

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA

Izabel Cristina Freitas dos Santos

**A EMISSÃO DO GÁS DA REGIÃO DE LINHAS ESTREITAS EM
GALÁXIAS SEYFERT PRÓXIMAS**

Santa Maria, RS
2017

Izabel Cristina Freitas dos Santos

**A EMISSÃO DO GÁS DA REGIÃO DE LINHAS ESTREITAS EM GALÁXIAS SEYFERT
PRÓXIMAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Física, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Física**.

ORIENTADOR: Prof. Rogemar André Riffel

Santa Maria, RS
2017

Santos, Izabel Cristina Freitas dos
A EMISSÃO DO GÁS DA REGIÃO DE LINHAS ESTREITAS EM
GALÁXIAS SEYFERT PRÓXIMAS / Izabel Cristina Freitas dos
Santos.- 2017.
93 p.; 30 cm

Orientador: Rogemar André Riffel
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Física, RS, 2017

1. Núcleo ativo de galáxia 2. Galáxias ativas 3.
Galáxias Seyfert 4. Região de linhas estreitas 5. Mrk 6,
Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058 I. Riffel, Rogemar
André II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

©2017

Todos os direitos autorais reservados a Izabel Cristina Freitas dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Av. Roraima, n° 1000, Campus UFSM, Prédio 70

Fone (0xx) 55 3217 4217; End. Eletr.: izabelfisica@gmail.com

Izabel Cristina Freitas dos Santos

**A EMISSÃO DO GÁS DA REGIÃO DE LINHAS ESTREITAS EM GALÁXIAS SEYFERT
PRÓXIMAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Física, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Física**.

Aprovado em 21 de dezembro de 2017:



Rogemar André Riffel, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Cristina Furlanetto, Dra. (UFRGS)



Dinalva Aires de Sales, Dra. (FURG)

Marcus Vinicius Fontana Copetti, Dr. (UFSM)



Sandro Barboza Rembold, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

*Àquela que invade meus pensamentos continuamente, minha adorável filha Valentina,
e ao meu sobrinho Lucas Pötter (in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho, em especial agradeço:

Ao Prof. Dr. Rogemar André Riffel pela sua orientação, paciência e sabedoria em me ajudar a superar as várias dificuldades encontradas durante o período em que me orientou.

À minha filha Valentina e ao meu marido Ricardo por entenderem a minha ausência da nossa casinha.

À minha mãe, irmãs, mano e sobrinhos por compreenderem que quando não nos encontramos não foi por falta de vontade.

Aos amigos, obrigada pela compreensão de quando não respondi em tempo. Em especial gostaria de agradecer a Ângela e a Giovana que mesmo distantes se fizeram muito presentes, sempre que precisei.

Ao Prof. Dr. Joecir Palandi pela disponibilidade e amizade.

Aos colegas e amigos da 1330 e do LAE que colaboraram quando precisei.

O afastamento concedido pelo Colégio Politécnico da UFSM para a concretização deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

*Brilha, brilha estrelinha
Quero ver você brilhar
Faz de conta que é só minha
Só pra ti irei cantar...*

(Vila Sésamo)

RESUMO

A EMISSÃO DO GÁS DA REGIÃO DE LINHAS ESTREITAS EM GALÁXIAS SEYFERT PRÓXIMAS

AUTORA: Izabel Cristina Freitas dos Santos

ORIENTADOR: Rogemar André Riffel

Os núcleos ativos de galáxias (AGNs) apresentam altas luminosidades ($\geq 10^9 L_{\odot}$) e emitem energia a partir do disco de acreção que está circundando o buraco negro supermassivo (SMBH) central. A região de linhas estreitas (NLR) é a única estrutura do AGN espacialmente resolvida no óptico pelos telescópios atuais. Ela apresenta extensões típicas de algumas centenas de parsecs e é formada por nuvens gasosas de baixas densidades ($\approx 10^3 \text{ cm}^{-3}$). Neste trabalho utilizamos dados espectroscópicos, obtidos com a unidade de campo integral (IFU) do instrumento *Gemini Multi – Object Spectrograph* (GMOS) instalado no telescópio Gemini Norte, com o objetivo de estudar a distribuição, excitação e cinemática do gás da NLR de cinco galáxias Seyfert próximas (Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058). O campo de visão de nossas observações corresponde a região central de $3''.5 \times 5''.0$ – equivalente a extensões típicas que variam de $(0,6 \text{ a } 0,9) \times (1,5 \text{ a } 2,2) \text{ kpc}^2$ nas galáxias. As resoluções espacial e espectral são, respectivamente, de 110 a 280 pc e $\approx 90 \text{ km s}^{-1}$, para uma cobertura espectral de 4300 – 7100 Å. Utilizamos a rotina PROFIT para ajustar curvas Gaussianas aos perfis das linhas de emissão mais intensas dos espectros. A partir dos ajustes, construímos mapas bidimensionais para as distribuições de fluxo, cinemática do gás e razões de intensidades de linhas para as galáxias da amostra. A emissão do gás é consistente com origem em um gás excitado pela radiação do núcleo Seyfert em todo o campo de visão, para todas as galáxias. Entretanto, observa-se gradientes de ionização do gás que estão correlacionados com regiões de maiores dispersão de velocidades as quais são interpretadas como sendo devidas a *outflows* nucleares que atingem velocidades ao longo da linha de visada de $\approx 200 \text{ km s}^{-1}$. *Outflows* bipolares são observados em Mrk 348 e Mrk 79, enquanto em Mrk 1058 apenas um lado (em *blueshifts*) é claramente observado.

Palavras-chave: Galáxias ativas. Galáxias Seyfert. Mrk 6. Mrk 79. Mrk 348. Mrk 607. Mrk 1058.

ABSTRACT

THE GAS EMISSION OF THE NARROW LINE REGION OF SEYFERT NEARBY ACTIVE GALAXIES

AUTHOR: Izabel Cristina Freitas dos Santos

ADVISOR: Rogemar André Riffel

The Active Galactic Nuclei (AGNs) show high luminosities ($\geq 10^9 L_{\odot}$) and emit energy from the accretion disk around the central Supermassive Black Hole (SMBH). The Narrow Line Region (NLR) is the only AGN structure spatially resolved in the optical by current telescopes. It shows extensions typically of a few hundred of parsecs and is formed by low density gaseous clouds ($\approx 10^3 \text{ cm}^{-3}$). In this work, we used data obtained with the Integral Field Unit (IFU) of the Gemini Multi-Object Spectrograph (GMOS) instrument of the Gemini North telescope, to study the gas distribution, excitation and kinematics in the NLR of five nearby Seyfert galaxies (Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058). The data cover the inner $3''.5 \times 5''.0$ – corresponding to physical scales in the range $(0,6 \text{ to } 0,9) \times (1,5 \text{ to } 2,2) \text{ kpc}^2$ at the galaxy – at a spatial resolution ranging from 110 to 280 pc with a spectral coverage of $4300 - 7100 \text{ \AA}$ and spectral resolution of $\approx 90 \text{ km s}^{-1}$. We fitted the line profiles at each spaxel by Gaussian curves using adapted versions of the PROFIT routine and constructed maps for the flux distributions, kinematics and intensity line-ratios for the galaxies of our sample. The gas excitation is Seyfert-like over the whole field-of-view in all galaxies. However, we can see ionization gradients of the gas that are correlated with the highest velocities dispersion regions and we have interpreted them as being due to nuclear outflows that reach line-of-sight velocities up to $\approx 200 \text{ km s}^{-1}$. Bipolar outflows are observed in Mrk 348 and Mrk 79, while in Mrk 1058 only the blueshifted part is clearly observed.

Keywords: Galaxies active. Seyfert galaxies. Mrk 6. Mrk 79. Mrk 348. Mrk 607. Mrk 1058.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Modelo Unificado	16
Figura 1.2 – Toróide de Poeira	17
Figura 1.3 – Galáxia Seyfert NGC 5548	18
Figura 1.4 – Quasar 3C 273	19
Figura 1.5 – Rádio galáxia Centaurus A	21
Figura 1.6 – LINER NGC 4394	22
Figura 1.7 – BLAZAR M 87	23
Figura 2.1 – Imagem da emissão de [OIII] λ 5007 e contornos rádio para Mrk 6	28
Figura 2.2 – Imagem da emissão de [OIII] λ 5007 para Mrk 6	29
Figura 2.3 – Imagem da emissão de [OIII] λ 5007 para Mrk 79	30
Figura 2.4 – Imagem da emissão de [OIII] λ 5007 para Mrk 348	32
Figura 2.5 – Mapas das razões [OIII]/H β , [NII]/H α e $E(B - V)$ para Mrk 348	33
Figura 2.6 – Campos de velocidade para [OIII] λ 5007, H β e H α para Mrk 348	33
Figura 2.7 – Mapas de dispersão de velocidades para [OIII] λ 5007, H β e H α da galáxia Mrk 348	34
Figura 2.8 – Imagem da emissão de [OIII] λ 5007 para Mrk 607	35
Figura 2.9 – Imagem da emissão de [OIII] λ 5007 para Mrk 1058	36
Figura 2.10 – Representação esquemática da IFU do GMOS	39
Figura 2.11 – Representação esquemática de um cubo de dados	44
Figura 3.1 – Imagens em grande escala e de contínuo e espectros da galáxia Mrk 6 ..	46
Figura 3.2 – Imagens em grande escala e de contínuo e espectros da galáxia Mrk 79 ..	47
Figura 3.3 – Imagens em grande escala e de contínuo e espectros da galáxia Mrk 348 ..	48
Figura 3.4 – Imagens em grande escala e de contínuo e espectros da galáxia Mrk 607 ..	49
Figura 3.5 – Imagens em grande escala e de contínuo e espectros da galáxia Mrk 1058 ..	50
Figura 3.6 – Ajuste de curvas Gaussianas para as linhas H β , [OIII] $\lambda\lambda$ 4959, 5007, [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 83 e H α da galáxia Mrk 6	52
Figura 3.7 – Ajuste de curvas Gaussianas para as linhas H β , [OIII] $\lambda\lambda$ 4959, 5007, [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 83 e H α da galáxia Mrk 79	53
Figura 3.8 – Ajuste de curvas Gaussianas para as linhas H β , [OIII] $\lambda\lambda$ 4959, 5007, [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 83 e H α da galáxia Mrk 348	54
Figura 3.9 – Ajuste de curvas Gaussianas para as linhas H β , [OIII] λ 5007, [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 83 e H α da galáxia Mrk 607	55
Figura 3.10 – Ajuste de curvas Gaussianas para as linhas H β , [OIII] $\lambda\lambda$ 4959, 5007, [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 83 e H α da galáxia Mrk 1058	56
Figura 3.11 – Diagrama [NII] λ 6583/H α vs. [OIII] λ 5007/H β de Stasińska et al. (2006) ..	57
Figura 3.12 – Diagrama dos níveis de energia da configuração p ³ do [SII]	58
Figura 3.13 – Dependência entre as razões [OII] λ 3729/ λ 3726 e [SII] λ 6716/ λ 6731 com a densidade eletrônica	60
Figura 4.1 – Diagrama [NII] λ 6583/H α vs. [OIII] λ 5007/H β	64
Figura 4.2 – Mapas bidimensionais para Mrk 6	69
Figura 4.3 – Mapas bidimensionais para Mrk 79	71
Figura 4.4 – Mapas bidimensionais para Mrk 348	73
Figura 4.5 – Mapas bidimensionais para Mrk 607	75
Figura 4.6 – Mapas bidimensionais para Mrk 1058	77
Figura 4.7 – Distribuições de fluxo para H β , [OI] λ 6300, [NII] λ 6583 e [SII] λ 6731 ...	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Registro das observações.....	38
Tabela 2.2 – Campos do IFU do GMOS*	40
Tabela 2.3 – Dimensões dos cubos de dados.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ACS</i>	Advanced Camera for Surveys
<i>AGN</i>	Active Galactic Nuclei
<i>APEX</i>	Atacama Pathfinder Experiment
<i>BLR</i>	Broad Line Region
<i>BLRG</i>	Broad Line Radio Galaxy
<i>CCD</i>	Charge Coupled Device
<i>CFHT</i>	Canada France Hawaii Telescope
<i>ENLR</i>	Extended Narrow Line Region
<i>FOC</i>	Faint Object Camera
<i>FWHM</i>	Full Width at Half Maximum
<i>GMOS</i>	Gemini Multi-Object Spectrograph
<i>HST</i>	Hubble Space Telescope
<i>IDL</i>	Interactive Data Language
<i>IFS</i>	Integral Field Spectroscopy
<i>IFU</i>	Integral Field Unit
<i>IRAF</i>	Image Reduction and Analysis Facility
<i>LINER</i>	Low Ionization Nuclear Emission Line Region
<i>MERLIN</i>	Multi-Element Radio Linked Interferometer Network
<i>MPG/ESO</i>	Max Planck Gesellschaft / European Southern Observatory
<i>NICMOS</i>	Near Infrared Camera and Multi-object Spectrometer
<i>NIFS</i>	Near-Infrared Integral Field Spectrograph
<i>NLR</i>	Narrow Line Region
<i>NLRG</i>	Narrow Line Radio Galaxy
<i>OASIS</i>	Optically Adaptive System for Imaging Spectroscopy
<i>OVV</i>	Optically Violent Variable
<i>PROFIT</i>	Emission Line PROfile FITting routine
<i>QSO</i>	Quasi-Stellar Object

