

ABUNDÂNCIA QUÍMICA DE OXIGÊNIO EM GALÁXIAS LINERs

Celso Benedito de Oliveira Junior/Dra. Ângela Cristina Krabbe
Instituto de Pesquisa & Desenvolvimento – IP&D - Universidade do Vale do Paraíba
cbo_jr@hotmail.com

RESUMO: Galáxias com região nuclear de baixa ionização (LINERs) são objetos comuns e aparecem em cerca de um terço das galáxias do universo próximo. A fonte ionizante das LINERs ainda não é bem compreendida e não existem métodos confiáveis e específicos para determinar a abundância química destes objetos. Utilizando dados espectroscópicos de campo integral do *survey* MaNGA (*Mapping Nearby Galaxies at Apache Observatory*), investigou-se a abundância de oxigênio nos núcleos de uma amostra contendo dez galáxias LINERs. Para realização deste estudo, empregaram-se sete calibrações de metalicidade disponíveis na literatura, sendo cinco destinadas a determinação de abundância de oxigênio em regiões de formação estelar e duas destinadas a determinação da abundância de oxigênio em núcleos ativos de galáxias (AGNs). Através de extrapolação do gradiente radial estimou-se a abundância de O/H no núcleo dos objetos da amostra, obtendo-se valor médio de $12 + \log(O/H) = 8,81$.

PALAVRAS-CHAVE: Metalicidade; abundância de oxigênio; LINERs; AGN.

CHEMICAL ABUNDANCE OF OXYGEN IN LINER GALAXIES

ABSTRACT: Low ionization nuclear region galaxies (LINER) are very common and appear in about a third of the galaxies in the near universe. The ionizing source of LINERs is still not well understood and there are no reliable and specific methods for determining the chemical abundance of these objects. Using integral field unit spectroscopic data from the survey MaNGA (*Mapping Nearby Galaxies at Apache Observatory*), we investigated the abundance of oxygen in the cores of a sample containing ten LINER galaxies. To carry out this study, seven metallicity calibrations available in the literature were used, five aimed at determining oxygen abundance in star formation regions and two aimed at determining oxygen abundance in active galaxy nuclei (AGNs). By extrapolating the radial gradient, the abundance of O/H in the nucleus of the sample objects was estimated, obtaining an average value of $12 + \log(O/H) = 8.81$.

KEYWORDS: Metallicity; oxygen abundance; LINERs; AGN.

INTRODUÇÃO

Determinação da abundância química de Núcleos Ativos de Galáxias (AGNs) e de regiões de formação estelar (SFs) são essenciais para compreender a evolução química de galáxias. O método mais confiável para determinar a abundância de um elemento é o chamado método- T_e , que baseia-se em determinações precisas da temperatura eletrônica do gás. Quando esse método se torna inviável, a solução é aplicar o método das linhas fortes. O método das linhas fortes consiste em estimar a metalicidade através de calibrações empíricas de abundâncias químicas de regiões HII obtidas via método- T_e ou por modelos de fotoionização. Na literatura é possível encontrar diversas calibrações para determinação de abundância química em SFs. Por outro lado, métodos de linhas fortes para determinação de abundância química em AGNs são mais escassos e, de fato, existem apenas quatro calibrações para essa classe de objetos: Storchi-Bergmann et al (1998), Dors et al (2014), Castro et al

(2017) e Carvalho et al (2020). Essas calibrações são utilizadas principalmente para regiões de linhas estreitas de AGNs e, na maior parte dos casos, para galáxias tipo Seyfert 2. De fato, somente Storchi-Bergmann et al (1998) testaram suas calibrações para galáxias LINERs, todavia, a amostra utilizada contava com apenas quatro LINERs, o que impossibilitou uma conclusão sobre a aplicação desse método para essa classe de objetos.

As galáxias LINERs são objetos com região nuclear de baixa ionização (HECKMAN,1980), cuja fonte ionizante ainda é incerta e pouco compreendida, tendo sido encontrados objetos ionizados por AGNs (HALPERN & STEINER, 1983), por ondas de choques (HECKMAN,1980), ionizados por estrelas quentes (TERLEVICH & MELNICK, 1985). Há ainda objetos com mecanismo de ionização composto, isto é, mais de um elemento é responsável pela ionização do gás (SINGH et al, 2013; WINKLER, 2014). Portanto, verifica-se que ainda não há consenso quanto há fonte ionizante das LINERs e ainda são escassos os métodos indiretos para determinar a abundância química desses objetos. Neste artigo, utilizou-se calibrações de metalicidade disponíveis para AGNs e SFs para determinar a abundância de O/H no núcleo de dez galáxias LINERs.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se dados do projeto MaNGA; esse *survey* utiliza o telescópio de 2,5 m do *Apache Point Observatory* e um espectrógrafo de Unidade de Campo Integral (IFU). Escolheu-se dez galáxias com emissão tipo LINER somente na região nuclear.

