

BURACOS NEGROS SUPERMASSIVOS E ATIVIDADE NUCLEAR EM GALÁXIAS

Introdução

Durante a última década aprendemos, principalmente através de observações com o Telescópio Espacial Hubble, que a maioria das galáxias – senão todas – que possuem um bojo estelar hospedam no seu centro um buraco negro supermassivo (SMBH, de SuperMassive Black Hole), com massa proporcional à do bojo (ver, por exemplo, o review de Ferrarese & Ford, 2005). Tem-se concluído que modelos cosmológicos para o Universo e sua evolução devem incluir obrigatoriamente os SMBH no núcleo das galáxias e seus efeitos de “feedback” (ver, por exemplo, Di Matteo et al. 2005). Se não forem incluídos estes efeitos, os modelos predizem a formação de galáxias muito mais massivas do que o observado; os ventos e a radiação emitida pelo entorno do SMBH produzem o feedback necessário para evitar que as galáxias cresçam demais.

Dentro do cenário acima, a diferença entre uma galáxia ativa e uma não-ativa é que, na primeira, o SMBH está acretando massa – produzindo as características observacionais da atividade nuclear, como a emissão de jatos relativísticos e fótons de alta energia – enquanto que, na segunda, não há matéria para ser acretada na vizinhança do SMBH. Assim sendo, a atividade nuclear é, antes de mais nada, uma fase na evolução das galáxias em que o SMBH está sendo alimentado.

O estudo das galáxias na fase ativa permite investigar a interação entre o SMBH e a galáxia hospedeira, levando a um entendimento do papel do SMBH na evolução das galáxias. No Brasil, vários grupos estudam galáxias ativas. Entre eles citamos:

- (1) O grupo do Dr. Laerte Sodré Jr. (IAG-USP) estuda as propriedades em grande escala das galáxias ativas, em particular sua relação com os aglomerados de galáxias nos quais residem e com o meio-ambiente em grande escala;
- (2) O grupo do Dr. Cid Fernandes (UFSC) estuda a população estelar das galáxias ativas; este estudo permite associar a atividade nuclear aos estágios evolutivos das galáxias hospedeiras; utilizando extensos conjuntos de espectros de galáxias a diferentes distâncias (e portanto, correspondendo a diferentes idades do Universo) estudam também a evolução da população estelar em função da idade do Universo;
- (3) O grupo da Dra. Storchi-Bergmann (IF-UFRGS), em colaboração com o Dr. Rogemar A. Riffel (UFSM) tem usado Espectroscopia de Campo Integral (daqui para frente IFS, de Integral Field Spectroscopy) obtida com o Telescópio Gemini para investigar a origem e a cinemática do gás na região nuclear de galáxias ativas. Com estas observações o grupo visa identificar tanto o mecanismo de alimentação do SMBH como seus efeitos de “feedback” no meio interestelar das galáxias hospedeiras. Além disso, através do estudo da emissão contínua e dos perfis de linhas de emissão de duplo pico, o grupo da Dra. Storchi-Bergmann, em colaboração com o Dr. Rodrigo Nemmen (UFRGS) estuda também a evolução dos discos de acreção em torno dos SMBHs;
- (4) O grupo do Dr. Joao Steiner (IAG-USP) tem também usado dados de IFS para explorar propriedades da vizinhança dos núcleos ativos através da técnica de “Principal Component Analysis” (PCA). Esta técnica revela propriedades não facilmente mensuráveis através de medidas tradicionais, como, por exemplo, a descoberta da presença de núcleos ativos com emissão muito fraca e resolver

possíveis desvios da posição do buraco negro supermassivo em relação ao centro da galáxia;

(5) O Dr. Fabricio Ferrari (UNIPAMPA – Bagé) tem contribuído com novas técnicas, como a decomposição em “Wavelets”, para a análise dos cubos de dados obtidos com IFS, colaborando com os grupos da Dra. Storchi-Bergmann e do Dr. João Steiner;

(6) O grupo do Dr. Horácio Dottori (IF-UFRGS) tem utilizado dados de IFS para estudar a cinemática do gás e das estrelas na região central de galáxias próximas e investigar assinaturas cinemáticas de SMBHs através da modelagem dos dados através de simulações dinâmicas;