<i>QUASAR</i>	Quasi-Stellar Radio Source
<i>SMBH</i>	Supermassive Black Hole
<i>SNe</i>	Supernovae
<i>STIS</i>	Space Telescope Imaging Spectrograph
<i>VLA</i>	Very Large Array
<i>VLBI</i>	Very Long Baseline Interferometry
<i>WFC3</i>	Wide Field Camera 3
<i>WFI</i>	Wide Field Imager
<i>WFPC2</i>	Wide Field and Planetary Camera 2
<i>WHT</i>	William Herschel Telescope

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Ascensão reta, em (h min s)
δ	Declinação, em ($^{\circ}$ ' ")
μ	Micro, $\mu = 10^{-6}$
σ	Dispersão de velocidades, em km s^{-1}
\AA	Ångström, $\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$
<i>arcsec</i>	Segundos de arco, (")
<i>c</i>	Velocidade da luz no vácuo, $c = 3 \times 10^8 \text{ km s}^{-1}$
<i>erg</i>	Unidade de energia, $\text{erg} = 10^{-7} \text{ J}$
<i>eV</i>	Elétron-Volt, $\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
<i>G</i>	Constante Gravitacional, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
L_{bol}	Luminosidade bolométrica, em ergs s^{-1}
L_{\odot}	Luminosidade solar, $L_{\odot} = 3,83 \times 10^{33} \text{ ergs s}^{-1}$
M_B	Magnitude absoluta
M_{\bullet}	Massa do buraco negro supermassivo
M_{\odot}	Massa solar, $M_{\odot} = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
N_e	Densidade eletrônica, em cm^{-3}
<i>P.A.</i>	Ângulo de posição, em graus ($^{\circ}$)
<i>pc</i>	Parsec, $\text{pc} = 3,086 \times 10^{18} \text{ cm} = 3,26156 \text{ anos-luz}$
R_S	Raio de Schwarzschild
T_e	Temperatura eletrônica, em K
V_{LOS}	Line-of-Sight Velocity
<i>vs.</i>	Versus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	NÚCLEOS ATIVOS DE GALÁXIAS	14
1.1.1	Galáxias Seyfert	17
1.1.2	Quasares	19
1.1.3	Rádio galáxias	20
1.1.4	LINERs	20
1.1.5	BLAZARs	22
1.2	OUTFLOWS DE AGNS	23
1.3	MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	25
2	AMOSTRA, OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DE DADOS	27
2.1	AMOSTRA	27
2.1.1	Mrk 6	27
2.1.2	Mrk 79	29
2.1.3	Mrk 348	31
2.1.4	Mrk 607	34
2.1.5	Mrk 1058	35
2.2	OBSERVAÇÕES	36
2.2.1	O instrumento GMOS	39
2.3	REDUÇÃO DE DADOS	40
2.3.1	Determinação do <i>trim</i>	40
2.3.2	Subtração do <i>bias</i>	41
2.3.3	Divisão por <i>flat – field</i>	41
2.3.4	Correção por <i>twilight</i>	41
2.3.5	Remoção dos raios cósmicos	42
2.3.6	Calibração em comprimento de onda	42
2.3.7	Subtração da emissão do céu	42
2.3.8	Calibração em fluxo	43
2.3.9	Criação dos cubos de dados	43
2.3.10	Combinação dos cubos individuais de cada exposição	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	EXEMPLOS DE ESPECTROS DAS GALÁXIAS	45
3.2	AJUSTE DOS PERFIS DAS LINHAS DE EMISSÃO	51
3.3	DIAGRAMAS BPT	53
3.4	MEDIDAS DE DENSIDADE ELETRÔNICA	58
3.5	AVERMELHAMENTO	59
4	RESULTADOS	63
4.1	DIAGRAMA [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ vs. [O III] $\lambda 5007/H\beta$	63
4.2	ORGANIZAÇÃO DOS MAPAS BIDIMENSIONAIS	64
4.3	MRK 6	66
4.4	MRK 79	68
4.5	MRK 348	70
4.6	MRK 607	72
4.7	MRK 1058	74
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
5.1	MRK 6	79

5.2	MRK 79	80
5.3	MRK 348	81
5.4	MRK 607	82
5.5	MRK 1058	83
6	CONCLUSÕES	84
6.1	PERSPECTIVAS	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 NÚCLEOS ATIVOS DE GALÁXIAS

Galáxias cujo núcleo apresenta intensa emissão de energia, que não pode ser atribuída somente a presença de estrelas, são chamadas de galáxias ativas e seus núcleos são denominados núcleos ativos de galáxias (AGN - *Active Galactic Nuclei*). Os AGNs são extremamente brilhantes e compactos, possuem raios menores que 1 pc (Padmanabhap, 2006) e abrigam um buraco negro supermassivo (SMBH - *Supermassive Black Hole*) em seu centro (Magorrian et al., 1998; Ferrarese; Merritt, 2000; Gebhardt et al., 2000; Tremaine et al., 2002). A atividade dos AGNs está associada a captura de matéria pelo SMBH central através do disco de acreção que faz com que estes emitam radiação desde bandas rádio até raios gama, sendo, portanto, emissores em todas as faixas do espectro eletromagnético (SPARKE; GALLAGHER, 2007).

A massa de um SMBH varia entre $10^6 \lesssim M_{\bullet} \lesssim 10^{10} M_{\odot}$ (Ferrarese; Ford, 2005), apresentando, conseqüentemente, $10^9 \lesssim R_S \lesssim 10^{13}$ m (onde, R_S é o raio de Schwarzschild). O raio de Schwarzschild, dado por $R_S = (2GM_{\bullet})/c^2$, é a distância a partir do SMBH na qual nenhuma outra força consegue superar a força gravitacional, nem mesmo fótons extremamente energéticos, ou seja, é a distância na qual sua velocidade de escape é igual ao módulo da velocidade da luz (c). Na expressão, G é a constante gravitacional e M_{\bullet} é a massa do SMBH.

Os AGNs podem ser classificados em diferentes categorias, que são baseadas de acordo com a luminosidade, a natureza da fonte ionizante e inclinação da fonte em relação a linha de visada do observador. Portanto, o ângulo de visada influencia fortemente na classificação destes objetos e esta é a ideia fundamental do Modelo Unificado para AGNs (Antonucci, 1993; Urry; Padovani, 1995). A Figura 1.1 apresenta uma representação esquemática do Modelo Unificado para os AGNs. No centro da figura pode-se observar o SMBH rodeado por uma região denominada disco de acreção. A espessura do disco de acreção é muito menor do que seu raio, sendo também chamado de disco fino. O material existente no disco alimenta o SMBH. Os gases que constituem o disco se movem em órbitas aproximadamente circulares, no entanto a viscosidade existente nesse meio faz com que parte desse material perca momento angular e espirale em direção ao SMBH. Durante essa queda, a energia potencial gravitacional do material é transformada em energia cinética e em energia radiativa, a qual é emitida para fora do disco. O disco de acreção localiza-se em uma região além do raio de Schwarzschild (Choudhuri, 1998). A Figura 1.1 também mostra dois jatos colimados de partículas relativísticas emitidos em sentidos opostos com origem na região mais interna do disco de acreção e perpendiculares a este. Acredita-se

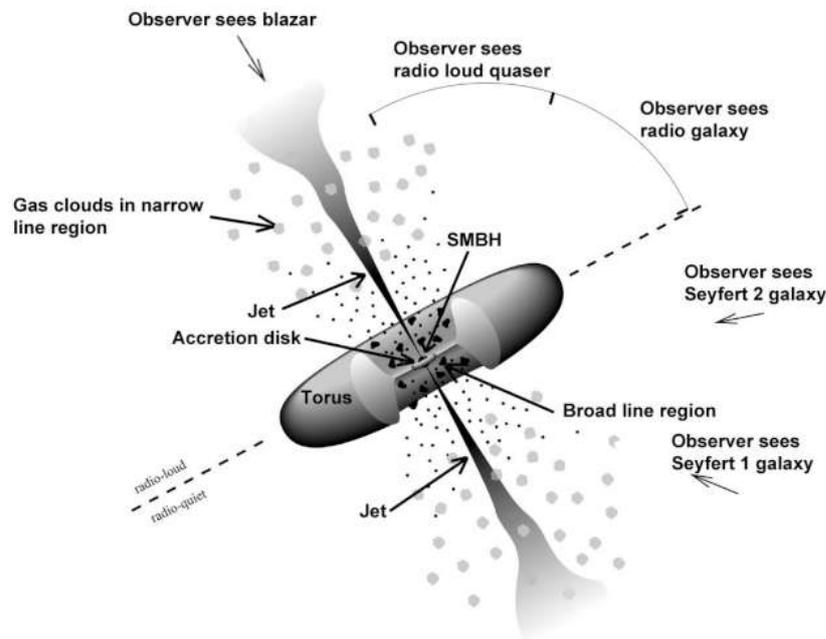
que o campo magnético do disco de acreção seja responsável pela expulsão e colimação dos jatos de partículas. Assim, parte do material do disco de acreção é capturado pelo SMBH e a outra é ejetada na forma dos jatos relativísticos. A aceleração das partículas que constituem o jato faz com que estas emitam radiação em vários comprimentos de onda.

Envolvendo o disco de acreção tem-se um toróide de gás molecular denso e quente, rico em poeira (toróide de poeira). De acordo com o Modelo Unificado o toróide de poeira é responsável pela absorção de grande parte da radiação que o intercepta. Além de absorvê-la, ele reemite radiação em comprimentos de onda no infravermelho. Quando a linha de visada intercepta o toróide este bloqueia a radiação vinda das regiões mais internas do AGN e assim o AGN pode ser classificado em diferentes categorias. Vale a pena ressaltar que a Figura 1.1 apresenta somente uma representação esquemática para a geometria do toróide. Atualmente, o modelo mais aceito para o toróide de poeira é que este seja composto por nuvens com a densidade destas variando com a distância em relação ao disco de acreção (Nenkova et al., 2008). À direita da Figura 1.2 há uma representação do modelo proposto por Nenkova et al. (2008). Esta figura mostra, à esquerda a geometria proposta no Modelo Unificado, com R_d sendo o raio interno, R_o o raio externo e i o ângulo de inclinação do eixo perpendicular ao toróide e o observador. A figura da direita mostra o modelo atual, com densidade de nuvens variável.

Ainda na Figura 1.1 podemos observar a região de linhas largas (BLR - *Broad Line Region*) e a região de linhas estreitas (NLR - *Narrow Line Region*). A BLR é a região onde são produzidas as linhas de emissão permitidas largas. Como exemplo, podemos citar as linhas dos elementos/íons H I, He I e He II (Osterbrock; Ferland, 2006). Todas as linhas largas de AGNs são permitidas e são originadas na BLR onde a densidade eletrônica é tão alta, chegando a $\approx 10^9 \text{ cm}^{-3}$, que todas as possíveis transições eletrônicas nas quais são produzidas linhas proibidas são desexcitadas colisionalmente antes de acontecerem (Osterbrock; Ferland, 2006; Schneider, 2006; SPARKE; GALLAGHER, 2007). A BLR é tão pequena (horas-luz ou semanas-luz) que não pode ser espacialmente resolvida pelos telescópios atuais. Estas dimensões foram estimadas através da técnica de mapas de reverberação (Peterson et al., 2004).

Na Figura 1.1 podemos observar que a região de linhas estreitas localiza-se além do toróide de poeira, em distâncias que variam de dezenas a centenas de parsecs em relação ao SMBH central. A maior parte das linhas de emissão estreitas existente nos espectros, sejam permitidas ou proibidas, de AGNs são formadas nessa região. Já que linhas proibidas são produzidas nessa região significa que as densidades eletrônicas são suficientemente baixas a ponto de um átomo/íon ser desexcitado radiativamente sem que ocorra desexcitação colisional. A maioria das linhas estreitas apresentam largura a meia altura (FWHM - *full width at half maximum*) do perfil de $\approx 400 \text{ km s}^{-1}$, sendo bem menores que as observadas para a BLR (5000 km s^{-1}).

Figura 1.1 – Modelo Unificado para AGNs.



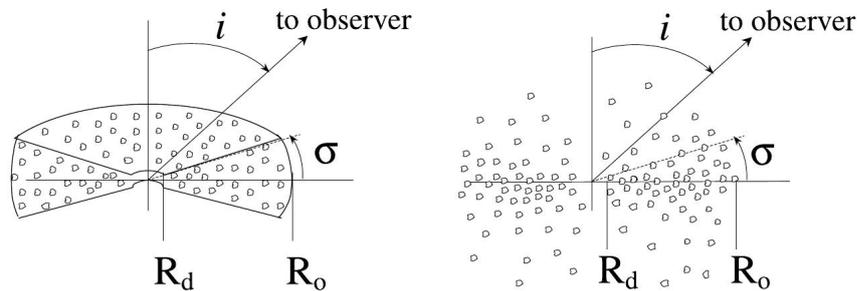
Fonte: <https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/eteu/agn/>

Valores típicos de densidade eletrônica e temperatura eletrônica encontrados para NLR em galáxias Seyfert são: $10^2 < N_e < 10^4 \text{ cm}^{-3}$ e $T_e \approx 10^4 \text{ K}$ (PETERSON, 1997; Osterbrock; Ferland, 2006).

