



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – *CAMPUS* CERRO LARGO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA– LICENCIATURA**

**JOCIELLI MARIA TOLOMINI**

**CINEMÁTICA ESTELAR DA REGIÃO CENTRAL DA GALÁXIA SEYFERT 2 NGC**  
**1320**

**CERRO LARGO**

**2015**

**JOCIELLI MARIA TOLOMINI**

**CINEMÁTICA ESTELAR DA REGIÃO CENTRAL DA GALÁXIA SEYFERT 2 NGC  
1320**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física - Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciatura em Física.**

**Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Aline Beatriz Rauber**

**Cerro Largo**

**2015**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA – LICENCIATURA

**CERTIDÃO**

Ministério da Educação

Universidade Federal da Fronteira  
Sul

Campus Cerro Largo  
Rua Major Antônio Cardoso, 590  
Cerro Largo-RS CEP 97900-000

(55) 3359-3950  
[www.uffs.edu.br](http://www.uffs.edu.br)

Certifico que aos 18 dias do mês de junho de dois mil e quinze, na sala 102 – Auditório do Bloco A, nas dependências da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Cerro Largo, a acadêmica JOCIELLI MARIA TOLOMINI, realizou defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Física – Licenciatura, com o seguinte título: “Cinemática estelar da região central da galáxia Seyfert 2 NGC 1320”, sendo avaliada pela Professora Orientadora Aline Beatriz Rauber, orientadora e demais membros da Banca Examinadora: Professor Diogo Pauletti e Professor Thiago de Cacio Luchese, tendo obtido nota **9,1**.

Cerro Largo, 18 de junho de 2015.

Aline Beatriz Rauber

Professor(a) Orientador(a)

ARauber

Diogo Pauletti

Professor(a) Avaliador(a)

DIOGO PAULETTI

Thiago de Cacio Luchese

Professor(a) Avaliador(a)

Thi

# Cinemática estelar da região central da galáxia Seyfert 2 NGC 1320

Jocielli Maria Tolomini<sup>1\*</sup>, Aline Beatriz Rauber<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul, 97900-000, Cerro Largo, RS, Brazil

2 de julho de 2015

## RESUMO

Apresentamos neste trabalho o mapeamento bidimensional da cinemática estelar nos 300 pc centrais da galáxia Seyfert 2 NGC 1320. Os dados foram obtidos a partir de observações no infravermelho próximo com o instrumento NIFS do telescópio Gemini Norte, operando com o módulo de ótica adaptativa ALTAIR. As medidas da cinemática estelar foram obtidas através de ajustes das bandas de absorção do CO na banda K, excluindo a região nuclear contaminada pela linha [Ca VIII]. Os resultados mostram um campo de velocidade com padrão de rotação típico, com amplitudes de aproximadamente  $250 \text{ km s}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Galáxias: individual (NGC 1320) – Galáxias: ativas – Galáxias: Seyfert – Galáxias: núcleo – Galáxias: cinemática

## 1 INTRODUÇÃO

Há aproximadamente cem anos, os equipamentos utilizados para observações forneciam dados de qualidade significativamente inferior em relação aos que dispomos atualmente. Naquele período os cientistas buscavam explicar a natureza das nebulosas, entretanto as imagens obtidas para estes objetos celestes se assemelhavam muito a manchas opacas.

Ainda que já houvesse uma considerável quantidade de nebulosas catalogadas até 1908, a natureza desses objetos permanecia desconhecida. Isso acarretou uma discussão entre dois grandes astrônomos da época: Harlow Shapley, que defendia que existia apenas a nossa galáxia e todos os demais corpos celestes, por mais distantes que estivessem, ainda fariam parte dela, e, Herbert Curtis, que afirmava que as nebulosas espirais eram como “universos ilhas” (hipótese primeiramente sugerida por Immanuel Kant em 1755), semelhantes a nossa galáxia. Nenhum dos dois cientistas aceitou a ideia do outro.

Em 1924, Edwin Hubble escreveu para Shapley informando-lhe que havia descoberto uma estrela Cefeida na nebulosa de Andrômeda. Estas são estrelas variáveis que apresentam certa relação entre a luminosidade e o período, sendo assim utilizadas para medir distâncias no universo. A distância até a Cefeida iria determinar se Andrômeda pertencia à Via Láctea ou não. Estimou-se então que Andrômeda fica há aproximadamente 2,5 milhões de anos luz da Terra, ou seja, muito além das fronteiras da nossa galáxia. Assim, Curtis estava correto em seu raciocínio, e realmente existem outros “universos ilhas” que ficam a distâncias imensas.

