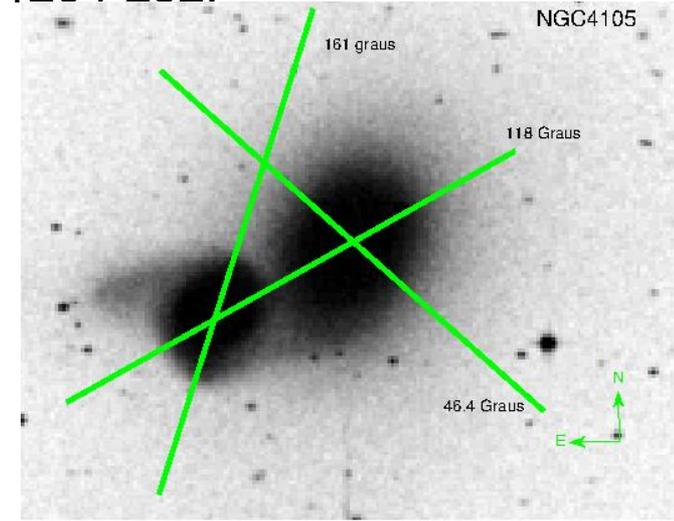
➤ Enriquecimiento químico: $[M/H]$ vs. Age



Atividades do 2º ano

Além dos resultados apresentados neste trabalho (submetido MNRAS: ID: MN-17-1089-MJ), como trabalhos futuros, ainda poderemos:

- Per fazer a síntese de populações pras demais galáxias da amostra de 26 galáxias “early-type”: NGC128, NGC0596, NGC1387, NGC1404, NGC1574, NGC1700, NGC2974, NGC3904, NGC4435, NGC4546, NGC4638, NGC 5018, NGC5061, NGC5576, NGC5796, NGC5854, NGC 5898, NGC6798, NGC6851, NGC6868, NGC7029, NGC7041, NGC7049, NGC7144, NGC7196 e NGC7585.
- Realizada a observação de espectroscopia de fenda longa com o SOAR +Goodman de um par E+SB0 em interação: AM1204-292.
- Redução dos dados
- Aplicar a síntese de populações as galáxias do par AM1204-292.



Agradecimentos

- Deise A. Rosa agradece ao CNPq pela bolsa PCI/MCTIC/INPE (300082/2016-9) concedida.

Abundâncias relativas: elementos alfa

O ferro é produzido essencialmente nas supernovas de tipo Ia, formadas por estrelas menos massivas, com tempos de evolução mais longos, $t = 3 \times 10^7$ a 10^{10} anos. Em contraposição, elementos como o oxigênio são produzidos principalmente por supernovas de tipo II, que são formadas por estrelas massivas, com tempos de evolução relativamente curtos $t = 10^6$ a 10^7 anos. O oxigênio e outros elementos são chamados elementos α , por serem produzidos pela captura de núcleos de He, ou partículas α .

A diferença na formação de oxigênio e ferro implica um atraso na produção do Fe, de modo que a razão $[\alpha/\text{Fe}]$ deve ser maior nas épocas iniciais da Galáxia, quando a metalicidade medida pelo índice $[\text{Fe}/\text{H}]$ era menor, podendo então ser usada como um relógio cósmico. A relação entre a abundância dos elementos α e o oxigênio fornece um vínculo importante para os modelos de evolução química.

A razão α/Fe é um indicador da escala temporal da formação estelar. Quanto mais alta, mais curta terá sido a formação estelar e vice-versa.

Isso é devido ao fato de que os elementos- α e elementos do pico do Fe têm origens nucleossintéticas diferentes e em distintas escalas de tempo.

Elementos α são principalmente produzidos por SN II e elementos do pico do Fe principalmente por SN Ia. Supernovas tipo II são fins explosivos de estrelas massivas, que têm vidas muito curtas (dezenas a centenas de milhões de anos apenas).

Supernovas tipo Ia são explosões de anãs brancas em sistemas binários cerrados, cujas escalas evolutivas são mais longas.