A NLR é a única componente dos AGNs que é espacialmente resolvida pelos telescópios atuais, em comprimentos de onda ópticos. Os gases presentes nesta região não estão distribuídos de forma homogênea, ou seja, a estrutura da NLR varia fortemente com a distância em relação ao centro do AGN (Schneider, 2006). Os gases estão distribuídos em nuvens de baixa densidade na NLR e são, em geral, fotoionizados pela emissão contínua do AGN (Fischer et al., 2013). A fotoionização acontece quando o átomo absorve um fóton e emite um fotoelétron com energia igual a diferença de energia existente entre a energia do fóton incidente e o potencial de ionização do átomo. Estas nuvens de gás são expelidas da parte mais externa do disco de acreção e formam a NLR. Muitas destas regiões apresentam formato bicônico com o vértice deste situado no centro do AGN (Pogge, 1988; Schmitt; Storchi-Bergmann; Baldwin, 1994). Os ângulos de abertura destas estruturas com formato cônico variam entre $\approx 30^\circ$ e 100° , apresentando extensões típicas no intervalo de ≈ 1 a 1000 pc (Fischer et al., 2013). O toróide de poeira pode ser o responsável pela colimação destes cones (Antonucci; Miller, 1985). Quando a NLR apresenta emissão em distâncias superiores a 1 kpc , esta região é chamada de região de linhas estreitas estendida (ENLR - *Extended Narrow Line Region*). A ENLR apresenta menor brilho superficial e menor grau de ionização do gás quando comparada a NLR.

As principais classificações para os AGNs são: quasar (*Quasi – Stellar Radio*

Figura 1.2 – À direita exibimos uma representação esquemática do toróide de poeira composto por nuvens. À esquerda, toróide proposto no Modelo Unificado.



Fonte: Nenkova et al. (2008)

Source), galáxia Seyfert, rádio galáxia, LINER e BLAZAR.

Na Figura 1.1 podemos ver as diferentes orientações para o observador e a classificação do AGN nestas posições. A seguir faremos uma descrição abordando as principais características destes objetos.

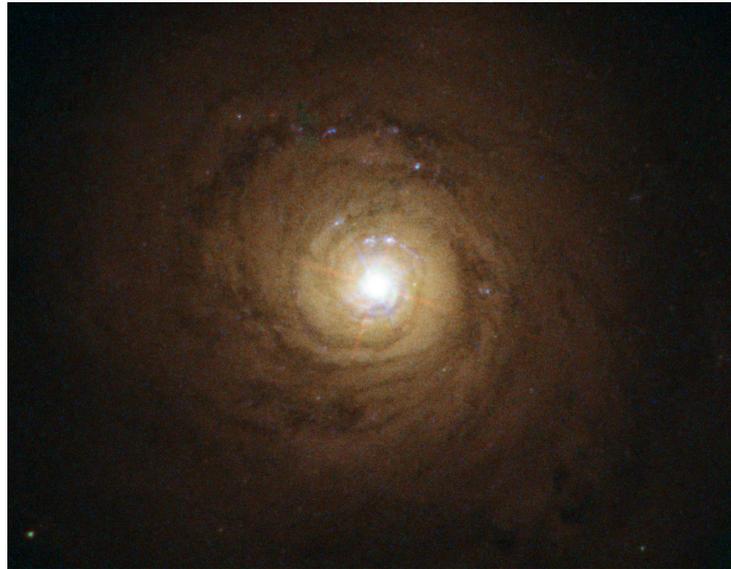
1.1.1 Galáxias Seyfert

As galáxias Seyfert foram os primeiros AGNs a serem detectados (1908). No entanto, só em 1943 Carl Seyfert dedicou-se ao estudo destes objetos e a partir daí surgiu esta nomenclatura. Um critério utilizado para classificá-la como Seyfert é se o núcleo ativo apresenta magnitude absoluta no azul $M_B > -21,5 + 5 \log h_o$ (Schmidt; Green, 1983), onde $h_o = H/100 \text{ kms}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ e H é a constante de Hubble. A Figura 1.3 apresenta uma imagem da galáxia Seyfert NGC 5548, obtida com as câmeras ACS (ACS - *Advanced Camera for Surveys*) e WFC3 (WFC3 - *Wide Field Camera 3*) do Telescópio Espacial Hubble (HST - *Hubble Space Telescope*) em comprimentos de onda no ultravioleta e visível. Observa-se um alto contraste entre as emissões da região nuclear e da galáxia hospedeira.

A quantidade de energia emitida a cada segundo pelo núcleo de uma galáxia Seyfert varia entre $10^{43} < L_{Bol} < 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$, sendo comparável a energia emitida por todas as estrelas da galáxia hospedeira (PETERSON, 1997; Fischer et al., 2013). L_{Bol} é a luminosidade integrada em todos os comprimentos de onda. A maioria dos núcleos do tipo Seyfert são hospedados por galáxias espirais com ou sem barra (Adams, 1977). O espectro da região central de uma galáxia Seyfert possui fortes linhas de emissão de alta ionização. O gás de alta ionização responsável pela emissão destas linhas não pode ser originado a partir de fótons emitidos por estrelas jovens da galáxia, sendo necessário a presença de fótons mais energéticos.

As galáxias Seyfert são classificadas em dois grandes grupos, as Seyfert do tipo 1 e as do tipo 2, conforme proposto inicialmente por Khachikian e Weedman (1974). As

Figura 1.3 – Imagem da galáxia Seyfert NGC 5548.



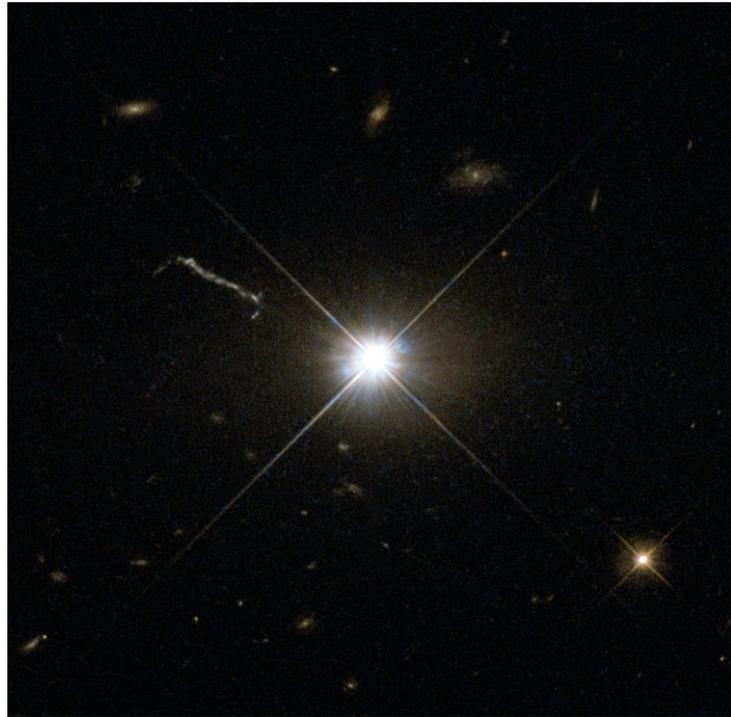
Fonte: <http://www.spacetelescope.org/images/heic1413a/>

galáxias Seyfert 1 apresentam tanto linhas de emissão permitidas largas como linhas proibidas estreitas. As linhas de emissão permitidas apresentam larguras que correspondem a velocidades que variam de 1 a $10 \times 10^3 \text{ km s}^{-1}$ enquanto que a maioria das linhas proibidas apresentam valores típicos da FWHM de $\approx 400 \text{ km s}^{-1}$, embora este intervalo seja mais amplo, variando entre $200 \lesssim \text{FWHM} \lesssim 900 \text{ km s}^{-1}$ (PETERSON, 1997). As galáxias Seyfert do tipo 2 possuem apenas linhas estreitas, sejam elas permitidas ou proibidas com FWHM típicas de 400 km s^{-1} (Schneider, 2006), semelhantes as larguras das linhas estreitas vistas nas galáxias Seyfert 1.

Além da diferença entre as larguras das linhas de emissão, estas duas classes também diferem em relação a emissão do contínuo em comprimentos de onda do óptico e ultravioleta. Enquanto as Seyfert do tipo 1 não apresentam contínuo estelar, o contínuo das Seyfert do tipo 2 é dominado por emissão das estrelas da galáxia hospedeira (Fischer et al., 2013).

Posteriormente, outras subdivisões foram apresentadas, baseadas apenas nos espectros ópticos, para estas classes, que são elas, Seyfert 1.2, 1.5, 1.8 e 1.9 (Osterbrock, 1977, 1981). Nas galáxias Seyfert 1.2, a intensidade da componente estreita da linha de emissão para $H\beta$ é intermediária a mesma linha emitida por Seyfert 1 e 1.5. Àquelas galáxias cuja intensidade das componentes estreita e larga para a linha de emissão $H\beta$ são semelhantes são denominadas Seyfert 1.5. Nas Seyfert 1.8 é observado que as linhas de emissão $H\beta$ e $H\alpha$ apresentam componentes largas e fracas. Quando somente a linha de emissão $H\alpha$ apresenta uma componente alargada e fraca a galáxia é classificada como Seyfert 1.9.

Figura 1.4 – Imagem do quasar 3C 273.



Fonte: <http://www.spacetelescope.org/images/potw1346a/>

1.1.2 Quasares

A energia emitida por um quasar chega a superar a emitida pelas estrelas da galáxia hospedeira por um fator de 100 (PETERSON, 1997). Por isso, na maioria deles é difícil observar a galáxia hospedeira, pois a luminosidade do quasar ofusca o brilho desta, mas é um consenso atual que todos eles estão contidos em um galáxia, pois em alguns deles é possível detectar-se emissão difusa ao seu redor, devido a populações estelares. Estes são os objetos mais luminosos entre os AGNs ($10^{45} < L_{bol} < 10^{48} \text{ erg s}^{-1}$) (Runnoe; Brotherton; Shang, 2012) e estão entre os mais energéticos do universo. De acordo com o critério estabelecido por Schmidt e Green (1983), a magnitude absoluta nuclear é dada por $M_B < -21,5 + 5 \log h_0$. Os quasares emitem radiação em todas as faixas do espectro eletromagnético (Schneider, 2006), no entanto alguns destes objetos não apresentam emissão rádio muito significativa sendo chamados de objeto quase estelar (QSO - *Quasi - Stellar Object*). Todos os quasares emitem intensamente na região espectral do ultravioleta, são emissores de linhas largas e apresentam fluxo contínuo variável no tempo. A Figura 1.4 mostra uma imagem do quasar 3C 273 obtida com a câmera WFPC2 (WFPC2 - *Wide Field and Planetary Camera 2*) do HST no visível.

1.1.3 Rádio galáxias

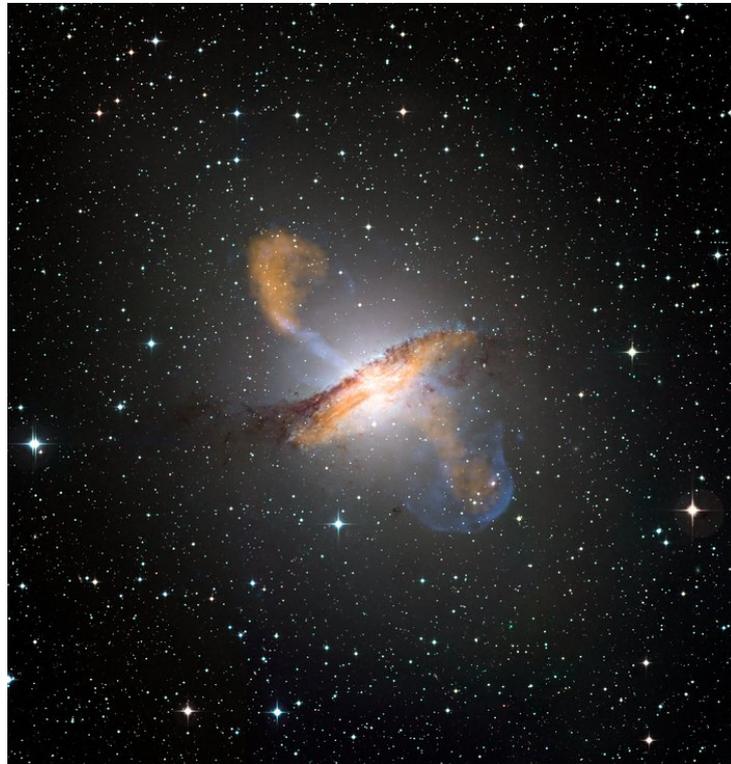
As rádio galáxias apresentam altas luminosidades em comprimentos de onda rádio, e essa é uma das características que as difere das galáxias Seyfert pois sua luminosidade e demais características espectrais são bastante similares. Além disso, as galáxias hospedeiras deste tipo de AGNs são geralmente classificadas morfologicamente como elípticas, enquanto que os núcleos Seyfert são vistos em galáxias espirais. As rádio galáxias são divididas em duas subclasses: as rádio galáxias de linhas largas (BLRGs - *Broad Line Radio Galaxies*) que apresentam espectros óticos cujas características são similares aos de uma galáxia Seyfert 1, ou seja, apresentam linhas permitidas largas e estreitas e linhas proibidas estreitas e as rádio galáxias de linhas estreitas (NLRGs - *Narrow Line Radio Galaxies*) cujos espectros assemelham-se aos de Seyfert 2, os quais apresentam apenas linhas estreitas, sejam permitidas ou proibidas. A Figura 1.5 mostra uma imagem da rádio galáxia Centaurus A. Esta imagem foi construída a partir dos dados obtidos com três instrumentos operando em diferentes comprimentos de onda: $870\ \mu\text{m}$ da câmera LABOCA montada no telescópio APEX (APEX - *Atacama Pathfinder Experiment*), em laranja, raios X com o satélite Chandra, em azul e óptico com o instrumento WFI (WFI - *Wide Field Imager*) montado no telescópio MPG/ESO (MPG/ESO - *Max Planck Gesellschaft / European Southern Observatory*), nas demais cores.