Hoje os instrumentos mais avançados nos permitem descobrir novas galáxias e determinar suas características, bem como demais objetos celestes, contribuindo para uma melhor compreensão da estrutura e evolução do universo.

### 1.1 Galáxias com núcleo ativo

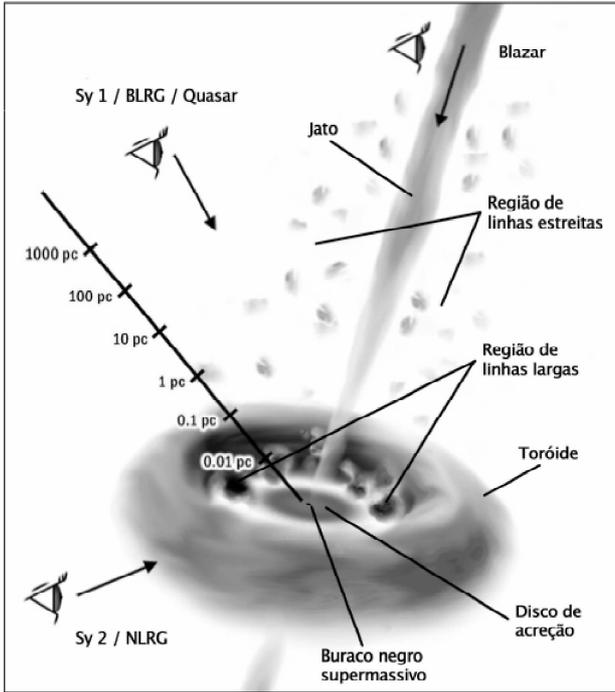
Dentre as galáxias conhecidas no universo, existem algumas que emitem uma quantidade extraordinária de energia, a qual não deriva das estrelas que a compõe (Peterson 1997). Essa energia é proveniente do núcleo da galáxia, e por essa razão elas são chamadas de núcleos ativos de galáxia (AGN, *Active Galactic Nuclei*, em inglês). A fonte de energia desses objetos é atribuída a um buraco negro supermassivo (BNS) que se localiza em sua região central. Este acreta matéria, se tornando ainda mais massivo, e a converte em radiação. A emissão de energia da região central dessas galáxias é tão intensa que pode ser comparada ao brilho emitido pelas estrelas da galáxia inteira.

Os AGNs são classificados de acordo com algumas características determinadas por meio de análise espectral, a sua orientação em relação a nossa linha de visada, a sua luminosidade e a intensidade do jato rádio que provém do núcleo. Sendo assim, eles podem ser divididos em: Seyferts, Quasares (*Quasi-stellar radio sources*), Blazares, Rádio Galáxias, e LINERS (*Low-Ionization Nuclear Emission-line Regions*).

O cenário geral pode ser resumido por meio do Modelo Unificado de AGNs (Urry & Padovani 1995; Antonucci 1993). A figura 1.1 mostra um esquema do Modelo Unificado de AGNs, na qual é possível observar, em torno do BNS central, um disco de gás, denominado disco de acreção, no qual o jato de partículas se origina, bem como um toroide denso molecular que se encontra em torno do disco de acreção. Ainda, observa-se que as linhas estreitas (*NLR, Narrow Line Region*) são produzidas em regiões externas ao toroide, e as linhas largas (*BLR, Broad Line Region*) são produzidas em regiões internas a ele.

Dependendo da orientação do BNS em relação a nossa linha de visada, o toroide pode causar obscurecimento da BLR. Por conta disso, as galáxias Seyfert (descobertas por Carl Keenan Seyfert em 1943) podem ser subdivididas em Seyfert 1 (Sy1) e Seyfert 2 (Sy2).

\* E-mail: jocielli.tolomini@gmail.com



**Figura 1.** Representação esquemática do modelo unificado para AGNs. Retirado do trabalho Diniz (2013).

Nas galáxias classificadas como Sy1 é possível observar tanto a NLR como a BLR. As linhas largas observadas são permitidas. Nenhuma das linhas proibidas têm perfis alargados similares. A única interpretação conhecida é que as linhas largas surgem em uma região na qual há maior turbulência e grande quantidade de gás. A densidade é tão alta que as transições que dariam origem a linhas de emissão proibidas acabam ocorrendo colisionalmente. Em galáxias do tipo Sy2, o toróide acaba obscurecendo a BLR e observamos apenas a NLR.