Para proceder à análise da componente gasosa da galáxia é necessário antes subtrair a contribuição da população estelar de cada espectro, uma vez que as linhas de absorção provenientes da componente estelar afetam a intensidade das linhas de emissão da componente gasosa, em especial as linhas de Balmer. Para subtração da população estelar foi empregado o código de síntese de população estelar STARLIGHT (CID-FERNANDES et al. 2007), usando os modelos de populações estelares de Bruzual & Charlot (2003), com diferentes idades e metalicidades.

As intensidades das linhas de emissão foram medidas usando ajustes gaussianos e todas foram corrigidas pelo efeito da extinção interestelar, através do coeficiente de extinção obtido da comparação da razão observada de $H\alpha / H\beta$ com a razão teórica dada por Hummer (1987), para uma temperatura 10.000 K e densidade eletrônica de 100 cm^{-3} . Após a realização destes procedimentos, deu-se a estimativa de abundância de O/H. Para tal, estimou-se a abundância nas regiões HII ao longo do disco de cada galáxia empregando as calibrações obtidas por Edmunds & Pagel (1984); Denicoló et. al (2002); Pettini & Pagel (2004); Dors & Copeti (2005) e Pilyugin & Grebel (2016). Depois de estimar a abundância no disco, obteve-se a abundância no núcleo via extrapolação do gradiente radial (VILA-COSTAS & EDMUNDS, 1992; ZARITSKY et al., 1994, entre outros). A Figura 1 mostra o mapa de abundância para a galáxia 8083-12704, obtido via calibração de Pilyugin & Grebel (2016) e o gradiente radial de abundância, bem como o ajuste linear para o objeto.

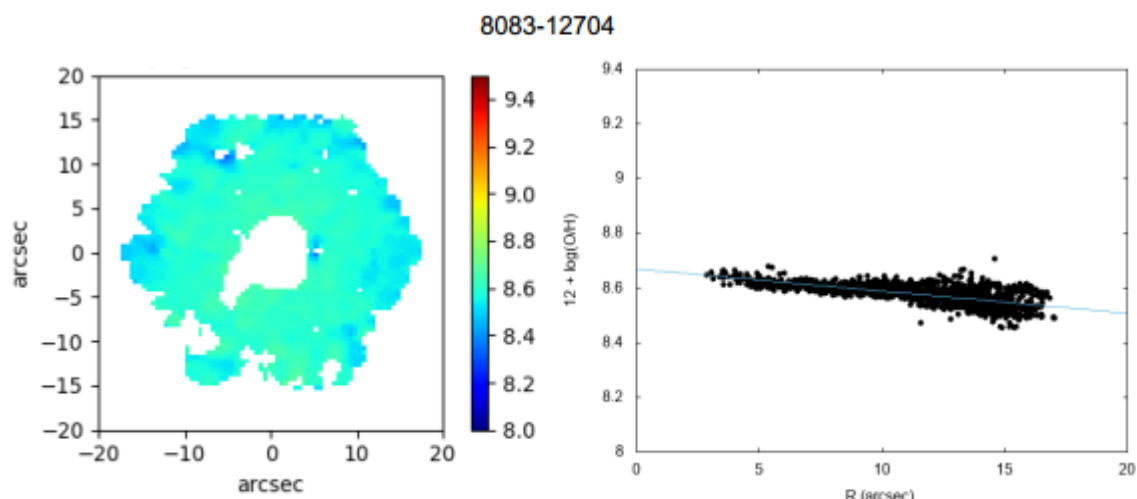


FIGURA 1. Esquerda: Mapa da abundância de O/H, escala de cores representam a abundância em unidades de $12 + \log(\text{O}/\text{H})$. Direita: Distribuição radial ao longo das galáxias. Reta representa ajuste linear para as estimativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as estimativas das abundâncias centrais de O/H obtidas via método de extrapolação e calibração para AGN.

TABELA 1. Estimativas de O/H do núcleo das galáxias.

Objeto	Edmunds & Pagel (1984)	Denicoló et al (2002)	Pettini & Pagel (2004)	Dors & Copeti (2005)	Pilyugin & Grebel (2016)	Storchi-Bergmann et al (1998)	Castro et al (2017)
8440-12701	8,51	8,84	8,73	8,93	8,64	8,68	8,72
8254-3704	8,62	8,80	8,74	8,94	8,65	8,74	8,80
8257-6101	8,72	8,84	8,86	9,00	8,67	8,69	8,74
8549-3703	8,55	8,94	8,87	8,95	8,71	8,86	8,81
8135-12701	8,31	8,91	8,92	8,74	8,75	9,00	8,75
8320-9102	8,59	8,91	8,86	8,97	8,74	8,85	8,81
8313-9102	8,62	8,91	8,93	8,98	8,73	8,90	8,77
8612-12702	8,73	8,89	8,97	9,09	8,73	8,85	8,81
8606-12701	8,25	8,82	8,83	8,66	8,63	9,09	8,75
8083-12704	8,74	8,83	8,93	9,01	8,66	8,78	8,73

Na Tabela 2, as médias das abundâncias centrais, são listadas. Dois valores médios foram calculados para cada galáxia. Um considerando as estimativas obtidas a partir do método de extrapolação ($12 + \log(\text{O}/\text{H})_{\text{SFs}}$) aplicado nas abundâncias do disco e outro a partir das calibrações de AGNs ($12 + \log(\text{O}/\text{H})_{\text{AGNs}}$).

TABELA 2. Média dos valores de abundância obtidas via método de extrapolação e para AGNs.

Objeto	$12+\log(\text{O}/\text{H})_{\text{SFs}}$	$12+\log(\text{O}/\text{H})_{\text{AGNs}}$
8440-12701	8,75	8,70
8254-3704	8,76	8,77
8257-6101	8,83	8,71
8549-3703	8,82	8,83
8135-12701	8,77	8,89
8320-9102	8,83	8,83
8313-9102	8,85	8,83
8612-12702	8,90	8,83
8606-12701	8,68	8,95
8083-12704	8,85	8,75

As estimativas diferem de acordo com o método empregado, variando em 0,69 *dex*, para a galáxia 8135-12701 e, variando em 0,84 *dex* para a galáxia 8606-12701.

Quando comparadas as médias das abundâncias, apresentadas na Tabela 2, nota-se que a diferença entre os resultados obtidos via calibração para SF e via calibração para AGN diferem menos de 0,1 *dex* em sete galáxias, sendo que em três destas os resultados diferem em menos de 0,01 *dex*. Duas outras galáxias produzem médias que diferem em 0,12 *dex*, enquanto um único objeto, a galáxia 8606-12701, produz resultados médios que diferem em 0,27 *dex*. O valor médio de O/H para a amostra é de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \approx 8,81$, valor 0,2 *dex* maior do que o valor solar de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \approx 8,69$ (ALLENDE PRIETO et. al, 2001).

CONCLUSÕES

A caracterização química de galáxias é fundamental para compreensão da evolução química desses objetos. Utilizando dados obtidos com o SDSS-IV MaNGA analisou-se a abundância de oxigênio no núcleo de dez galáxias LINERs. As abundâncias calculadas variaram entre $8,25 < 12+\log(\text{O}/\text{H}) < 9,09$. Comparando-se as médias das abundâncias obtidas por meio da extrapolação do gradiente radial e via calibrações para AGNs, notou-se que estas produzem resultados bem semelhantes, diferindo em até 0,12 *dex* para nove galáxias da amostra.

AGRADECIMENTOS

CBO agradece à FAPESP pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa, processo 2019/11934-0 e à CAPES.

REFERÊNCIAS

ALLENDE PRIETO, C.; LAMBERT, D.L.; ASPLUND, M. The forbidden abundance of oxygen in the Sun. *The Astrophysical Journal*, v.556, p.L63-L66, jul. 2001.

BRUZUAL, G.; CHARLOT, S. Stellar population synthesis at the resolution of 2003. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 344, p. 1000–1028, out. 2003.

CASTRO, C. S. et al. New metallicity calibration for Seyfert 2 galaxies based on the N2O2 index. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 467, p. 1507–1514, maio 2017.

CID FERNANDES, R. et al. Uncovering the chemical enrichment and mass-assembly histories of star-forming galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 375, p. L16–L20, fev. 2007.

DORS, O. L.; Copetti, M. V. F. Abundance gradients in a sample of barred spiral galaxies. *Astronomy Astrophysics*, v. 437, p. 837–847, jul. 2005.

DORS, O. L. et al. Metallicity evolution of AGNs from UV emission lines based on a new index. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 443, p. 1291–1300, set. 2014.

HALPERN, J. P.; STEINER, J. E. Low-ionization active galactic nuclei - X-ray or shock heated? *Astrophysical Journal*, v. 269, p. L37–L41, jun. 1983.

HECKMAN, T. M. An optical and radio survey of the nuclei of bright galaxies - Activity in normal galactic nuclei. *Astronomy Astrophysics*, v. 87, p. 152–164, jul. 1980.

HUMMER, D. G.; STOREY, P. J. Recombination-line intensities for hydrogenic ions. I – Case B calculations for H I and He II. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 224, p. 801–820, fev. 1987.

PETTINI, M.; PAGEL, B. E. J. [OIII]/[NII] as an abundance indicator at high redshift. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 348, p. L59–L63, mar. 2004.

SINGH, R. et al. The nature of LINERs galaxies: Ubiquitous hot old stars and rare accreting black holes. *Astronomy Astrophysics*, v. 558, p. A43, out. 2013.

STORCHI-BERGMANN, T. et al. **Chemical Abundance Calibrations for the Narrow-Line Region of Active Galaxies.**, v. 115, p. 909–914, mar. 1998.

VILA-COSTAS, M. B.; EDMUNDS, M. G. The relation between abundance gradients and the physical properties of spiral galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 259, p. 121–145, nov. 1992.

WINKLER, H. **Line, LINERs, linest - from micro-AGN to ultra-luminous LINERs.** One and the same? arXiv e-prints, set. 2014.

ZARITSKY, D.; KENNICUTT JR., R. C.; HUCHRA, J. P. H II regions and the abundance properties of spiral galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 420, p. 87–109, jan. 1994.