1.1.4 LINERs

As regiões de linhas de emissão nuclear de baixa ionização (LINER - *Low Ionization Nuclear Emission Line Region*) são os AGNs que apresentam as menores luminosidades entre todos os núcleos ativos ($10^{42} < L_{\text{Bol}} < 10^{43}\ \text{erg s}^{-1}$). Seus espectros possuem linhas de emissão intensas originadas em gás de mais baixa ionização, quando comparadas àquelas vistas em espectros de outros AGNs. Nos LINERs a linha de emissão [N II] $\lambda 6583$ é mais intensa que a linha de emissão do $\text{H}\alpha$, o que não acontece em outros AGNs, como por exemplo em Seyfert (SPARKE; GALLAGHER, 2007).

Assim como as galáxias Seyfert 1 e as BLRGs, alguns LINERs apresentam componentes largas para as linhas de emissão $\text{H}\alpha$ e $\text{H}\beta$, por exemplo, além de linhas estreitas em seus espectros. Estes tipos de objetos são chamados de LINERs do tipo 1. Os espectros de LINERs do tipo 2 apresentam apenas linhas de emissão estreitas, cujas larguras assemelham-se àquelas observadas em Seyfert 2, ou seja, da ordem de $400\ \text{km s}^{-1}$. A Figura 1.6 apresenta uma imagem de um LINER, obtida com as câmeras ACS e WFPC2 do HST em comprimentos de ondas no óptico e infravermelho.

Figura 1.5 – Imagem composta da rádio galáxia Centaurus A. Observações no infravermelho são representadas em laranja, raios X em azul e óptico nas demais cores da imagem.



Fonte: <https://www.eso.org/public/brazil/images/eso0903a/>

Figura 1.6 – Imagem do LINER NGC 4394.

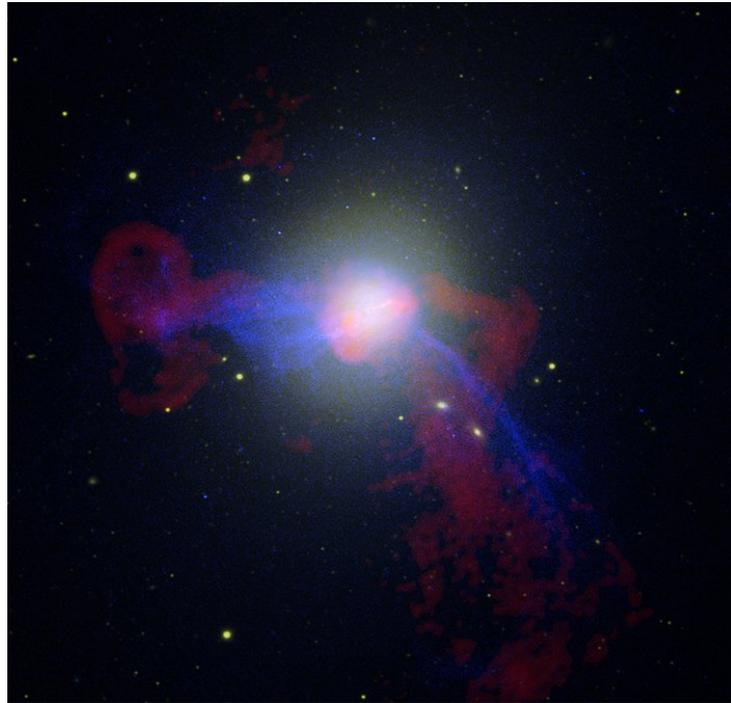


Fonte: <http://www.spacetelescope.org/images/potw1618a/>

1.1.5 BLAZARs

Os BLAZARs são geralmente divididos em duas classes: os OVV (*OVV - Optically Violent Variable*) e os Objetos BL Lac. Ambos são emissores em comprimentos de onda rádio e geralmente se abrigam no núcleo de galáxias elípticas. Estes objetos são observados somente quando a linha de visada está na mesma direção do jato de partículas relativísticas. Apresentam variabilidade temporal no contínuo em todo o intervalo espectral. A principal distinção entre as duas classes é que os Objetos BL Lac não apresentam linhas de emissão e/ou absorção fortes em seus espectros (PETERSON, 1997; SPARKE; GALLAGHER, 2007). A Figura 1.7 mostra uma imagem composta do BLAZAR M 87 que foi obtida em três intervalos espectrais. O amarelo representada a radiação obtida com a câmera ACS do HST no visível. A cor azul representa a imagem em raios X obtida através do satélite Chandra. Os dados rádio são representados em vermelho e foram obtidos com o VLA (*VLA - Very Large Array*).

Figura 1.7 – Imagem composta do AGN M87, classificado como BLAZAR. Observações rádio são representadas em vermelho, raios X em azul e óptico em amarelo.



Fonte: <http://www.spacetelescope.org/images/heic0815j/>

1.2 OUTFLOWS DE AGNS

Os processos físicos de alimentação (*feeding*) e retroalimentação (*feedback*) relacionados ao crescimento do SMBH em suas galáxias hospedeiras ocorrem na vizinhança do núcleo da galáxia (≈ 1 kpc) quando ele torna-se ativo devido à acreção de matéria ao SMBH (Ferrarese; Ford, 2005; Hopkins; Quataert, 2010; Kormendy; Ho, 2013). A radiação emitida pelo AGN ilumina e ioniza o gás nas proximidades do núcleo, formando a NLR. Os ventos emitidos do disco de acreção interagem com o gás e produzem *outflows* na NLR, os quais atingem velocidades de centenas de km s^{-1} (Elvis, 2000; Das et al., 2006; Ciotti; Ostriker; Proga, 2010; Storchi-Bergmann et al., 2010). Jatos de partículas relativísticas que são emitidos das partes mais internas do disco de acreção também interagem com o gás na NLR. Ambos tipos de *outflow* produzem *feedback*, que é um ingrediente necessário nos modelos de evolução de galáxias evitando a produção de galáxias muito massivas (Fabian, 2012). *Inflows* também têm sido observados (Riffel et al., 2008; Riffel; Storchi-Bergmann; Winge, 2013; Crenshaw et al., 2010; Schnorr-Müller et al., 2011, 2014b). A importância da NLR se dá devido a esta região ser espacialmente resolvida e apresentar linhas de emissão intensas, permitindo a observação dos efeitos de *feeding* e *feedback* ocorridos nesta região.

As primeiras imagens obtidas para a NLR, adquiridas a partir de observações reali-

zadas com o VLA em 3,6, 6 e 20 cm, (Wilson; Tsvetanov, 1994) revelam um formato cônico, comprovando o Modelo Unificado para AGNs (Antonucci, 1993). Além disso, espectroscopia de fenda longa obtida para algumas galáxias Seyfert revelam *outflows* ao longo destes cones (Storchi-Bergmann; Wilson; Baldwin, 1992; Das et al., 2006; Crenshaw et al., 2010). Entretanto, imagens de banda estreita para o $[O III] \lambda 5007$, obtidas com o HST, da NLR para uma amostra de galáxias selecionadas a partir de suas luminosidades em $60 \mu m$, mostram que a morfologia cônica é mais a exceção do que a regra (Schmitt et al., 2003). Estes autores mostram que a NLR das galáxias Seyfert 1 são mais circulares e concentradas que a NLR das Seyfert 2. Além disso, um estudo mais recente, usando dados de fenda longa obtidos com o instrumento STIS (STIS - *Space Telescope Imaging Spectrograph*) do HST para uma amostra de 48 AGNs, mostra que destas apenas 35 apresentaram NLR estendidas (Fischer et al., 2013). E, somente 1/3 delas possui *outflows*, os outros 2/3 são classificadas como “ambíguas” ou “complexas”.

Os *feedbacks* gerados a partir de explosões supernovas (SNe - *Supernovae*) pouco influenciam no desenvolvimento de galáxias massivas, porém estão diretamente relacionados com a evolução de galáxias de baixa massa. Os *feedbacks* do AGN liberam uma quantidade de energia muito superior àquelas geradas pelos *feedbacks* de SNe e portanto podem ser os responsáveis pelo não crescimento excessivo da galáxia hospedeira, pois estes são resultantes da relação existente entre as massas do SMBH e da galáxia hospedeira. De fato, os *outflows* gerados a partir do disco de acreção podem controlar a formação estelar, pois impedem que o gás colapse e forme novas estrelas, regulando assim, o crescimento do bojo da galáxia (Fabian, 2012).

O *feedback* de AGN pode ocorrer de duas maneiras, o modo quasar e o modo rádio. Os dois modos acontecem quando há fluxo de gás durante o processo de acreção de matéria ao buraco negro. A diferença entre eles se dá devido a intensidade no fluxo de gás. O *feedback* do modo quasar é originado em AGNs extremamente luminosos apresentando, portanto, um fluxo de gás maior do que àquele ocorrido para o modo rádio, que ocorre em AGNs menos luminosos. A atividade de um AGN pode gerar *feedback* positivo, aumentando assim a taxa de formação estelar, a qual acontece devido a compressão de nuvens ocorrida devido aos *outflows* (Zinn et al., 2013). A região onde ocorre o *feedback* positivo possui pressão induzida pelo AGN maior que a pressão dinâmica (Blitz; Rosolowsky, 2006). Isso provoca uma aceleração no processo de formação de nuvens moleculares aumentando assim, a taxa de formação estelar. Por outro lado, simulações numéricas demonstram que o aumento de pressão ocorrido devido a interação entre um poderoso jato emitido a partir de um AGN e o disco de uma galáxia de alto *redshift* comprime o gás do disco e aumenta a formação de estrelas (Gaibler et al., 2012). O *feedback* de AGN também pode agir no sentido de suprimir a formação estelar (Page et al., 2012).

1.3 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

A técnica de espectroscopia de campo integral (IFS - *Integral Field Spectroscopy*) em grandes telescópios é uma poderosa ferramenta que pode ser utilizada para mapear a emissão e cinemática da NLR de galáxias próximas (Riffel et al., 2006; Barbosa et al., 2009; Riffel; Storch-Bergmann, 2011, 2011; Müller-Sánchez et al., 2011; Harrison et al., 2014; Davies et al., 2014; Diniz et al., 2015; Lin et al., 2016; Fischer et al., 2017; Müller-Sánchez et al., 2017; Wylezalek et al., 2017; da Silva; Steiner; Menezes, 2017; Bae et al., 2017), pois fornece uma cobertura espacial não encontrada em espectroscopia de fenda longa, com resoluções de dezenas de parsecs. Estudos recentes, realizados com o espectrógrafo GMOS do telescópio Gemini operando no modo de unidade de campo integral, para a distribuição, excitação e cinemática do gás no kiloparsec central de algumas galáxias próximas, incluindo as galáxias Seyfert 2, NGC 2110 (Schnorr-Müller et al., 2014a) e NGC 1386 (Lena, 2014; Lena et al., 2015), bem como a galáxia Seyfert 1.8 NGC 1365 (Lena et al., 2016) mostram que a maior parte da emissão da NLR possui cinemática que pode ser atribuída ao gás girando no disco da galáxia. Além disso, *outflows* foram observados somente na região mais interna da NLR (≈ 300 pc) para NGC 2110, e estes apresentam formato quase esférico ao invés de cônico. NGC 1386 apresenta características cinemáticas que sugerem a presença de *outflow* bipolar, localizado ≈ 150 pc. Lena et al. (2016) sugerem que há um *outflow* em forma de leque em NGC 1365. O uso de espectroscopia de campo integral representa a melhor maneira para estudar a estrutura e cinemática da NLR e ainda faltam estudos sobre os processos de *feeding* e de *feedback* na literatura.