Em Rádio Galáxias a divisão é análoga às Seyferts. Elas são classificadas em BLRG (*Broad Line Radio Galaxies*) quando apresentam linhas largas em seus espectros, e em NLRG (*Narrow Line Region Galaxies*), quando possuem apenas linhas estreitas em seus espectros.

Os quasares tem como sua principal diferença, entre as demais AGNs, a sua luminosidade, que é 100 vezes maior que nas outras (Peterson 1997) bem como os extensos jatos rádio observados nas Rádio Galáxias. Quando a linha de visada está orientada diretamente para o jato de partículas o AGN é chamado de Blazar.

De acordo com o modelo atual de evolução das galáxias, todas aquelas que possuem um bojo, possuem também um BNS em seu centro (Tremaine et al. 2002; Gebhardt et al. 2003; Ferrarese & Ford 2005), porém o maior problema a ser resolvido é como explicar a forma com que o BNS se alimenta e ainda, o fato de sua massa ser proporcional à massa do bojo estelar da galáxia. Entretanto, medidas da cinemática estelar em galáxias ativas são mais difíceis quando comparadas às galáxias normais, pois o intenso brilho nuclear acaba ofuscando o brilho das estrelas que se encontram na região central da galáxia. Ainda, AGNs estão, geralmente, mais distantes do que as galáxias normais (Tremaine et al. 2002).

Estudos revelaram que medidas de razões entre massa e luminosidade em galáxias Seyfert, em escalas de Kpc, são menores do que em galáxias normais, possivelmente, devido à presença de

uma população estelar mais jovem em torno do núcleo (Oliva et al. 1995).

Estudos da cinemática estelar em galáxias ativas, em um região de 50 pc do núcleo, mostraram que a dispersão de velocidades estelar ( $\sigma_*$ ) apresenta uma queda ( $\sigma_*$  - *drop*) em alguns casos (Emsellem et al. 2001; Márquez et al. 2003). Uma possível causa dessa queda é devido a um disco nuclear frio que teria formado novas estrelas recentemente, e estas não possuem o mesmo campo de velocidades das estrelas do bojo (Emsellem et al. 2001). Esta interpretação está de acordo com o modelo evolutivo proposto tendo por base os estudos das populações estelares em torno de núcleos Seyfert (Schmitt 1999; Cid Fernandes et al. 2001; Storch Bergmann et al. 2001, 2000) e da sua relação com o ambiente da galáxia hospedeira (Storch Bergmann et al. 2001; Riffel et al. 2011).

Nas galáxias o estudo da cinemática estelar, em escalas de dezenas de parsecs, é o meio mais robusto de analisar medidas da massa de buracos negros, estudos do potencial gravitacional e distribuição de massa nas galáxias.

Neste trabalho, nos dedicaremos à análise de dados observacionais da região central da galáxia NGC 1320 (= Mrk 607 = MCG - 1-9-36). Esta é uma galáxia espiral do tipo SAd com núcleo ativo, classificada como Sy2. Seus espectros apresentam linhas de emissão de íons com alto potencial de ionização. Em 1974, Markarian and Lipovetsky observaram que a NGC 1320 deveria estar inclinada com relação à linha de visada, formando um par com a galáxia elíptica NGC 1321 (= Mrk 608), do tipo ED, sua companheira (De Robertis & Osterbrock 1985).