(7) O grupo da Dra. Miriani G. Pastoriza (IF-UFRGS), em colaboração com o Dr. Rogério Riffel (IF-UFRGS), tem estudado a distribuição espectral de energia de núcleos ativos de galáxias no infravermelho próximo e médio, modelando tanto a emissão do gás e da poeira quente quanto realizando síntese espectral para derivar a idade da população estelar circumnuclear, a contribuição da poeira quente, bem como a do contínuo não térmico;

(8) O grupo do Dr. Alberto R. Ardila (LNA) colabora com o da Dra. Pastoriza no estudo da distribuição espectral de energia dos núcleos ativos no infravermelho, dedicando-se, em particular, a investigar a origem das linhas coronais;

(9) O grupo da Dra. Zulema Abraham tem utilizado observações em rádio para estudar o comportamento de jatos relativísticos ejetados pelo núcleo ativo de rádio-galáxias, modelando sua evolução;

(10) O grupo da Dra. Elisabete M. de Gouveia Dal Pino (IAG-USP) tem modelado jatos relativísticos investigando a origem dos processos físicos que aceleram e colimam estes jatos. Além disso, vem explorando através de simulações numéricas magneto-hidrodinâmicas o “feedback” dos jatos de galáxias ativas sobre o meio intergaláctico circundante e sua interação com os ventos gerados pela formação estelar da galáxia hospedeira.

As referências encontradas no final deste documentos trazem uma lista dos trabalhos recentemente publicados pelos grupos acima nos temas de pesquisa descritos.

O futuro – Por que e como continuar estudando as galáxias ativas

O estudo das galáxias ativas permite que observemos galáxias a grandes distâncias, uma vez que o núcleo ativo pode emitir uma luminosidade que supera por algumas ordens de grandeza a luminosidade da sua galáxia hospedeira. Os quasares mais distantes tem redshifts de $z \sim 7$, e, através deles observamos o Universo quando o mesmo tinha menos do que 1 bilhão de anos de idade. A observação de galáxias ativas permite portanto observarmos um mesmo fenômeno – o feedback do núcleo ativo em termos de radiação emitida pelo gás sendo “acretado” e ejetado – desde o Universo próximo (e atual) até o Universo distante (e passado). Através da evolução das galáxias ativas estaremos estudando a evolução do próprio Universo e de suas propriedades. Para estudar esta evolução é necessário o acesso a grandes bases de dados, em particular de distribuições espectrais de energia de galáxias a diferentes distâncias fornecidos por surveys como os que serão disponibilizados pelo LSST e o novo projeto PAU-BRASIL. É portanto de grande interesse para os grupos que estudam a atividade nuclear e sua relação com o meio-ambiente, que o Brasil participe de um grande survey deste tipo.

A observação dos núcleos ativos próximos permite resolver os processos de alimentação do SMBH, bem como os processos de “feedback”. Com os telescópios Gemini é possível resolver atualmente no infravermelho, e para as galáxias ativas mais próximas, escalas espaciais da ordem de cerca de 10 parsecs. Isto porque no infravermelho pode-se utilizar o instrumento NIFS (Near-infrared Integral Field Spectrograph) que tem ótica adaptativa. Os resultados apresentados em Storchi-Bergmann et al. (2009, 2010) mostram o poder destas observações, que revelaram e resolveram diferentes distribuições espaciais e cinemáticas para o gás molecular e o ionizado. Estas observações permitiram uma amostragem espacial bem mais completa da cinemática do gás da chamada Região de Linhas Estreitas do que trabalhos prévios com fenda longa, revelando que não parece haver aceleração ao longo desta região, como inferido a partir de estudos prévios. Entretanto, a emissão no infravermelho é bem mais fraca do que no intervalo espectral ótico, e o próximo passo para o progresso nesta área é estender a ótica adaptativa a espectrógrafos de campo integral no ótico. Apoiamos, portanto, o desenvolvimento de módulos de ótica adaptativa no ótico para o Gemini. Um outro pleito é o aumento do tempo brasileiro no projeto Gemini, uma vez que o progresso na observação dos núcleos ativos próximos tem sido lento por causa do limitado no. de horas disponíveis para o Brasil, que limita o ritmo das observações em cerca de uma galáxia por semestre. Muitas vezes esta limitação de tempo limita também o campo a ser observado bem como a cobertura espectral, o que impede algumas vezes conclusões definitivas sobre o campo de velocidades amostrado.