Os mecanismos de *feeding* e *feedback* de AGNs são de suma importância no processo de evolução das galáxias. *Feeding* é o processo no qual a matéria é capturada do disco de acreção pelo SMBH devido a seu altíssimo campo gravitacional. O processo de *feedback*, seja ele representado pelos jatos relativísticos ou pelos ventos, ambos emitidos a partir do disco de acreção, pode ser o responsável por controlar o crescimento excessivo do bojo das galáxias, pois sua interação com o meio impede que ocorra formação estelar. A determinação das taxas de *outflows* são cruciais para quantificar o *feedback* de AGNs e usá-los como ingredientes no desenvolvimento de modelos de evolução de galáxias.

Neste trabalho realizamos um estudo da distribuição, excitação e cinemática do gás da NLR de cinco AGNs próximos: Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058.

Temos os seguintes objetivos específicos neste trabalho:

- mapear a distribuição de fluxos e cinemática das linhas de emissão mais intensas observadas, utilizando dados ópticos de espectroscopia de campo integral da região central das galáxias da amostra;
- construir mapas para razões de linhas com o intuito de descrever a excitação do gás

da NLR;

- determinar a densidade eletrônica a partir da razão de intensidades de linhas;
- construir mapas para o avermelhamento a partir da razão de linhas $H\alpha/H\beta$.

Estruturamos este trabalho da seguinte forma: no capítulo a seguir apresentamos a amostra de galáxias, bem como detalhes dos processos de observação e redução de dados. No Capítulo 3 apresentamos a metodologia utilizada. O Capítulo 4 apresenta uma descrição dos resultados obtidos. No Capítulo 5 discutimos os resultados obtidos e comparamos com os dados encontrados na literatura. Finalizamos com o Capítulo 6 onde descrevemos as principais conclusões deste trabalho.

2 AMOSTRA, OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DE DADOS

Neste capítulo, apresentamos a descrição da nossa amostra de galáxias, das observações e dos procedimentos adotados no processo de redução de dados.

2.1 AMOSTRA

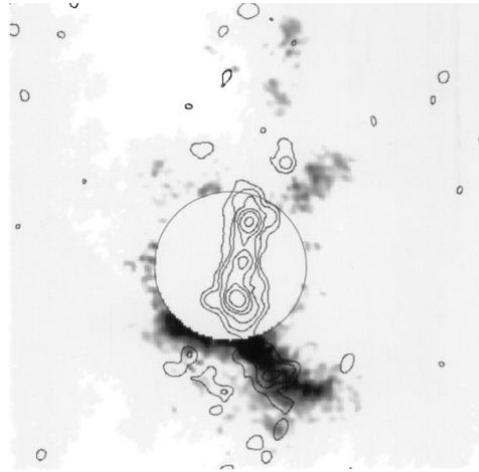
Os objetos selecionados para a realização deste trabalho fazem parte de um projeto maior, onde pretende-se obter dados de espectroscopia de campo integral para uma quantidade representativa de AGNs (cerca de 30), com o objetivo de investigar os processos de *feeding* e *feedback* de AGNs através do mapeamento de *outflows*. Todas as galáxias do projeto fazem parte do trabalho de Schmitt et al. (2003), que abrange 60 Seyfert de um total de 88 galáxias com $z \leq 0,031$ do catálogo de de Grijp et al. (1992). A escolha das galáxias que fazem parte do projeto foi baseada nos seguintes critérios: apresentam emissão estendida para o [O III] além de $\approx 1''0$ a partir do núcleo, abrangem uma diversidade de morfologias para a NLR e possuem luminosidades variadas ($39 \leq \log(L_{[\text{O III}]}) \leq 42 \text{ erg s}^{-1}$). Alguns objetos foram excluídos de nossa seleção porque já foram estudados por outros membros de nosso grupo em trabalhos prévios. Assim, nossa amostra constitui-se de cinco galáxias Seyfert brilhantes (Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058).

A seguir, apresentamos uma revisão bibliográfica sobre cada um dos objetos, pontuando as informações mais relevantes sobre os mesmos.

2.1.1 Mrk 6

O núcleo ativo da galáxia Mrk 6 é classificado como Seyfert 1.5 e sua galáxia hospedeira é classificada morfologicamente como S0a (Osterbrock; Koski, 1976; Haniff; Wilson; Ward, 1988; Kharb et al., 2006; Mingo et al., 2011). Capetti et al. (1995) apresentaram imagens de banda estreita para um campo central de $1''4 \times 1''4$ ($0,7 \times 0,7 \text{ kpc}^2$), centradas nas linhas de emissão [O III] $\lambda\lambda 4959,5007$ e [O II] $\lambda\lambda 3726,29$, obtidas com a Câmera FOC (FOC - *Faint Object Camera*) instalada no HST. Suas imagens mostram emissão com extensão de $0''5$ semelhante a um jato para sul/sudoeste do núcleo, a qual é co-espacial com o jato rádio visto em observações realizadas em 6 cm com a rede de interferômetros MERLIN (MERLIN - *Multi – Element Radio Linked Interferometer Network*). Ambas as distribuições de fluxo (rádio e de linhas) compartilham a mesma morfologia curvada ao longo da mesma direção. Os autores argumentam que estes resultados reforçam a interpretação de que a estrutura de Mrk 6 é dominada por compressão e aquecimento do

Figura 2.1 – Imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] $\lambda 5007$ de Mrk 6 obtida com o HST e contornos rádio obtidos com o interferômetro MERLIN sobrepostos. O campo de visão possui $1''.4$ de lado. Norte está para cima e o leste para a esquerda.



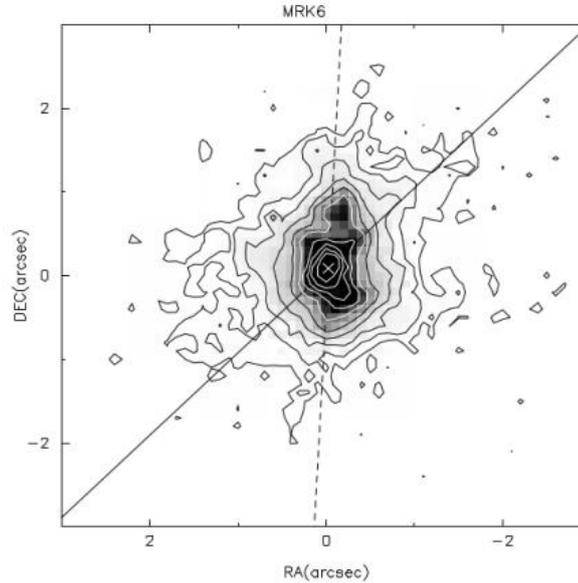
Fonte: Capetti et al. (1995)

gás devido a choques produzidos pelo jato rádio. A Figura 2.1 mostra a sobreposição da emissão [O III] obtida com o HST e do jato rádio observado com o MERLIN apresentada por Capetti et al. (1995).

Em escalas maiores, espectroscopia de fenda longa e imagens de banda estreita para a linha de emissão [O III] $\lambda 5007$, mostram uma alongada ENLR, visível além da distância de $35''$ a partir do núcleo apresentando vários nós e emissão difusa, principalmente para o nordeste e sul do núcleo (Kukula et al., 1996). Estes autores concluem que a ENLR está desalinhada em relação a orientação da emissão rádio em grande escala, como revelado através da comparação entre imagens de banda estreita para o [O III] $\lambda 5007$ e imagens em 6 e 18 cm obtidas com o radiointerferômetro MERLIN. Em comprimentos de onda rádio, Mrk 6 apresenta estruturas complexas em pequena e grande escalas (Baum et al., 1993; Schmitt et al., 2001; Kharb et al., 2006). A imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] em 5007 \AA apresentada na Figura 2.2, obtida com a câmera WFPC2 do HST mostra uma estrutura semelhante a um jato para o norte do núcleo (ao longo P.A. = -10°), desalinhada do eixo maior da galáxia (P.A. $\approx 130^\circ$). O pico de emissão para o [O III] $\lambda 5007$ é observado no núcleo e várias estruturas são observadas em volta dele. Há também uma emissão mais fraca observada ao longo do eixo maior da galáxia (Schmitt et al., 2003).

Kharb et al. (2006) apresentam observações com o VLA em 6 e 20 cm de Mrk 6, que mostram emissão rádio em três escalas espaciais diferentes: estruturas são observadas em $\approx 7,5 \text{ kpc}$ e em $\approx 1,5 \text{ kpc}$, além de um jato rádio em $\approx 1 \text{ kpc}$. Todas estas estruturas são aproximadamente ortogonais entre si. Os autores atribuem a emissão rádio complexa em Mrk 6 como sendo originada por um jato que precessiona ocasionalmente provocando assim alteração na sua orientação.

Figura 2.2 – Imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] $\lambda 5007$ para a galáxia Mrk 6. As linhas sólida e tracejada representam as orientações do eixo maior da galáxia e da emissão rádio estendida, respectivamente. Norte está para cima e o leste para a esquerda.



Fonte: Schmitt et al. (2003)

Observações em raios X desta galáxia revelam cascas de emissão em volta das estruturas rádio, com energia de $\approx 0,9$ keV, compatível com um cenário no qual os gases internos a estas cascas estão provocando um forte choque no meio interestelar (Mingo et al., 2011).

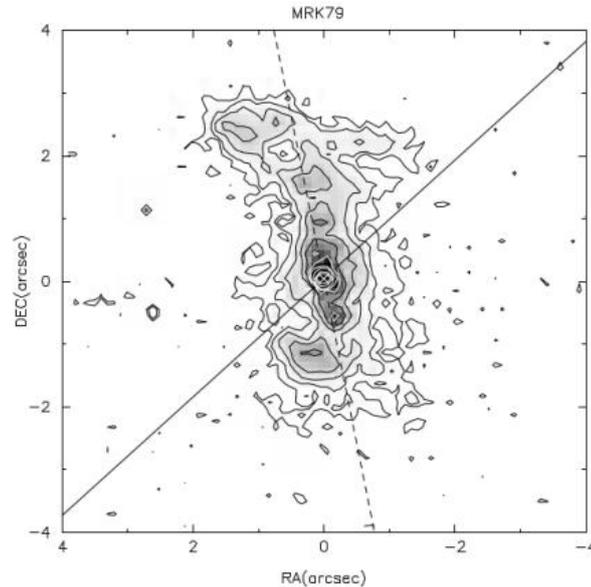
Quillen et al. (1999) apresentam imagens de banda estreita obtidas com o instrumento NICMOS (NICMOS - *Near Infrared Camera and Multi – object Spectrometer*) acoplado ao HST. Estas observações foram centradas na linha do hidrogênio molecular em $2,16 \mu\text{m}$ e não observou-se emissão estendida, o que foi atribuído a fonte nuclear de Mrk 6 ser tão brilhante a ponto de ofuscar qualquer estrutura estendida.

A massa do SMBH central varia entre $(1 - 2) \times 10^8 M_{\odot}$. Estes valores foram estimados através do movimento Kepleriano na BLR, usando observações espectropolarimétricas (Afanasiev et al., 2014) e através de medidas da largura da linha $H\beta$ em combinação com mapas de reverberação (Doroshenko et al., 2012).

2.1.2 Mrk 79

Mrk 79 (UGC 3973) é classificada morfologicamente como uma galáxia SBb localizada a uma distância de 93,8 Mpc e abriga um núcleo do tipo Seyfert 1.2 (Haniff; Wilson; Ward, 1988; de Vaucouleurs et al., ; Malkan; Gorjian; Tam, 1998; Kraemer et al., 2011).

Figura 2.3 – Imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] $\lambda 5007$ para a galáxia Mrk 79. As linhas sólida e tracejada representam as orientações do eixo maior da galáxia e da emissão rádio estendida, respectivamente. Norte está para cima e o leste para a esquerda.



Fonte: Schmitt et al. (2003)

Peterson et al. (2004) determinaram a massa de $(5,3 \pm 1,4) \times 10^7 M_{\odot}$ para o seu SMBH central, usando a técnica de mapas de reverberação das linhas de emissão.

Imagens de banda estreita, centradas na linha de emissão [O III] $\lambda 5007$, obtidas a partir de observações terrestres (Haniff; Wilson; Ward, 1988) e com o HST (Schmitt et al., 2003) mostram uma emissão colimada ao longo da direção norte-sul que se estende até $\approx 3''.0$ para o norte e $\approx 2''.0$ para o sul. Próximo a $1''.5$ norte esta estrutura se curva para a direção nordeste. Emissão mais fraca é observada em todo o campo de visão do HST de $8''.0 \times 8''.0$. Schmitt et al. (2003) descreveram a imagem [O III] como apresentando duas estruturas de emissão ao sul do núcleo, nas posições $0''.6$ e $1''.2$, e três estruturas para o norte, vistos nas posições $0''.5$, $0''.9$ e $1''.6$ a partir do núcleo (ver Figura 2.3).