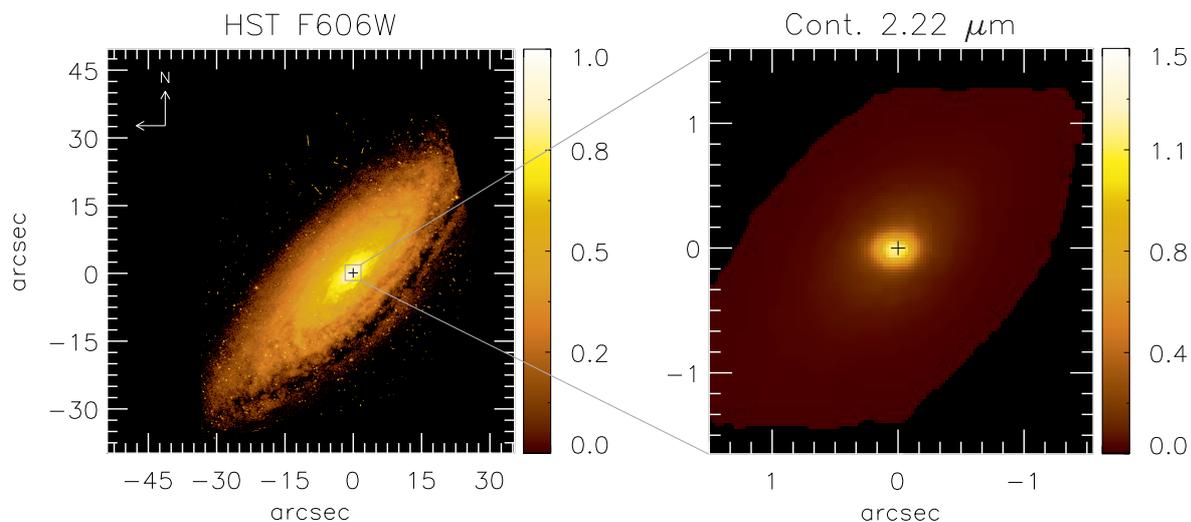
A partir de observações no infravermelho próximo com o instrumento NIFS (*Near-infrared Integral Field Spectrograph*) do telescópio Gemini Norte, apresentamos medidas da cinemática estelar nos 300 pc centrais de NGC 1320 a partir de ajustes das bandas de absorção do CO na banda K. Este trabalho está dividido da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a etapa de observação e uma descrição do instrumento utilizado, além do procedimento de redução de dados adotado e a metodologia utilizada para obtenção da cinemática estelar; na seção 3 são apresentados os resultados da cinemática estelar para região central da galáxia NGC 1320; e, por fim, são apresentadas as conclusões obtidas por meio deste trabalho.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Instrumento NIFS

As observações foram obtidas por meio do espectrógrafo NIFS, que é uma unidade de campo integral (IFU - *Integral Field Unit*) que opera no infravermelho próximo. Na maioria das IFUs, o transporte do sinal do detector até o instrumento é realizando por meio de fibras ópticas. No NIFS, entretanto, esse transporte se dá por meio da reflexão das imagens através de espelhos (*slices*). O instrumento foi construído pela RSAA (*Research School of Astronomy and Astrophysics*) da ANU (*Australian National University*) e montado no Telescópio Gemini Norte em julho em 2005. O instrumento possui um campo de visão de aproximadamente  $3 \times 3$  arcsec<sup>2</sup> dividido em 29 *slices*. A resolução tem tamanhos de  $0,1 \times 0,04$  arcsec<sup>2</sup>, em que 0,1 arcsec corresponde à largura de cada *slice* e 0,04 arcsec corresponde à medida ao longo das *slices*, são valores próximos ao limite de difração do telescópio Gemini, por esta razão o campo de visão resultante é pequeno.

O instrumento foi desenvolvido para que fosse possível obter dados espectroscópicos de alta qualidade e resolução espacial, for-



**Figura 2.** O painel à esquerda mostra uma imagem do Telescópio Espacial Hubble de NGC 1320 através do filtro F606W, com o campo de visão das observações do NIFS indicado pelo quadrado. O painel à direita mostra a imagem do contínuo na banda K obtido a partir das observações do NIFS, em unidades de  $10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ . O símbolo “+” indica a posição do núcleo.

necendo uma espectrografia em três dimensões, duas espaciais e uma espectral ( $\lambda$ ).

O NIFS pode operar juntamente com o módulo de ótica adaptativa ALTAIR. O espectrógrafo utiliza um detector Rockwell HAWAII-2 que possui dimensão de  $2048 \times 2048$  pixels com 2048 pixels espectrais por elemento espacial, e que opera nas bandas de Z, J, H e K, cobrindo a região espectral de  $0,94$  a  $2,50 \mu\text{m}$ .

## 2.2 Observação e Redução de Dados

As observações da galáxia foram realizadas em dezembro de 2012, por meio do instrumento NIFS, o qual operou juntamente com o módulo de ótica adaptativa ALTAIR do Telescópio Gemini Norte, sob o programa GN-2012B-Q-45, constituído de 18 exposições com duração de 500 s para a galáxia, na faixa espectral correspondente à banda K ( $2,1 \mu\text{m} - 2,5 \mu\text{m}$ ).