Ainda não é possível resolver o disco de acréscimo de matéria que se forma em torno do SMBH com a tecnologia atual. Possibilidades futuras para resolver escalas que se aproximam das do disco de acréscimo incluem os telescópio gigantes com espelhos de diâmetros da ordem dos 30 metros e os projetos de radioastronomia ALMA e LLAMA. Após termos ingressado no “seleto time” das nações com acesso aos maiores telescópios de última geração, como é o caso do Projeto Gemini, o Brasil não pode ficar de fora dos projetos de telescópios “gigantes” que agora estão sendo discutidos, como o TMT. No caso do ALMA, que é um projeto internacional do qual o Brasil atualmente não faz parte, seria importante para a ciência brasileira ter algum tipo de acesso a este observatório, já que o mesmo permitirá observações em uma banda espectral (mm) ainda não explorada, e que deve ser origem num futuro próximo, de grandes descobertas em praticamente todas as áreas da astrofísica. O LLAMA é um projeto de construção de duas antenas sendo o Brasil um dos parceiros, também submetido à CEA que almeja fazer interferometria com o ALMA: enquanto que o ALMA pode resolver escalas de 0.02 segundos de arco, o LLAMA, em interferometria com o ALMA, pode resolver escalas de cerca de milésimos de segundos de arco.

Lista dos recursos observacionais

Em suma, para o progresso da pesquisa na área da atividade nuclear em galáxias, almejamos ter acesso aos seguintes recursos observacionais:

- (1) Participação em projetos de grandes surveys como o LSST e PAU-BRASIL;
- (2) Ótica adaptativa no ótico para o Gemini para ser usada com Espectrógrafos de Campo Integral;
- (3) Aumento do tempo de observação brasileiro no Gemini ou ingresso em outro consórcio de grandes telescópios (como VLT) que tenha instrumentação de ponta incluindo ótica adaptativa e espectroscopia de campo integral;
- (4) Participação em projetos futuros de grandes telescópios, como o TMT;

(5) Participação nos novos projetos da radioastronomia ALMA e LLAMA.

REFERÊNCIAS (Membros do grupo signatário)

Barbosa, F. K. B., Storchi-Bergmann, T., Cid Fernandes, R., Winge, C., Schmitt, H., 2009, *Gemini/GMOS IFU gas velocity 'tomography' of the narrow line region of nearby active galaxies*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 396, 2-18.

Cid Fernandes, R.; Stasinska, G.; Schlickmann, M. S.; Mateus, A.; Vale Asari, N.; Schoenell, W.; Sodre, L., Jr. 2010, Alternative diagnostic diagrams and the "forgotten" population of weak line galaxies in the SDSS, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: in press (arXiv:0912.1643)

Stasińska, G.; Vale Asari, N.; Cid Fernandes, R.; Gomes, J. M.; Schlickmann, M.; Mateus, A.; Schoenell, W.; Sodr , L., Jr. 2008, Can retired galaxies mimic active galaxies? Clues from the Sloan Digital Sky Survey, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 391, Issue 1, pp. L29-L33.

Stasińska, G., Cid Fernandes, R., Mateus, A., Sodr , L., Asari, N. V., 2006, *Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - III. How to distinguish AGN hosts*, MNRAS, 371, 972

Sodr , L., Jr.; Boris, N. V.; Lima Neto, G. B.; Cypriano, E. S.; Santos, W. A.; Mendes de Oliveira, C.; West, M. 2009, *Large-Scale Structures around Quasar Pairs at $z \sim 1$* , RmexAC, 35, 243

Boris, N. V.; Sodr , L., Jr.; Cypriano, E. S.; Santos, W. A.; de Oliveira, C. Mendes; West, M. 2007, *Searching High-Redshift Large-Scale Structures: Photometry of Four Fields around Quasar Pairs at $z \sim 1$* , ApJ, 666, 747

Fathi, K., Storchi-Bergmann, T., Riffel, R. A., Winge, C., Axon, D. J., Robinson, A., Capetti, A. & Marconi, A. 2006, ApJ, 2006, *Streaming Motions toward the Supermassive Black Hole in NGC 1097*, The Astrophysical Journal, 641, L25-L28.

Nemmen, R. S.; Storchi-Bergmann, T.; Yuan, F.; Eracleous, M.; Terashima, Y.; Wilson, A. S. 2006, *Radiatively Inefficient Accretion Flow in the Nucleus of NGC 1097*, Astrophysical Journal, 643, 652-659.