Espectroscopia de fenda longa de Mrk 79 obtida com o WHT (WHT - *William Herschel Telescope*) cobrindo os intervalos espectrais de 3700 \AA a 5230 \AA e de 6110 \AA a 7460 \AA , orientadas ao longo dos P.A.s = 12° e 50° , revelam uma ENLR em P.A. = 12° , estendida até $\approx 15''.0$ do núcleo (Nazarova; O'Brien; Ward, 1996). A ENLR coincide com uma estrutura tripla e assimétrica vista em imagens rádio, a qual apresenta uma estrutura para o norte e outra para o sul, ambas localizadas, respectivamente, nas posições 800 pc ($\approx 2''$) e 460 pc ($\approx 1''.1$) a partir do núcleo (Ulvestad; Wilson, 1984; Nazarova; O'Brien; Ward, 1997; Schmitt et al., 2001). Além disso, a ENLR também coincide com a direção do gás em *outflow*, visto neste objeto através dos perfis de [O III] $\lambda 5007$ com multi componentes ao longo do eixo rádio (Whittle et al., 1988).

Riffel, Storchi-Bergmann e Winge (2013) mapearam a excitação e cinemática do gás na região interna, $3''.0 \times 3''.0$, de Mrk 79. Neste estudo, os autores utilizaram IFS no infravermelho próximo obtidas com o instrumento NIFS (NIFS - *Near – Infrared Integral Field Spectrograph*) acoplado ao telescópio Gemini Norte. Linhas de emissão do gás ionizado da região espectral do infravermelho próximo apresentam distribuições de fluxo similares às aquelas vistas em comprimentos de onda do óptico. Já H_2 (traçado pela emissão da linha $\lambda 2,12 \mu m$) mostra um padrão de rotação com o lado noroeste da galáxia afastando-se e o lado sudeste aproximando-se de nós. Além disso, *inflows* de gás são observados ao longo dos braços espirais em forma de *blueshift* para o sudoeste (lado distante da galáxia) e *redshift* para o nordeste (lado próximo). O gás ionizado (mapeado pela emissão de $[Fe II] \lambda 1,25 \mu m$ e $P\beta$) além de rotação (*blueshifts* para o sudoeste e *redshifts* para o nordeste), mostra também um *outflow* a partir do núcleo da galáxia visto como *blueshifts* para norte/nordeste e *redshifts* no lado oposto.

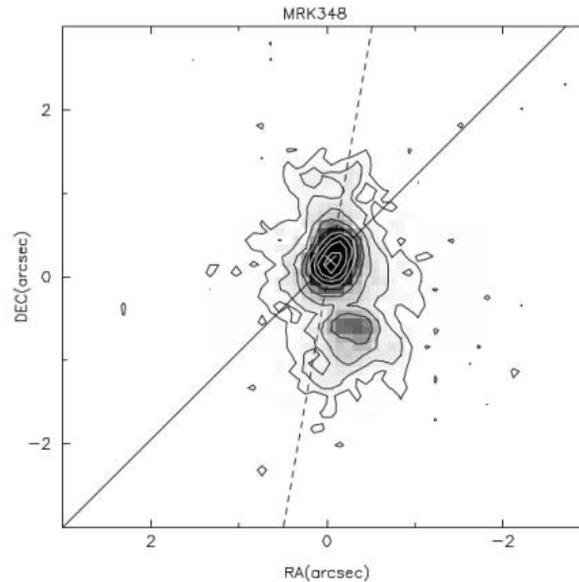
Nazarova, O'Brien e Ward (1996) usaram a razão de linhas $[S II] \lambda 6716/\lambda 6731$ para determinar a densidade eletrônica e encontraram valores médios de $\approx 600 \text{ cm}^{-3}$ para NLR de Mrk 79. Eles também observaram que a densidade eletrônica diminui com a distância do núcleo para o norte do mesmo. Foi também observado, por estes autores, que os níveis de excitação do gás são mais elevados ao longo de P.A. = 12° , quando comparados com P.A. = 50° .

2.1.3 Mrk 348

Mrk 348 (NGC 262) é uma galáxia Sa+ (Antón et al., 2002) que abriga um núcleo Seyfert 2 brilhante. Em pequenas escalas, observações em 21 cm com VLBI (VLBI - *Very Long Baseline Interferometry*) mostram uma estrutura tripla em rádio, com dimensão de $0''.2$, ao longo de PA $\approx 170^\circ$ (Neff; de Bruyn, 1983), enquanto que em observações em 2 cm uma fonte dupla é vista com extensão similar (Ulvestad et al., 1999). Imagens rádio obtidas com o VLA em 3,6 cm e em 20 cm mostram uma fonte nuclear não resolvida, sendo observada em 20 cm uma fraca emissão estendida, até $4''.0$ a partir do núcleo, para norte-nordeste e para sul-sudoeste (Nagar et al., 1999). Falcke et al. (2000) detectaram uma forte emissão de maser de H_2O em Mrk 348, com luminosidade de $420 L_\odot$.

Imagens de banda estreita obtidas a partir de observações terrestres para as linhas de emissão $[O III] \lambda 5007$ e $[N II] + H\alpha$ mostram uma região de gás altamente ionizado dentro de um bicone que se estende até $15''.0$ a partir do núcleo e é orientado ao longo da direção norte-sul, na mesma orientação do eixo rádio em pequenas escalas (Simpson et al., 1996). Imagens do HST com mais alta resolução, da região mais interna de $7''.0 \times 7''.0$, também mostram estruturas estendidas similares para a emissão do $[O III]$ (Capetti et al., 1996; Capetti, 2002). Imagens de banda estreita para o $[O III] \lambda 5007$ (Schmitt et al., 2003) obtidas

Figura 2.4 – Imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] $\lambda 5007$ para a galáxia Mrk 348. As linhas sólida e tracejada representam as orientações do eixo maior da galáxia e da emissão rádio estendida, respectivamente. Norte está para cima e o leste para a esquerda.

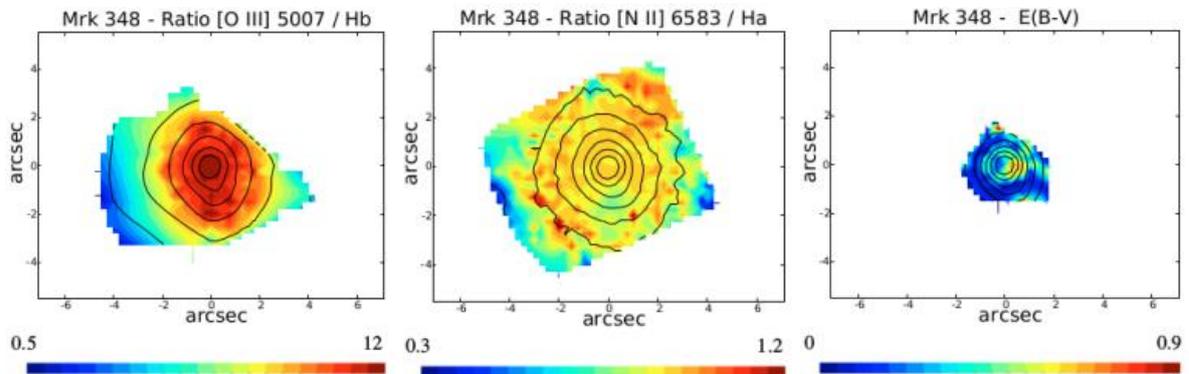


Fonte: Schmitt et al. (2003)

com a WFPC2 do HST (ver Figura 2.4) mostram emissão estendida até $\approx 3''.0$ a partir do núcleo ao longo de P.A. $\approx 185^\circ$ em uma direção similar a emissão rádio em 20 cm de Nagar et al. (1999). Muito próximo ao núcleo a emissão é estendida ao longo de P.A. $\approx 10^\circ$, similar a orientação do jato rádio em pequena escala (Neff; de Bruyn, 1983; Ulvestad et al., 1999).

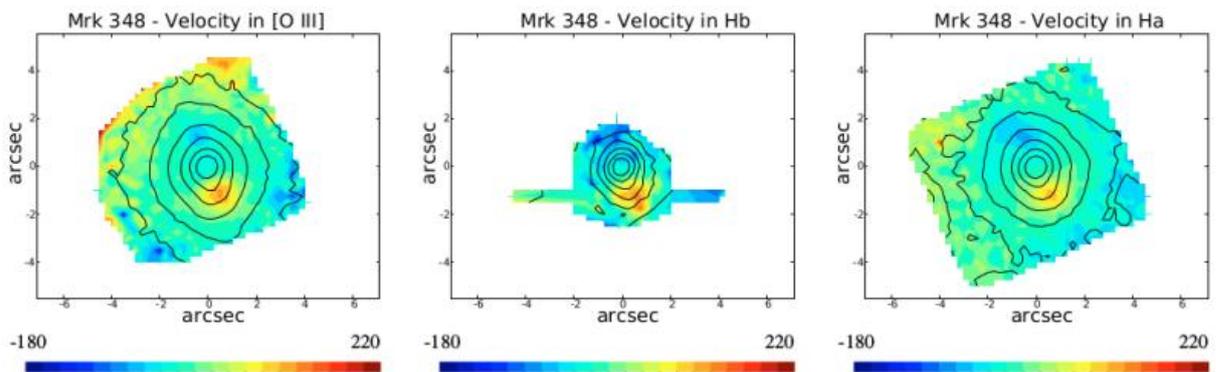
A cinemática da NLR foi estudada por Fischer et al. (2013) através de espectros obtidos com o instrumento STIS do HST para uma amostra de 53 galáxias Seyfert próximas, incluindo nessa amostra, a galáxia Mrk 348. Eles classificaram a cinemática do [O III] de Mrk 348 como “compacta”. Neste trabalho, a fenda foi posicionada fora da ENLR, portanto apenas a emissão nuclear foi detectada. Stoklasová et al. (2009) usaram IFS no óptico, da região central interna ($10''.0 \times 8''.0$), obtida com o espectrógrafo OASIS (OASIS - *Optically Adaptive System for Imaging Spectroscopy*) no telescópio CFHT (CFHT - *Canada France Hawaii Telescope*) com amostragem angular de $0''.27$. O mapa para a razão [O III] $\lambda 5007/H\beta$ apresenta valores mais altos no núcleo (até 12), diminuindo com a distância e atingindo valores de $\approx 0,5$ na região entre $3''.0$ e $4''.0$ para leste do mesmo, enquanto o mapa [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ mostra uma distribuição constante para esta razão com valores de ≈ 1 , com um valor mínimo visto para sudoeste do núcleo. O mapa de $E(B - V)$ mostra somente uma pequena região não resolvida no núcleo com valores de $E(B - V) \approx 0,3$. A Figura 2.5, extraída de Stoklasová et al. (2009), exhibe estes três mapas: da esquerda para a direita apresenta-se mapas para [O III]/ $H\beta$, [N II]/ $H\alpha$ e $E(B - V)$, respectivamente.

Figura 2.5 – Da esquerda para a direita apresenta-se mapas para $[O III]/H\beta$, $[N II]/H\alpha$ e $E(B - V)$, respectivamente para a galáxia Mrk 348. Nas figuras extraídas de Stoklasová et al. (2009) o norte está para cima e o leste para a esquerda.



Fonte: Stoklasová et al. (2009)

Figura 2.6 – Campos de velocidade para as linhas de emissão $[O III] \lambda 5007$, $H\beta$ e $H\alpha$, identificadas no topo de cada painel.

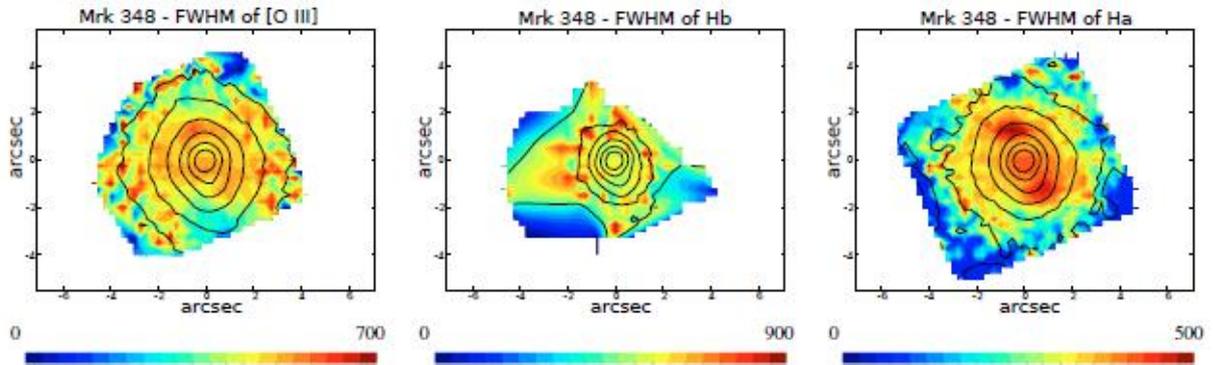


Fonte: Stoklasová et al. (2009)

Os campos de velocidade do gás, apresentados por Stoklasová et al. (2009), mostram duas regiões de velocidade máxima, com tamanhos de aproximadamente 200 pc, e sinais opostos ao longo de P.A. = 25° localizadas a 300 pc do núcleo. Estes autores interpretaram a cinemática destas estruturas como correspondente a um anel em rotação inclinado em relação ao disco galáctico, porém eles explicitam que uma análise cuidadosa dos perfis das linhas é necessário para a interpretação adequada destas estruturas, já que as linhas de emissão apresentam perfis complexos. A Figura 2.6 mostra os campos de velocidade para as linhas de emissão $[O III] \lambda 5007$, $H\beta$ e $H\alpha$ apresentadas no trabalho de Stoklasová et al. (2009).