No painel à esquerda da Figura 2, é possível observar uma imagem em grande escala da galáxia NGC 1320 que foi obtida pelo Telescópio Espacial Hubble usando o filtro F606W. O retângulo presente no centro da imagem mostra a região observada com a IFU do NIFS. No painel à direita é apresentado uma imagem do contínuo na banda K, obtida com o NIFS. O símbolo “+” evidencia a posição do núcleo, definido como o pico da emissão do contínuo.

As observações possuem arquivos do tipo *flat-field*, corrente de escuro (*dark*), lâmpada de calibração em comprimento de onda (ArXe), observações do céu, máscara *ronchi*, estrela padrão e objeto de ciência, este que corresponde à galáxia NGC 1320.

A redução dos dados foi realizada utilizando o *software* IRAF (*Images Reduction and Analysis Facility*), que possui diversos pacotes e tarefas para redução e análise de dados astronômicos. Neste trabalho, foram utilizadas tarefas dos pacotes GNIRS e NIFS os quais fazem parte do pacote GEMINI bem como tarefas padrão do IRAF. Durante o processo de redução foi aplicada a divisão por *flat field*, subtração do céu, calibração em comprimento de onda, correção por distorção espacial, remoção das bandas telúricas e calibração em fluxo. Após estes processos foram criados os cubos

de dados. Estes contém informações espaciais bidimensionais e a informação espectral na terceira dimensão.

Na Figura 3 apresentamos o espectro calibrado obtido em uma abertura de  $3 \times 3 \text{ arcsec}^2$  centrada no núcleo de NGC 1320. Nesta banda, os espectros apresentam intensa emissão da linha coronal do [Ca VIII]  $\lambda 2,3222 \mu\text{m}$  e são contaminados pela emissão de poeira na região próxima ao núcleo. Ainda, foram identificadas as seguintes bandas de absorção do CO:  $^{12}\text{CO}$  2-0,  $^{12}\text{CO}$  3-1,  $^{12}\text{CO}$  4-2 e  $^{12}\text{CO}$  5-3, na sequência no espectro.