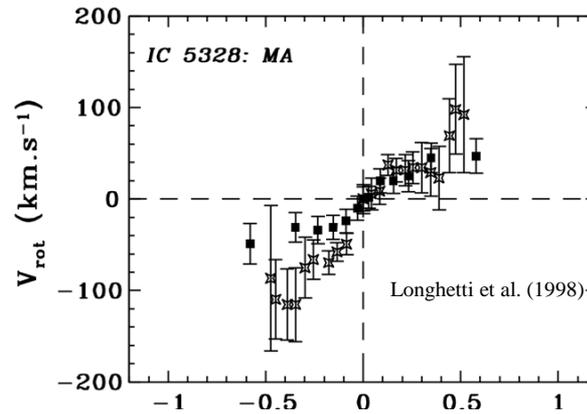
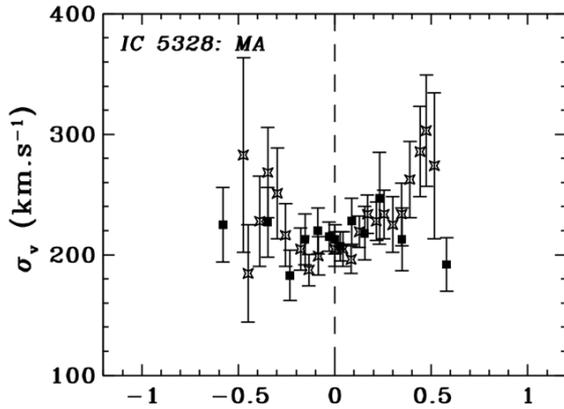
Daí, se a formação estelar continua por muito tempo, há chance destas SN Ia ocorrerem no sistema enriquecendo o meio com elementos do Fe de tal maneira a diminuir a razão α/Fe nas estrelas que continuam sendo formadas.

Lembre-se do gráfico $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ vs $[\text{Fe}/\text{H}]$ pra vizinhança solar onde há uma mistura de populações do halo, disco espesso e disco fino, que foram formados em diferentes escalas de tempo.

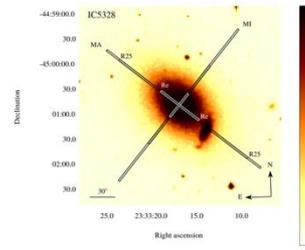
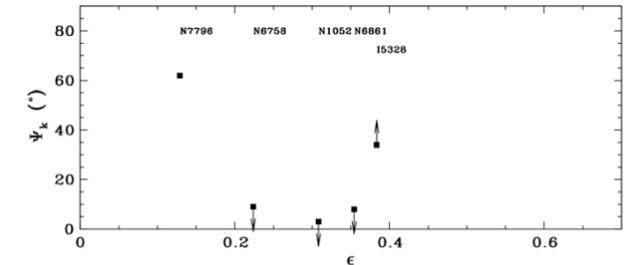
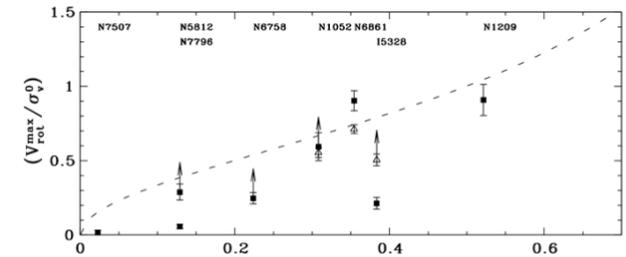
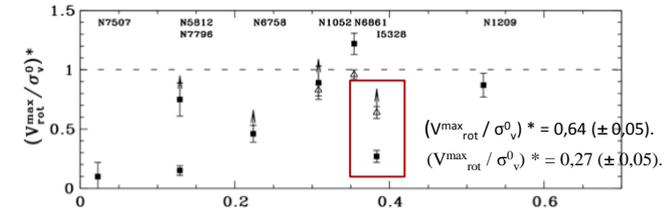
Livro do Mo et al. (MO, H.; van den Bosch, F. C.; S. WHITE. Galaxy formation and evolution)

Cinemática Estelar e Dinâmica do Sistema

- Correlação espectral cruzada (Tonry & Davies, 1979) usando o *RVSAO/IRAF* (Kurtz & Mink 1998), seguindo a metodologia adotada por Milone et al. (2007).



Radius (Re)



- Anisotropia normalizada:

$$(V_{rot}^{max}/\sigma_v^0)^* = (V_{rot}^{max}/\sigma_v^0)_{galaxy} / (V_{rot}^{max}/\sigma_v^0)_{oblatorotator}$$

onde

$$(V_{rot}^{max}/\sigma_v^0)_{oblatorotator} = \sqrt{\frac{\epsilon}{1-\epsilon}}$$

- Desalinhamento cinemático projetado:

$$\Psi_k = (\arctan(V_{rot,MI}^{max}/V_{rot,MA}^{max}))$$

Discussão

- Síntese de população estelar:
 - **IC5328**
 - sugeriram populações estelares com distribuições uniformes em idades avançadas (90% acima de 8 Gyr em fluxo) e uma pequena contribuição de estrelas jovens com 0.1-1.0 Gyr (fração de fluxo menor que 2 - 10 %).
 - Metalicidade global sobresolar
 - Sobreabundância de elementos α .

IC5328 (MA)	Age (Gyr)		[M/H]		[Fe/H]		[α /Fe]	
	Núcleo	Re	Núcleo	Re	Núcleo	Re	Núcleo	Re
SSPs	12 \pm 1	11 \pm 1	+0.37 \pm 0.01	+0.19 \pm 0.01	+0.22 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	+0.20 \pm 0.05	+0.20 \pm 0.05

Table 1. Galaxies sample

ID	Morphology	ENV	redshift	cz_{helio} (km/s)	m_B (mag)	M_B (mag)	$E(B-V)_G$ (mag)	PA ($^\circ$)	R_e (arcsec)	R_{25} (arcsec)	ϵ	μ_e (mag/arcmin $^{-2}$)	$(B-V)_e$ (mag)
IC5328	E4[1]	Pair[11]	0.0105[2]	3137[2]	12.27[3]	-21.00[10]	0.015[4]	40	22.2	75.4	0.3834	12.18	0.97
NGC1052	E4[1]	Group[11]	0.0050[5]	1510[5]	11.45[3]	-20.20[10]	0.026[4]	120	33.7	90.6	0.3082	12.15	1.00
NGC1209	E6?[1]	Pair[11]	0.0087[6]	2600[6]	12.35[3]	-20.65[10]	0.038[4]	85	18.5	72.0	0.5214	11.83	1.00
NGC5812	E0[1]	Group[11]	0.0066[7]	1970[7]	12.19[3]	-20.51[10]	0.087[4]	73[10]	25.5	64.1	0.1290	12.33	1.03
NGC6758	E+[1]	Group[11]	0.0114[8]	3404[8]	12.61[3]	-21.14[10]	0.065[4]	121	20.3	67.2	0.2238	12.29	1.05
NGC6861	SA0 $^{-s}$ [1]	Group[11]	0.0094[9]	2829[9]	12.08[3]	-21.14[10]	0.054[4]	140	17.7	84.6	0.3543	11.46	1.03
NGC7507	E0[1]	Field[11]	0.0052[1]	1566[1]	11.38[3]	-20.56[10]	0.048[4]	—	30.7	82.6	0.0228	11.90	1.00
NGC7796	cD[1]	Field[11]	0.0112[9]	3364[9]	12.44[3]	-20.93[10]	0.010[4]	168	21.2	65.6	0.1290	12.20	1.00

References: [1] de Vaucouleurs et al. (1991); [2] Longhetti et al. (1998) ; [3] Paturel et al. (2000); [4] Schlegel et al. (1998); [5] Denicoló et al. (2005); [6] Simien et al. (1997); [7] Rothberg & Joseph (2006); [8] Lauberts & Valentijn (1989); [9] Ogando et al. (2008); [10] Makarov et al. (2014); [11] Giuricin et al. (2000) .

Table 9. Stellar population (SSP) synthesis results along major axis of IC 5328 galaxy. For the whole sample of eight galaxies are available in the electronic version

R/R_e (arcsec)	Area (arcsec 2)	S/N	f_y (%)	f_{iy} (%)	f_{io} (%)	f_o (%)	m_y (%)	m_{iy} (%)	m_{io} (%)	m_o (%)	$\langle z \rangle$	χ^2	a_{dev}	A_V (mag)
IC 5328														
-0.41SW	23.81	29	9.1	0.0	0.0	89.5	0.4	0.0	0.0	99.6	0.0385	1.1	2.32	0.28
-0.25SW	14.73	48	6.5	0.0	5.9	87.6	0.3	0.0	2.1	97.6	0.0393	1.2	1.95	0.26
-0.15SW	8.74	73	6.9	0.0	0.0	92.9	0.4	0.0	0.0	99.6	0.0373	1.4	1.65	0.28
-0.07SW	4.16	79	6.4	2.2	0.0	90.3	0.3	0.3	0.0	99.4	0.0428	1.9	1.42	0.36
0.00	4.16	92	6.3	0.0	0.0	92.3	0.3	0.0	0.0	99.7	0.0463	2.3	1.34	0.49
0.07NE	4.16	76	0.0	1.8	0.0	97.3	0.0	0.4	0.0	99.6	0.0398	2.0	1.41	0.25
0.15NE	8.74	78	0.0	33.1	3.4	62.9	0.0	20.3	1.4	78.4	0.0415	1.5	1.69	0.08
0.25NE	14.73	66	9.3	0.0	0.0	90.8	0.3	0.0	0.0	99.7	0.0394	1.1	1.84	0.22
0.41NE	23.81	26	7.5	0.0	0.0	94.1	0.6	0.0	0.0	99.4	0.0398	1.1	2.20	0.18
1.00NE	117.73	189	10.6	0.0	0.0	88.3	0.5	0.0	0.0	99.5	0.0419	2.6	0.81	0.35

Espectro avermelhado da jesima SSP
normalizada em $\lambda_0 = 5870\text{\AA}$,

Distribuição gaussiana
usada para determinar
os movimentos estelares
na linha de visada,
centrada em uma
velocidade e usando
uma dispersão

$$M_\lambda = M_{\lambda_0} \left[\sum_j^{N_*} x_j b_{j,\lambda} r_\lambda \right] \otimes G(v_* \sigma_*)$$

Fluxo sintético
normalizado no λ

Vetor
população

Termo de extinção
ou
avermelhamento

Operador
convolução