Nemmen, R. S.; Bower, R. G.; Babul, A.; Storchi-Bergmann, T. 2007, *Models for jet power in elliptical galaxies: a case for rapidly spinning black holes*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 377, 1652-1662.

Okamoto, T.; Nemmen, R. S.; & Bower, R. G. 2008, *The impact of radio feedback from active galactic nuclei in cosmological simulations: formation of disc galaxies*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 385, 161-180.

Riffel R. A., Storchi-Bergmann T., Winge C., Barbosa F. K. B., 2006, *Gemini near-infrared integral field spectroscopy of the narrow-line region of ESO428-G14: kinematics, excitation and the role of the radio jet*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 373, 2-12.

- Riffel, R.A., Storchi-Bergmann, T., Winge, C., McGregor, P. J., Beck, T., Schmitt, H., 2008,** *Mapping of molecular gas inflow towards the Seyfert nucleus of NGC4051 using Gemini NIFS*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 385, 1129-1142.
- Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T.; Dors, O. L.; Winge, C., 2009,** *AGN-starburst connection in NGC7582: Gemini near-infrared spectrograph integral field unit observations*, MNRAS, 393, 783
- Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T.; McGregor, P. J., 2009,** *The Dusty Nuclear Torus in NGC 4151: Constraints from Gemini Near-Infrared Integral Field Spectrograph Observations*, ApJ, 698, 1767
- Riffel R. A., Storchi-Bergmann T, Nagar, N., 2010,** *Near-IR dust and line emission from the central region of Mrk1066: Constraints from Gemini NIFS*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, em impressão
- Simões Lopes, R., Storchi-Bergmann, Saraiva, M. F. & T., Martini, P., 2007,** *A Strong Correlation between Circumnuclear Dust and Black Hole Accretion in Early-Type Galaxies*, The Astrophysical Journal, 655, 718-734.
- Steiner, J. E. , Menezes, R. B., Ricci, T. V., Oliveira, A. S. 2009,** *PCA Tomography: how to extract information from data cubes*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 395, 64-75
- Storchi-Bergmann, T., Dors, O. L., Jr., Riffel, R. A., Fathi, K., Axon, D. J., Robinson, A., Marconi, A., Östlin, G., 2007,** *Nuclear Spirals as Feeding Channels to the Supermassive Black Hole: The Case of the Galaxy NGC 6951*, The Astrophysical Journal, 670, 959-967.
- Storchi-Bergmann, T., McGregor, P. J., Riffel, R. A., Simões-Lopes, R. D., Beck, T., Dopita, M. 2009,** *Feeding versus Feedback in NGC4151 probed with Gemini NIFS. I. Excitation*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 394, 1148-1166
- Storchi-Bergmann, T., Simões-Lopes, R. D., McGregor, P. J., Riffel, R. A., Beck, T., Martini, P. 2010,** *Feeding versus Feedback in NGC4151 probed with Gemini NIFS. II. Kinematics*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, in press
- Falceta Goncalves, D., de Gouveia Dal Pino, E.M., Gallagher, J. S., Lazarian, A., 2010** *Turbulence and the Formation of Filaments, Loops, and Shock Fronts in NGC 1275*, The Astrophysical Journal Letters, 708, L57-L60
- de Gouveia Dal Pino, E.M., Piovezan, P. P., Kadowaki, L. H. S., 2010,** *The role of magnetic reconnection on jet/accretion disk systems*, Astronomy & Astrophysics, in press
- de Gouveia Dal Pino, E. M., Melioli, C., D’Ercole, A., Brighenti, F. C., Raga, A., 2009,** *Galactic Outflows and the pollution of the Galactic Environment*, Advances Space Research, in press
- Melioli, C., Brighenti, F. C., D’Ercole, A., de Gouveia Dal Pino, E. M., 2008,** *Hydrodynamical Simulations of Galactic Fountains I: evolution of single fountains*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 388, 573-386
- Melioli, C., Brighenti, F. C., D’Ercole, A., de Gouveia Dal Pino, E. M., 2009,** *Hydrodynamical Simulations of Galactic Fountains II: evolution of multiple fountains*, Monthly

Notices of the Royal Astronomical Society, 399, 1089-1105

Melioli, C., de Gouveia Dal Pino, E. M., 2006, *ISM gas removal from starburst galaxies and the premature death of star clusters*, *Astronomy & Astrophysics*, 445, L23-L26

Rodrigues, I., Dottori, H., Díaz, R. J., Agüero, M. P., Mast, D. 2009, *Kinematics and Modeling of the Inner Region of M 8*, *AJ*, 137, 4083

Dottori, H., Díaz, R. J. Mast, D. 2008, *Is J 133658.3-295105 A Radio Source at $z \geq 1.0$ or at the Distance of M 83?*, *AJ*, 136, 2468

Díaz, R. J., Dottori, H., Agüero, M. P., Mediavilla, E., Rodrigues, I., Mast, D., 2006, *Hidden Trigger for the Giant Starburst Arc in M83?*, *ApJ*, 652, 1152

Caproni, A., Abraham, Z., Livio, M., Mosquera Cuesta, H. J., 2007, *Is the Bardeen-Petterson effect responsible for the warping and precession in NGC4258?*, *MNRAS*, 379, 135

Abraham, Z.; Barres de Almeida, U.; Dominici, T. P.; Caproni, A., 2007, *Free-free absorption in the nucleus of Cen A: evidences from 7-mm emission variability*, *MNRAS*, 378, 309

Caproni, Anderson; Livio, Mario; Abraham, Zulema; Mosquera Cuesta, Herman J., 2006, *Warping and Precession in Galactic and Extragalactic Accretion Disks*, *ApJ*, 653, 112

Dominici, T. P.; Abraham, Z.; Galo, A. L, 2006, *Optical and near-infrared simultaneous observations of the BL Lacs PKS 2005-489 and PKS 2155-304*, *A&A*, 460, 665

Riffel, R. ; Pastoriza, M. G. ; Rodríguez-Ardila, A. ; Bonatto, C., 2009, *Probing the near-infrared stellar population of Seyfert galaxies*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Print), p. 1-19.

Riffel, R. ; Pastoriza, M. G. ; Rodríguez-Ardila, A ; Maraston, C. 2008, *The stellar populations of starburst galaxies through near-infrared spectroscopy*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 10, p. 22-32

Riffel, R. ; Pastoriza, M. G. ; Rodríguez-Ardila, A ; Maraston, C., 2007, *The First Detection of Near-Infrared CN Bands in Active Galactic Nuclei: Signature of Star Formation*. *The Astrophysical Journal*, v. 659, p. 103

Riffel, R. ; Rodríguez-Ardila, A ; Pastoriza, M. G., 2006, *A 0.8-2.4 microns spectral atlas of active galactic nuclei..* *Astronomy & Astrophysics* (Berlin), v. 457, p. 61-70

Rodríguez-Ardila, A ; Riffel, R. ; Pastoriza, M. G., 2005, *Molecular hydrogen and [FeII] in active galactic nuclei - II. Results for Seyfert 2 galaxies*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 364, p. 1041

Geballe, T. R. ; Mason, R. E. ; Rodríguez-Ardila, A. ; Axon, D. J., 2009, *The 3.5 micron spectrum of NGC1068 at high angular resolution: distribution of emission and absorption features across the nuclear continuum source*, *ApJ*, 701, 1710.

Mazzalay, X. ; Rodríguez-Ardila, A., 2009, *Optical and NIR spectroscopy of Mrk 1210: constraints and physical conditions of the active nucleus*, *Astronomy & Astrophysics*, v. 463, p. 445-454

OUTRAS REFERÊNCIAS

Di Matteo, T., Springel, V & Hernquist, L., 2005, *Energy input from quasars regulates the growth and activity of black holes and their host galaxies*, *Nature*, 433, 604-607

Ferrarese, L., & Ford, H. 2005, *Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei: Past, Present and Future Research*, *Space Science Reviews*, 116, 523–624

Signatários deste documento:

Thaisa Storchi Bergmann (UFRGS)

Rogemar A. Riffel (UFSC)

Miriani G. Pastoriza (UFRGS)

Rogério Riffel (UFRGS)

Horácio Dottori (UFRGS)

João E. Steiner (IAG-USP)

Roberto Cid Fernandes (UFSC)

Laerte Sodré Jr. (IAG-USP)

Alberto R. Ardila (LNA)

Fabício Ferrari (UNIPAMPA)

Rodrigo Nemmen da Silva (UFRGS)

Zulema Abraham (IAG-USP)

Elisabete de Gouveia Dal Pino (IAG-USP)