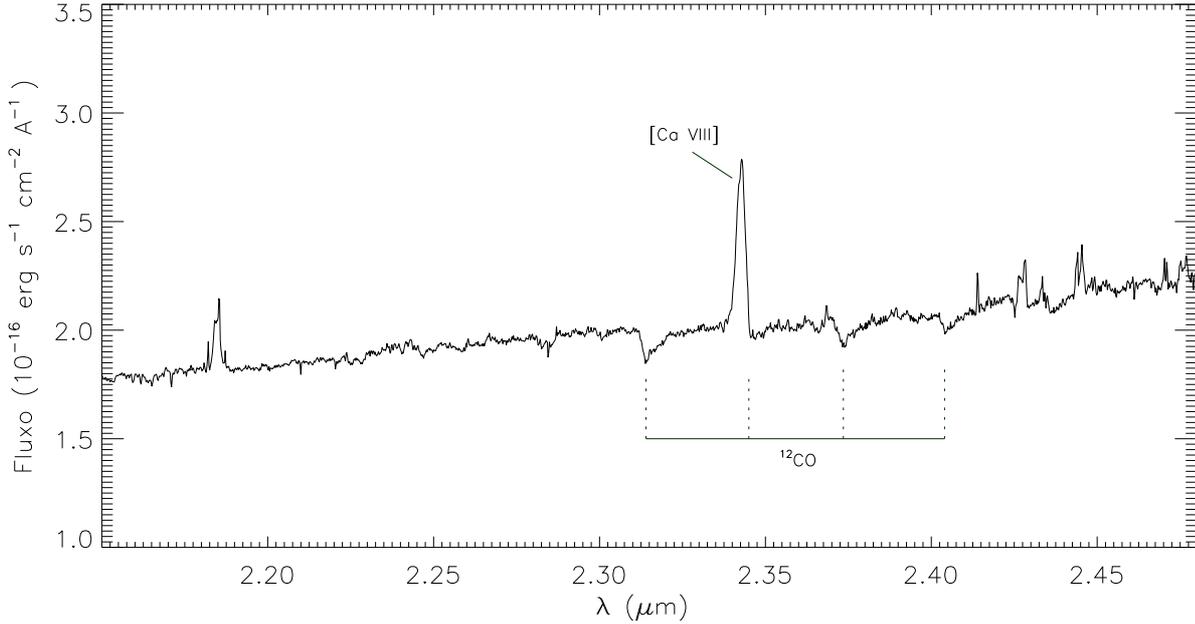
## 2.3 Cinemática Estelar

Para realizar as medidas da cinemática estelar na região central da galáxia NGC 1320 foi utilizado o método pPXF (*Penalized pixel-Fitting*) de Cappellari & Emsellem (2004), realizando o ajuste das bandas de absorção estelar de CO presentes no espectro da galáxia. Nos cubos de dados analisados, este processo foi aplicado utilizando-se um script escrito em linguagem IDL, obtido de [ftp://ftp.strw.leidenuniv.nl/pub/zzz\\_unowned/cervantes/idl/ppxf/](ftp://ftp.strw.leidenuniv.nl/pub/zzz_unowned/cervantes/idl/ppxf/).

O pPXF é um procedimento que utiliza uma base de espectros de estrelas distintas que possam representar as estrelas que produzem o espectro de absorção da galáxia estudada. Para banda K foi utilizada a biblioteca de espectros de estrelas de tipo tardio de Winge, Riffel & Storchi-Bergmann (2009), atualizada por Diniz (2013) com 60 estrelas observadas com os instrumentos GNIRS e NIFS dos telescópios GEMINI. Esse método faz uma relação na qual são cruzados os espectros da biblioteca e o espectro da galáxia. Aplicando-o ao cubo de dados obtido, o mesmo forneceu os seguintes parâmetros: velocidade radial estelar ( $V_*$ ) e dispersão de velocidades estelar ( $\sigma_*$ ).

## 3 RESULTADOS

A fim de descartar a influência da linha de emissão [Ca VIII]  $\lambda 2,3222 \mu\text{m}$  em nossas medidas, escolhemos duas regiões espectrais para obter a cinemática estelar: a primeira (de  $2,258$  a  $2,372 \mu\text{m}$ )



**Figura 3.** Espectro na banda K da galáxia NGC 1320, obtidos para uma abertura de  $3 \times 3 \text{ arcsec}^2$  centrada no núcleo.

inclui a linha do [Ca VIII] e a segunda (de 2,258 a 2,314  $\mu\text{m}$  e de 2,346 a 2,372  $\mu\text{m}$ ) exclui esta linha, juntamente com a banda do CO contaminada ( $^{12}\text{CO}$  3-1). Observamos que as velocidades radiais e as dispersões de velocidades obtidas usando o primeiro intervalo espectral são mais altas na região nuclear, onde a linha do [Ca VIII] está presente, que aquelas obtidas usando o segundo intervalo espectral. Assim, decidimos excluir a banda do CO contaminada dos ajustes onde a linha do [Ca VIII] está presente. No restante do mapa, usamos a primeira faixa espectral.

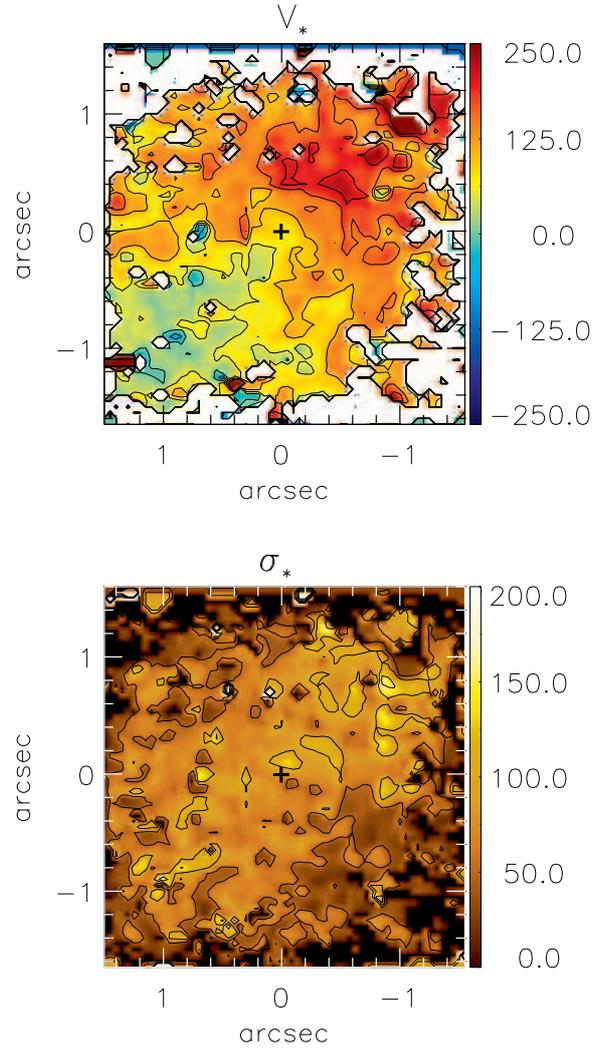
Na Figura 4 apresentamos os resultados para a velocidade  $V_*$  (painel superior) e para a dispersão de velocidades  $\sigma_*$  (painel inferior), que foram obtidos por meio de ajustes das bandas do CO na banda K. O campo de velocidade indica que a região superior, na direção noroeste, de coloração mais avermelhada, está se afastando, enquanto que a região inferior, na direção sudeste, de coloração mais azulada, está aproximando de nós. De um modo geral, o mapa indica um padrão de rotação típico. Dos valores de velocidade deste mapa, subtraímos o valor da velocidade sistêmica da galáxia de 2745  $\text{km s}^{-1}$  obtida no SIMBAD<sup>1</sup>. Assim, o campo de velocidades apresenta uma amplitude de aproximadamente 250  $\text{km s}^{-1}$ . Enquanto que o mapa de dispersão de velocidades estelar possui valores que variam de aproximadamente 0  $\text{km s}^{-1}$  a 200  $\text{km s}^{-1}$ . Não observamos em nossos mapas uma queda no valor da dispersão de velocidades na região próxima ao núcleo (que seria um indicativo de um disco nuclear frio).

#### 4 CONCLUSÕES

A partir de observações no infravermelho próximo, obtivemos o campo de velocidades das estrelas na região central da galáxia NGC 1320. Verificamos um padrão de rotação típico para as estrelas nesta região, e valores com amplitude de aproximadamente 250  $\text{km s}^{-1}$ .

Como perspectiva de sequência deste trabalho, ajustaremos um modelo cinemático aos resultados obtidos. Uma vez que o campo de velocidade estelar é dominado por rotação, podemos modelá-lo como sendo produzido por um potencial gravitacional de Plummer a fim de obter uma nova estimativa da velocidade sistêmica da galáxia, a massa do bojo e a posição do centro cinemático.

<sup>1</sup> <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>



**Figura 4.** Mapas da cinemática estelar na banda K para NGC 1320. No painel superior é mostrado o campo de velocidades radiais e no painel inferior a dispersão de velocidades. A escala de cor está em unidades de  $\text{km s}^{-1}$ . O símbolo “+” indica a posição do núcleo. A orientação é como na Figura 2.

## Referências

- Antonucci R., 1993, *ARA&A*, 31, 473  
 Cappellari M., Emsellem E., 2004, *PASP*, 116, 138  
 Cid Fernandes R., et al., 2001, *ApJ*, 558, 81  
 De Robertis M. M., Osterbrock D. E., 1986, *ApJ*, 301, 98  
 Diniz R. M., 2010, Trabalho de Conclusão de Curso (Universidade Federal de Santa Maria)  
 Diniz M. R., 2013, Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Santa Maria)  
 Emsellem E., et al., 2001, *MNRAS*, 365, 52  
 Ferrarese L., Ford H., 2005, *SSRv*, 116, 523  
 Gebhardt K., et al. 2003, *ApJ*, 583, 92  
 Márquez I., et al., 2003, *A & A*, 409, 459  
 Oliva E., Origlia L., Kotilainen J. K., Moorwood A. F. M., 1995, *A & A*, 301, 55  
 Peterson B. M., 1997, *An introduction to active galactic nuclei*, Vol 117, (Cambridge: Cambridge Univ. Press)  
 Riffel R., et al. 2011, *MNRAS*, 410, 2714  
 Schmitt H. R., Storchi-Bergmann T., Cid Fernandes R., 1999, *MNRAS*, 303, 173  
 Storchi-Bergmann T., et al. 2001, *ApJ*, 559, 147  
 Storchi-Bergmann T., et al. 2000, *ApJ*, 544, 747  
 Tremaine S., et al. 2002, *ApJ*, 574, 740  
 Urry C. M., Padovani P., 1995, *PASP*, 107, 803  
 Winge C., Riffel R. A., Storchi-Bergmann T., 2009, *ApJ Supplement*, 185, 186