Os mapas de dispersão de velocidades apresentados por Stoklasová et al. (2009) (Figura 2.7) não apresentam comportamentos similares entre si. O mapa para $H\alpha$ possui valores máximos para a dispersão coincidentes com as posições onde o campo de velo-

Figura 2.7 – Mapas de dispersão de velocidades para [O III] $\lambda 5007$, H β e H α , identificadas no topo de cada painel.



Fonte: Stoklasová et al. (2009)

idades é máximo, o que não é observado para o [O III]. Estes autores destacam que em seus ajustes são observados componentes *blueshifted* e *redshifted* deslocadas de 300 e 400 km s⁻¹ da componente principal para as linhas de baixa ionização.

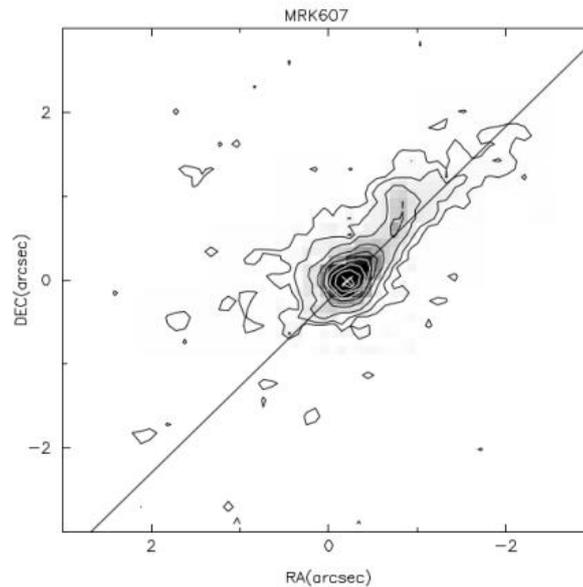
2.1.4 Mrk 607

Mrk 607 (NGC 1320) é uma galáxia espiral do tipo Sa, vista quase de perfil (*edge-on*) que hospeda um núcleo do tipo Seyfert 2 (Mulchaey; Wilson; Tsvetanov, 1996; Ferruit; Wilson; Mulchaey, 2000; Tsai; Hwang, 2015), e um SMBH com massa de $(5,5 \pm 2,5) \times 10^6 M_{\odot}$, determinada a partir de observações de maser de água (Gao et al., 2017). Imagens em rádio em 3,6 cm e 20 cm de Mrk 607 mostram um núcleo compacto, com fraca emissão estendida para o sul, sendo parcialmente resolvida em observações com VLA (Colbert et al., 1996; Nagar et al., 1999; Mundell et al., 2009). Uma tênue emissão rádio foi também vista para o norte e noroeste do núcleo em 6 cm (Colbert et al., 1996).

A imagem de banda estreita do [O III] $\lambda 5007$ obtida com o HST por Schmitt et al. (2003), apresentada na Figura 2.8, mostra emissão estendida por até 3''75 ao longo do eixo maior da galáxia (P.A. = 137°), com os mais altos níveis de intensidade vistos no núcleo e para o noroeste. Ao longo do eixo menor, a emissão estendida para o [O III] é vista até 1''35. Uma distribuição de fluxo similar é vista em uma imagem para emissão de [N II] + H α de Ferruit, Wilson e Mulchaey (2000). Imagens em banda estreita em grande escala das linhas [O III] $\lambda 5007$ e [N II] + H α mostram emissão estendida até $\approx 35''0$ a partir do núcleo e ao longo do eixo maior da galáxia (Mulchaey; Wilson; Tsvetanov, 1996).

Ferruit, Wilson e Mulchaey (2000) apresentam um mapa da razão de intensidade das linhas [O III] $\lambda 5007$ /(H α + [N II]), o qual mostra os mais altos valores no núcleo e os

Figura 2.8 – Imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] λ 5007 para a galáxia Mrk 607. A linha sólida representa a orientação do eixo maior da galáxia. Norte está para cima e o leste para a esquerda.



Fonte: Schmitt et al. (2003)

menores valores para noroeste, o que corresponde a uma mais alta excitação do gás na região nuclear.

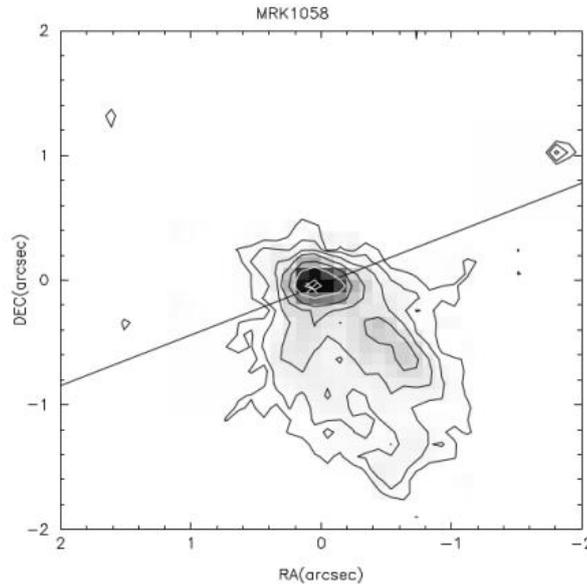
Mapas de cores $B-I$ em grande escala de Mrk 607 indicam mais alta extinção para nordeste do núcleo, sugerindo que este é o lado próximo do disco da galáxia (Kotilainen, 1998).

Riffel et al. (2017) realizaram um estudo para mapear a cinemática estelar de 16 galáxias Seyfert próximas, entre estas galáxias está a Mrk 607. Neste trabalho os autores ajustaram as bandas de absorção do CO na banda K dos espectros obtidos com o instrumento NIFS do Gemini Norte. O campo de velocidades estelar sugere um padrão de rotação com o lado noroeste se aproximando de nós e o lado sudeste afastando-se. O mapa de dispersão de velocidades estelar apresenta valores predominantemente da ordem de $\approx 50 \text{ km s}^{-1}$ em todas as localizações.

2.1.5 Mrk 1058

Mrk 1058 é uma galáxia espiral isolada, classificada morfologicamente como Sb e, apesar dela abrigar um núcleo Seyfert 2 brilhante (Corwin JR.; Buta; de Vaucouleurs, 1994; Malkan; Gorjian; Tam, 1998; Chapelon; Contini; Davoust, 1999; Smirnova; Moiseev; Afanasiev, 2010), estudos detalhados sobre ela são escassos na literatura. Imagens de banda larga no visível, obtidas com o HST, revelam filamentos de poeira ao norte do núcleo,

Figura 2.9 – Imagem de banda estreita centrada na linha do [O III] λ 5007 para a galáxia Mrk 1058. A linha sólida representa a orientação do eixo maior da galáxia. Norte está para cima e o leste para a esquerda.



Fonte: Schmitt et al. (2003)

coincidente com o eixo maior da galáxia (Malkan; Gorjian; Tam, 1998).

De Robertis e Osterbrock (1986) analisaram o espectro nuclear de Mrk 1058, obtido para uma região de $2''.7 \times 4''.0$, e constataram que ela apresenta fraca emissão para as linhas de recombinação do H I e do He II e para a linha proibida [O I] λ 6300. Estes autores também observaram que as linhas do [N II] em $\lambda = 6548$ e 6583 \AA são intensas quando comparadas com $H\alpha$.

Mrk 1058 apresenta uma fraca emissão rádio em 3,6 cm, sem nenhuma emissão estendida detectada em observações com o VLA (Kinney et al., 2000; Schmitt et al., 2001). A imagem do [O III] λ 5007 do HST, mostrada na Figura 2.9, exibe emissão estendida até $2''.0$ para sudoeste do núcleo, com uma morfologia em formato V que possui ângulo de abertura de 55° em relação ao eixo central que está orientado ao longo de P.A. = 205° , perpendicular ao eixo maior da galáxia (Schmitt et al., 2003).

2.2 OBSERVAÇÕES

As observações de nossa amostra foram realizadas com o espectrógrafo GMOS operando no modo IFU acoplado ao telescópio Gemini Norte, no modo fenda única. Elas aconteceram entre o período de 30 de setembro de 2014 e 12 de janeiro de 2015, conforme o projeto GN-2014B-Q-87. A Tabela 2.1 apresenta um registro das observações contendo

as seguintes informações: nome da galáxia, ascensão reta (α), declinação (δ), distância extraída do NED¹, resoluções espacial e espectral, tempo de exposição, ângulo de posição (PA) da IFU, luminosidade [O III] obtida por Schmitt et al. (2003), luminosidade total [O III] obtida a partir de nossos dados e data das observações para cada objeto da amostra.

As exposições foram realizadas centradas em dois comprimentos de onda: 5700 Å e 5750 Å. Utilizamos esta estratégia a fim de evitar que linhas de emissão importantes coincidisse com os *gaps* entre os CCDs (CCD - *Charge Coupled Device*) do GMOS. A rede B600 foi utilizada em combinação com o filtro G5307 com o intuito de obter-se espectros no intervalo de 4300 a 7100 Å. Este intervalo espectral inclui as linhas de emissão mais intensas da NLR de AGNs: $H\beta$, [O III] $\lambda\lambda$ 4959,5007, [O I] λ 6300, $H\alpha$, [N II] $\lambda\lambda$ 6548,83 e [S II] $\lambda\lambda$ 6716,31.

A resolução espectral foi determinada através da medida da FWHM de uma linha de emissão intensa do espectro da lâmpada de calibração CuAr utilizada para calibrar os espectros em comprimento de onda. A resolução espacial foi estimada como sendo a medida da FWHM da distribuição de fluxo do contínuo de estrelas de campo vistas na imagem de aquisição, observada antes da obtenção dos dados de IFS para cada galáxia.

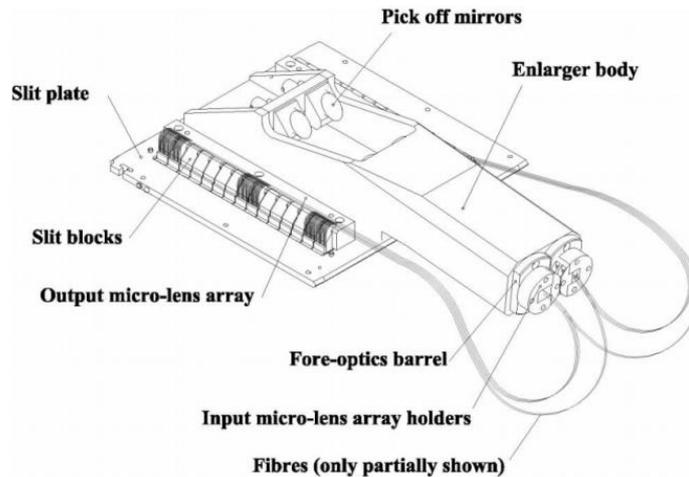
¹NASA/IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE disponível em [http : //ned.ipac.caltech.edu](http://ned.ipac.caltech.edu)

Tabela 2.1 – Registro das observações

Objeto	Ascensão reta (h min s)	Declinação (° ' ")	Distância		Resolução		Tempo de exposição (s)	PA IFU (°)	log L _[OIII] ^e (erg s ⁻¹)	log L _[OIII] (erg s ⁻¹)	Data
			Mpc	(pc)	espacial (pc)	espectral (km s ⁻¹)					
Mrk6	06 ^h 52 ^{min} 12,2 ^s	74°25'37"	79.0	235	90	90	7 × 810	280	41,72	42,24	20/12/14, 11 e 12/01/15
Mrk79	07 ^h 42 ^{min} 32,8 ^s	49°48'35"	91.6	280	90	90	6 × 810	73	41,58	41,95	20/12/14
Mrk348	00 ^h 48 ^{min} 47,1 ^s	31°57'25"	63.9	190	85	85	6 × 810	185	41,26	41,91	12/10/14
Mrk607	03 ^h 24 ^{min} 48,7 ^s	-03°02'32"	36.1	110	90	90	7 × 810	137	40,44	41,02	14 e 17/12/14
Mrk1058	02 ^h 49 ^{min} 51,8 ^s	34°59'17"	71.8	215	85	85	6 × 810	121	40,49	41,23	15/12/14

Fonte: A autora. ^e - Schmitt et al. (2003)

Figura 2.10 – Representação da IFU do GMOS.



Fonte: (Allington-Smith et al., 2002)

2.2.1 O instrumento GMOS

O Observatório Gemini possui dois telescópios, o Gemini Norte e o Gemini Sul, localizados, respectivamente, no Havaí e na Cordilheira dos Andes. Cada um destes telescópios possui um espelho de 8,1 m de diâmetro e permitem que sejam feitas observações no intervalo espectral que vai do óptico até o infravermelho. Faremos uma descrição apenas do instrumento utilizado para a obtenção dos dados deste trabalho, ou seja, o GMOS.

O GMOS opera no óptico (3600 – 9400 Å), nos modos espectroscopia de fenda longa, multi objetos, campo integral e imageamento. A Figura 2.10 apresenta um esquema representativo da IFU do espectrógrafo GMOS. A IFU do GMOS possui dois campos de visão, um destinado à observação do objeto e o outro à observação do céu, que atuam em dois modos de operação, fenda única ou fenda dupla. A radiação emitida pelo alvo que chega até o telescópio atravessa um conjunto de lentes e é enviada através de fibras, ligadas a estas lentes, a um grupo de fendas, onde será dispersada. Após a dispersão obtém-se os espectros detectados nos CCDs do espectrógrafo. As dimensões dos campos de visão do objeto e do céu, a quantidade de fibras contidas em cada um destes campos, assim como suas extensões espectrais são apresentadas na Tabela 2.2 para os dois modos de operação.

O detector do espectrógrafo GMOS possui 6144 x 4608 píxeis. Este detector é formado por três CCDs menores de 2048 x 4608 píxeis cada, dispostos de maneira que há um *gap* de 0,5 mm entre eles.

Neste trabalho, além da observação das galáxias, também foram realizadas exposições de lâmpadas de Cu-Ar, *twilight*, *flat – field*, *bias* e estrelas padrão, usadas no processo de redução de dados. O espectro da lâmpada de Cu-Ar é usado para a calibra-

Tabela 2.2 – Campos do IFU do GMOS*

Modo de operação	fenda única	fenda dupla
Campo de visão do objeto (CVO)	5'0 × 3'5	5'0 × 7'0
Campo de visão do céu (CVC)	5'0 × 1'75	5'0 × 3'5
Fibras CVO	500	1000
Fibras CVC	250	500
Extensão espectral (Å)	3000	1500

* <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/gmos/integral-field-spectroscopy>

Fonte: A autora

ção em comprimento de onda. As imagens de *twilight*, *flat – field* e *bias* foram utilizadas para correção dos efeitos instrumentais do detector CCD. Os espectros das estrelas padrão observadas (Hilt 404, Hilt 600 e Ross 374) foram utilizados para a calibração em fluxo. Todas estas observações são indispensáveis para a realização do processo de redução de dados.

2.3 REDUÇÃO DE DADOS

O processo de redução de dados foi realizado com o *software* de análise e redução de dados astronômicos IRAF (IRAF - *Image Reduction and Analysis Facility*) (Tody, 1986, 1993) utilizando-se uma série de tarefas do pacote GMOS que foram desenvolvidas como parte do pacote Gemini. O processo de redução dos dados seguiu o procedimento padrão descrito por Lena (2014). As seguintes etapas foram realizadas: determinação do *trim* da imagem, subtração do *bias* e de emissão de céu, correção por *twilight*, divisão por *flat – field*, remoção de raios cósmicos, calibração em comprimento de onda e em fluxo, criação dos cubos de dados, alinhamento final e, por fim, combinação dos cubos individuais de cada exposição. A seguir apresenta-se uma breve descrição destas etapas.

2.3.1 Determinação do *trim*

A determinação do *trim* consiste em delimitar na imagem apenas a região que apresenta dados úteis. Geralmente os píxeis das bordas da imagem não apresentam informações que possam ser utilizadas e, portanto, devem ser cortados. Esse passo é realizado utilizando-se a rotina GFREDUCE.

2.3.2 Subtração do *bias*

Um dos efeitos instrumentais do CCD pode ser corrigido através da subtração do *bias*. O *bias* tem por objetivo medir o nível zero do CCD. Os píxeis do CCD possuem uma carga residual que ficará sobreposta ao número de contagens de fótons na imagem do objeto. Este excesso de carga independe do tempo de exposição e do objeto observado, pois é associado ao detector. Por isso, a imagem de *bias* deve ser subtraída de todas as imagens obtidas durante a observação. Uma imagem de *bias* é obtida quando se faz uma exposição do detector CCD com tempo de integração muito curto (≈ 1 s) e com o obturador fechado.

2.3.3 Divisão por *flat – field*

A divisão pela imagem de *flat – field* também faz parte da correção dos efeitos instrumentais do CCD. Este passo é realizado para corrigir variações na sensibilidade existente ao longo dos píxeis do detector. O ganho apresentado por cada píxel de um CCD não é constante, ou seja, cada píxel responde de forma diferente a uma mesma quantidade de radiação incidente, portanto não existe uniformidade de resposta entre os píxeis de um CCD. Essas variações de sensibilidade são causadas por imperfeições de fabricação, alterações geométricas entre os píxeis, não uniformidade de exposição da luz e do material, entre outros. Uma imagem de *flat – field* é obtida através da exposição do CCD a uma fonte de luz uniforme e difusa. Esta fonte de luz pode ser uma tela iluminada por luz branca (*GCal – flat*) ou o céu do crepúsculo (*twilight*). Deve-se fazer uma média de todas as imagens *GCal – flat*, obtendo-se um *GCal – flat* médio. À imagem *GCal – flat* média deve-se ajustar um polinômio e dividir a imagem *GCal – flat* por esse polinômio para obter-se as curvas de resposta que representam as variações de sensibilidade píxel a píxel do CCD.

2.3.4 Correção por *twilight*

As imagens de *twilight* são obtidas apontando-se o telescópio para o céu do crepúsculo. As fibras ópticas que transportam a radiação até o detector do GMOS não respondem de forma semelhante, ou seja, cada fibra apresenta uma resposta à radiação que por ela é transmitida. Essa correção é feita usando-se a imagem de *twilight*. Para isso, divide-se os espectros da imagem de *twilight* pelas curvas de resposta do *GCal – flat* obtida no passo anterior. Em seguida, deve-se fazer uma média considerando-se cada um dos espectros da imagem de *twilight*, obtendo-se um mapa de resposta espacial onde

cada ponto representa padrões de iluminação da lâmpada de *GCAL – flat* e variações na sensibilidade de cada fibra. O mapa de resposta final é obtido através da multiplicação do mapa de resposta espacial e as curvas de resposta correspondentes do *GCAL – flat*. Dividindo-se os espectros das estrelas padrão, da lâmpada de comparação e do objeto pelo mapa de resposta final estaremos corrigindo as variações de sensibilidade existente entre os píxeis e as fibras do detector.

2.3.5 Remoção dos raios cósmicos

Raios cósmicos são partículas extremamente energéticas que ao penetrarem a atmosfera interagem com os núcleos dos átomos dando origem a outras partículas com energias menores, os chamados raios cósmicos secundários. Estas partículas, compostas principalmente de prótons, elétrons e de alguns núcleos de elementos mais pesados, podem atingir a superfície da Terra. A incidência de raios cósmicos no CCD do telescópio pode afetar os dados, dependendo da quantidade e da região atingida, pois provocam um excesso de energia naquela região, alterando assim, as informações contidas nas imagens. A remoção dos raios cósmicos consiste na exclusão destas regiões. A remoção é feita através da interpolação entre os píxeis adjacentes. A eliminação dos raios cósmicos é feita com a tarefa *gscrrej* do pacote *gemini.gmos*.

2.3.6 Calibração em comprimento de onda

Os espectros obtidos inicialmente não estão calibrados em comprimento de onda. O eixo horizontal está em píxeis. Para a calibração em comprimento de onda utiliza-se o espectro de uma lâmpada de comparação. As lâmpadas de comparação possuem espectros cujos comprimentos de onda das linhas de emissão são conhecidos e suficientemente espaçados entre si. Assim, é feita uma comparação entre o espectro do objeto e o espectro da lâmpada para a identificação das linhas. Para o intervalo espectral de nossas observações foi utilizada uma lâmpada de Cu-Ar para a identificação das linhas. A partir desse passo temos os espectros calibrados em comprimento de onda.

2.3.7 Subtração da emissão do céu

A atmosfera terrestre emite radiação. Assim sendo, o espectro obtido a partir da observação de um corpo celeste não apresenta apenas a emissão do objeto, mas também linhas de emissão provenientes da atmosfera terrestre. Por isso, a emissão do céu deve

ser subtraída do espectro do astro. A emissão a ser subtraída da imagem é obtida através da exposição de uma região do céu que não apresenta objetos celestes e próxima ao alvo de ciência. Esta exposição é feita juntamente com a observação do objeto de ciência, a partir de fibras posicionadas em um campo livre de emissão da galáxia.

2.3.8 Calibração em fluxo

Os espectros iniciais não estão calibrados em unidades de fluxo. Inicialmente eles estão em contagens de fótons. Esta calibração pode ser feita obtendo-se espectros de estrelas padrão. Obtém-se uma relação entre o número de contagens de fótons e o fluxo correspondente em cada comprimento de onda através do espectro da estrela padrão e essa relação é aplicada aos espectros dos objetos de ciência. Em nossas observações utilizamos as estrelas padrão Hilt 404, Hilt 600 e Ross 374. Após essa etapa os espectros estão calibrados em unidades de fluxo, nesse caso, em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$.

2.3.9 Criação dos cubos de dados

Nessa etapa da redução criamos os cubos de dados que possuem duas coordenadas espaciais e uma espectral. Um cubo de dados apresenta um espectro para cada posição de um campo bidimensional, ou seja, para cada coordenada x e y (coordenadas espaciais, α e δ , por exemplo) há um espectro associado (comprimento de onda, λ).

Para cada exposição criamos um cubo de dados, portanto cada galáxia tem 6 ou 7 cubos, dependendo do número de exposições, conforme consta na Tabela 2.1. Os cubos foram criados através da tarefa *gfcube*, considerando o efeito de refração atmosférica diferencial. Os cubos de dados foram criados com píxeis espaciais quadrados de $0''.05$ de lado. A última etapa do processo de redução consiste na combinação destes cubos individuais para a obtenção de um único cubo por galáxia.

2.3.10 Combinação dos cubos individuais de cada exposição

A criação do cubo de dados final para cada galáxia foi feita através de uma média realizada entre os cubos obtidos individualmente em cada exposição usando-se a tarefa *imcombine* do *software* IRAF. Essa tarefa trabalha com um algoritmo de rejeição eficiente (*avsigclip*) para a remoção de dados espúrios.

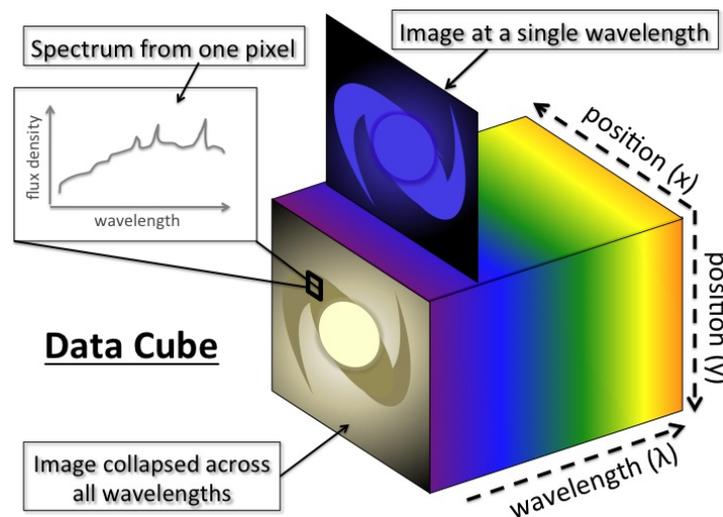
Durante a combinação dos cubos individuais utilizamos a posição do pico de emissão contínua como referência para realizar a astrometria. A Tabela 2.3 apresenta as quan-

Tabela 2.3 – Dimensões dos cubos de dados

Objeto	Píxeis espaciais	Píxeis espectrais	Quantidade de espectros
Mrk 6	68 × 103	6140	7 004
Mrk 79	67 × 99	6129	6 633
Mrk 348	66 × 99	6101	6 534
Mrk 607	68 × 100	6254	6 800
Mrk 1058	67 × 100	6254	6 700

Fonte: A autora

Figura 2.11 – Exemplo de cubo de dados.



Fonte: <http://astro.dur.ac.uk/cpnc25/images/>

tidades de píxeis espacial e espectral, bem como o número de espectros obtido para cada cubo de cada galáxia da amostra. A Figura 2.11 mostra um exemplo ilustrativo de um cubo de dados de um objeto astronômico.

3 METODOLOGIA

Após a redução dos dados, construímos mapas bidimensionais para as distribuições de fluxo, cinemática do gás e razões de intensidades de linhas de emissão para as linhas mais intensas presentes nos espectros das galáxias de nossa amostra. Além disso, construímos um diagrama BPT através das razões de intensidades das linhas $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ *vs.* $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$. Também construímos mapas para a densidade eletrônica (N_e) calculada usando a razão de intensidade das linhas do $[\text{S II}] \lambda\lambda 6716,31$. Por fim, construímos os mapas para o avermelhamento do gás usando medidas dos fluxos das linhas $\text{H}\alpha$ e $\text{H}\beta$. