

Propriedades estelares de galáxias compactas massivas no Universo Local

K. Slodkowski Clerici¹, A. Schnorr-Müller¹, M. Trevisan¹ e T. V. Ricci²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul

²Universidade Federal da Fronteira Sul

Resumo

As galáxias compactas massivas (MCGs) são galáxias quiescentes caracterizadas, neste trabalho, com altos valores de dispersão de velocidades efetiva, massa estelar e pequenos valores de raio efetivo. Com o objetivo de investigar a formação e evolução das MCGs, nós determinamos as propriedades das populações estelares de 1858 MCGs derivadas do levantamento *Sloan Digital Sky Survey*. Comparamos os resultados com uma amostra de galáxias controle (CSGs) (galáxias quiescentes com tamanhos médios) pareada em *redshift* com as MCGs. Comparamos os resultados à dispersão de velocidades fixa e encontramos diferenças entre as propriedades das populações estelares, especialmente para a metalicidade estelar: MCGs apresentam menor metalicidade que CSGs à dispersão de velocidades fixa. Os resultados apresentados ainda não são suficientes para determinar o caminho evolutivo das MCGs, mas podem indicar diferenças associadas à função de massa inicial ou da fração de matéria escura dentro de 1 raio efetivo nas MCGs.

Abstract

Massive compact galaxies (MCGs) are quiescent galaxies characterized, in this work, with high values of effective velocity dispersion, stellar mass and small values of effective radius. With the aim of investigating the formation and evolution of MCGs, we determined the properties of the stellar populations of 1858 MCGs derived from the *Sloan Digital Sky Survey*. We compare the results with a sample of control galaxies (CSGs) (quiescent galaxies with medium sizes) matched in redshift to the MCGs. We compared the results to the fixed velocity dispersion and found differences between the properties of the stellar populations, especially for stellar metallicity: MCGs present lower metallicity than CSGs at the fixed velocity dispersion. The results presented are not yet sufficient to determine the evolutionary path of MCGs, but may indicate differences associated with the initial mass function or the fraction of dark matter within 1 effective radius in MCGs.

Palavras-chave: astrofísica, galáxia, matéria escura

Keywords: astrophysics, galaxy, dark matter

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44989](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44989)

1 Introdução

De acordo com a formação estelar, galáxias em $z \approx 0$ podem ser classificadas como galáxias de formação estelar ativa e galáxias quiescentes. Os dois grupos de galáxias, por exemplo, diferem na intensidade da formação estelar, galáxias quiescentes possuem pouco gás e formam poucas quantidades de estrelas quando comparadas com galáxias de formação estelar ativa. Ademais, galáxias quiescentes são caracterizadas por populações estelares velhas e mais metálicas [1]. Essa classificação também está presente em *redshifts* mais altos. A primeira galáxia quiescente observada foi em $z \approx 4$ e atualmente, com o telescópio espacial James Webb, galáxias quiescen-

tes estão sendo observadas em *redshifts* ainda mais distantes.

No entanto, galáxias com mesma massa estelar em diferentes *redshifts* apresentam propriedades diferentes. Por exemplo, galáxias em alto *redshifts* ($z \approx 2$) são extremamente compactas quando comparadas com galáxias em $z \approx 0$ [2]. Além disso, galáxias compactas também são raras em $z \approx 0$ [2], indicando uma mudança estrutural nas galáxias quiescentes ao longo do tempo.

Os processos de formação e evolução de galáxias quiescentes e mais especificamente de galáxias compactas ainda são investigados. Cenários propostos indicam que eventos restritos à *redshifts* mais altos

tornam as galáxias compactas e que processos como *dry minor mergers* são os principais responsáveis pelo crescimento das galáxias quiescentes ao longo do tempo [3, 4]. Também é importante considerar o efeito de *progenitor bias*: galáxias de formação estelar ativa crescem ao longo do tempo e podem evoluir para galáxias quiescentes contribuindo para as propriedades médias desse grupo de galáxias. Entretanto, investigar em detalhe grandes amostras de galáxias compactas em altos *redshifts* é desafiador com as instalações atuais devido ao tamanho e ao fraco contínuo estelar das galáxias. Uma alternativa é buscar por análogos locais.

Neste trabalho, apresentamos uma amostra de galáxias compactas selecionadas em $z \approx 0$, determinamos as propriedades das populações estelares e comparamos os resultados com galáxias quiescentes típicas com o objetivo de investigar os processos de formação e evolução de galáxias compactas.

2 Metodologia

Para a seleção da amostra usamos o levantamento *Sloan Digital Sky Survey Data Release 14* (SDSS - DR 14) [5]. A partir da massa estelar (M_*) e taxa de formação estelar específica (sSFR), selecionamos galáxias quiescentes com $\log(M_*/M_\odot) \geq 10$ e $\text{sSFR} \leq 10^{-11} \text{yr}^{-1}$. Para selecionar as galáxias compactas massivas, nós aplicamos um ajuste linear nos planos dispersão de velocidades efetiva (σ_e) - raio efetivo (R_e) e $\sigma_e - M_*$ das galáxias quiescentes do SDSS e definimos as MCGs como galáxias que estão simultaneamente a 2σ abaixo da relação $\sigma_e - R_e$ e a 2σ acima da relação $\sigma_e - M_*$. Para finalizar, nós também restringimos a amostra em *redshifts* ($z < 0.1$). A amostra final possui 1858 MCGs.

Para investigar as propriedades das populações estelares das MCGs e comparar com galáxias quiescentes típicas em $z \approx 0$, nós construímos uma amostra de controle (CSGs) selecionando galáxias quiescentes dentro de $\pm 1\sigma$ dos ajustes de $\sigma_e - R_e$ e 2σ e $\sigma_e - M_*$. Selecionamos 5574 CSGs com *redshifts* similar ao das MCGs.

Nós medimos as propriedades das populações estelares (idade, metalicidade e $[\alpha/\text{Fe}]$) em ambas as amostras. Para estimar a idade e metalicidade nós aplicamos o código *penalized pixel fitting* ppxf [6] com os modelos de V15 [7]. Usamos os modelos com idades variando entre 30 Myr e 13.5 Gyr, metalicida-

des entre $[\text{M}/\text{H}] = -1.3$ e $+0.4$ e $[\alpha/\text{Fe}] = \text{BaseFe}$ (modelos que assumem abundância solar para os elementos α). As galáxias foram ajustadas no regime de $3900 - 5800 \text{ \AA}$ para evitar a região que possui linhas de absorção muito sensíveis à função de massa inicial. Por fim, estimamos a idade e a metalicidade pesada pela massa estelar.

Nós usamos a metodologia de Schnorr-Müller et al. (2021) [8] para determinar $[\alpha/\text{Fe}]$, ou seja, medimos os índices Fe 4383, Fe 5270, Fe 5335 e Mgb, calculamos as metalicidades associadas as linhas de ferro e magnésio e determinamos $[\alpha/\text{Fe}]$ usando a equação proposta por Trevisan et al. (2017) [9]. Os resultados são apresentados na próxima seção.

3 Resultados

Nós comparamos as propriedades das populações estelares entre MCGs e CSGs à σ_e fixo. Isso porque, para as galáxias quiescentes a propriedade que melhor se correlaciona com as propriedades das populações estelares é a dispersão de velocidade. De forma geral, galáxias quiescentes com maiores valores de dispersão de velocidade são mais velhas, mais metálicas e possuem maiores valores de $[\alpha/\text{Fe}]$ [1]. Portanto, para comparar as propriedades das populações estelares, nós separamos MCGs e CSGs em 3 bins de σ_e : $< 200 \text{ km/s}$; $200 - 225 \text{ km/s}$; $> 225 \text{ km/s}$; como apresentado na Fig. 1. Nas linhas da Fig. são apresentados as propriedades das populações estelares (painéis superiores: idade; painéis do meio: metalicidade estelar; e painéis inferiores: $[\alpha/\text{Fe}]$), as colunas apresentam os bins de σ_e (painéis da esquerda: $< 200 \text{ km/s}$, painéis do meio: $200 - 225 \text{ km/s}$; painéis da direita: $> 225 \text{ km/s}$).

Os resultados indicam diferenças nas propriedades das populações estelares entre as duas amostras. Para $\sigma_e < 225 \text{ km/s}$ MCGs são mais velhas e possuem valores mais altos de $[\alpha/\text{Fe}]$ do que CSGs à σ_e fixo, porém a diferença entre essas propriedades em alto σ_e ($\sigma_e > 225 \text{ km/s}$) se torna marginal, como indicado pelo *p-value* Kolmogorov-Smirnov teste. Comparando a metalicidade estelar, observamos que MCGs apresentam metalicidades menores que CSGs à σ_e fixo em todo o intervalo de σ_e .

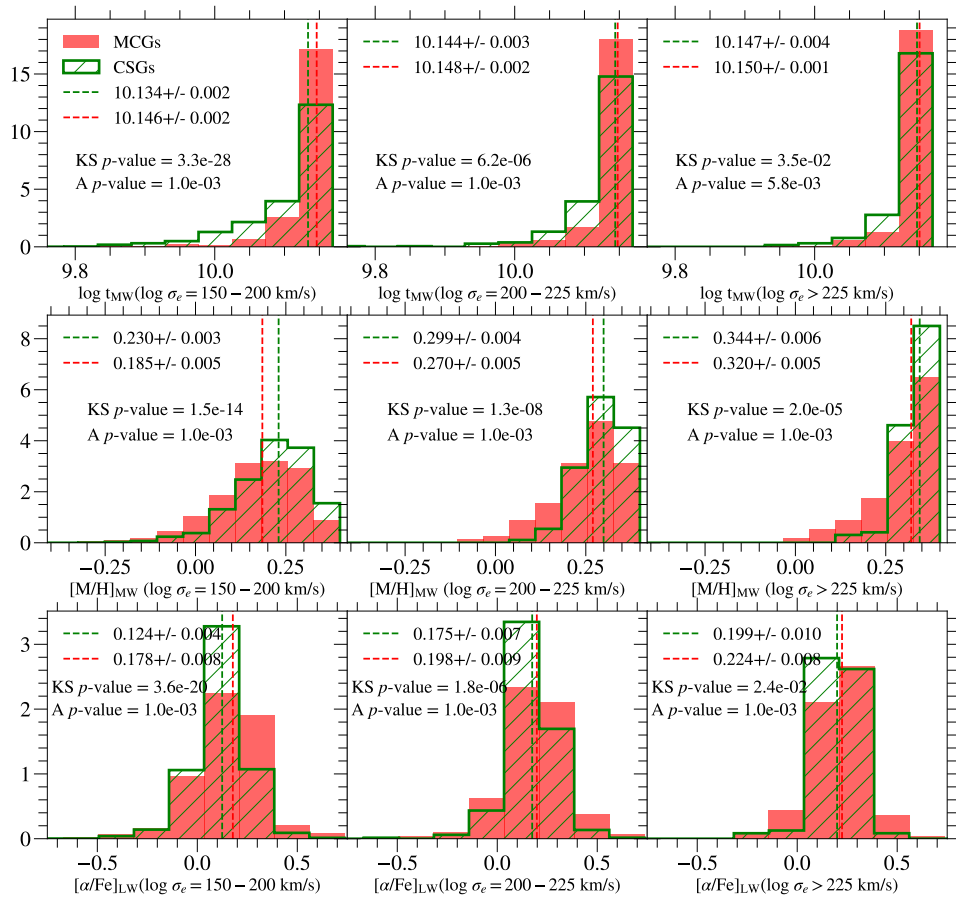


Figura 1: Distribuição das propriedades das populações estelares em bins de σ_e : $< 200 \text{ km/s}$ (coluna da esquerda); $200 - 225 \text{ km/s}$ (coluna do meio); $> 225 \text{ km/s}$ (coluna da direita). Na linha superior é apresentada a idade pesada por M_* , linha do meio a metalicidade estelar pesada por M_* e na linha inferior $[\alpha/Fe]$ pesado por luz. As MCGs são representadas em vermelho e as CSGs em verde e as linhas tracejadas representam a mediana das distribuições. KS p -value retorna a p -value do teste Kolmogorov–Smirnov e A p -value retorna a p -value do teste Anderson-Darling.

4 Discussão dos resultados e conclusões

Nós definimos um novo critério baseado na M_* , R_e e σ_e para selecionar galáxias compactas massivas em $z \approx 0$ com o objetivo de buscar análogos locais de galáxias compactas quiescentes em *redshifts* mais altos. Os critérios de seleção, especialmente os altos valores de σ_e , permitiram recuperar galáxias compactas majoritariamente velhas como mostram os resultados apresentados por Schnorr-Müller et al. (2021) [8]. Além disso, buscamos investigar também galáxias compactas massivas com $M_*/M_\odot \approx 10$, uma vez que é um regime de M_* pouco explorado na literatura.

Diante das diferenças encontradas nas propriedades das populações estelares, bem como a grande diferença da M_* (CSGs possuem M_* maior que $\approx 0.7 \text{ dex}$ que M_* das MCGs), nós sugerimos que CSGs e

MCGs são descendentes de diferentes populações de galáxias quiescentes em alto *redshifts* ($z \approx 2$).

Por fim, os resultados encontrados para as propriedades das populações estelares ainda não são suficientes para descrever o caminho de formação e evolução de galáxias compactas massivas. No entanto, os resultados sugerem que podem existir diferenças na função de massa inicial ou ainda da fração de matéria escura dentro de $1 R_e$ de MCGs quando comparado com galáxias quiescentes típicas, como discutido por Graves & Faber (2010) [10].

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico-CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Sobre as autoras

Katia Slodkowski Clerici (katia.clerici@ufrgs.br) possui graduação em Física-licenciatura pela Universidade Federal da Fronteira Sul, mestrado em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e atualmente é doutoranda em Astrofísica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Tem experiência na área de Astronomia, com ênfase em evolução de galáxias.

Marina Trevisan possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo, mestrado em Astrofísica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e doutorado em Astrofísica pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (2012). Realizou estágios de pós-doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil) e no Institut d'Astrophysique de Paris (França). Atualmente é Professora Adjunta na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. É diretora do Observatório Astronômico da UFRGS e secretária-geral da atual diretoria da Sociedade Astronômica Brasileira. Tem experiência na área de Astronomia, com ênfase em Astronomia Extragaláctica, Populações Estelares e Astrofísica Estelar.

Sobre os autores

Allan Schnorr Müller possui graduação, mestrado e doutorado em Física (Astrofísica) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Realizou estágios de pós-doutorado no Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é professor adjunto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tem experiência na área de Astrofísica/Astronomia Extragaláctica, em especial evolução de galáxias e galáxias com núcleos ativos.

Tiago Vecchi Ricci possui graduação em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo, mestre em Astronomia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP e doutor em Astronomia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. Atualmente,

é professor adjunto III na Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo. Tem experiência na área de Astronomia, com ênfase em Núcleos Ativos de Galáxias de Baixa Luminosidade utilizando dados de espectroscopia de campo integral.

Referências

- [1] D. Thomas et al., *The Epochs of Early-Type Galaxy Formation as a Function of Environment*, *Astrophysical Journal* **621**(2), 673 (2005). [ArXiv:astro-ph/0410209](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0410209).
- [2] A. van der Wel et al., *3D-HST+CANDELS: The Evolution of the Galaxy Size-Mass Distribution since $z = 3$* , *Astrophysical Journal* **788**(1), 28 (2014). [ArXiv:1404.2844](https://arxiv.org/abs/1404.2844).
- [3] T. Naab, P. H. Johansson e J. P. Ostriker, *Minor Mergers and the Size Evolution of Elliptical Galaxies*, *Astrophysical Journal Letters* **699**(2), L178 (2009). [ArXiv:0903.1636](https://arxiv.org/abs/0903.1636).
- [4] P. G. van Dokkum, K. E. Whitaker e et al., *The Growth of Massive Galaxies Since $z = 2$* , *Astrophysical Journal* **709**(2), 1018 (2010). [ArXiv:0912.0514](https://arxiv.org/abs/0912.0514).
- [5] B. Abolfathi et al., *The Fourteenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey and from the Second Phase of the Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment*, *Astrophysical Journal Supplement* **235**(2), 42 (2018). [ArXiv:1707.09322](https://arxiv.org/abs/1707.09322).
- [6] M. Cappellari, *Structure and kinematics of early-type galaxies from integral field spectroscopy*, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **54**, 597 (2016). [ArXiv:1602.04267](https://arxiv.org/abs/1602.04267).
- [7] A. Vazdekis et al., *Evolutionary stellar population synthesis with MILES - II. Scaled-solar and α -enhanced models*, *Monthly Notices of the RAS* **449**(2), 1177 (2015). [ArXiv:1504.08032](https://arxiv.org/abs/1504.08032).
- [8] A. Schnorr-Müller et al., *The puzzling origin of massive compact galaxies in MaNGA*, *Monthly Notices of the RAS* **507**(1), 300 (2021). [ArXiv:2104.12737](https://arxiv.org/abs/2104.12737).

- [9] M. Trevisan, G. A. Mamon e H. G. Khoshroshahi, *Do the stellar populations of the brightest two group galaxies depend on the magnitude gap?*, *Monthly Notices of the RAS* **464**(4), 4593 (2017). [ArXiv:1604.07726](#).
- [10] G. J. Graves e S. M. Faber, *Dissecting the red sequence. III. Mass-to-light variations in three-dimensional fundamental plane space*, *Astrophysical Journal* **717**(2), 803 (2010). [ArXiv:1005.0014](#).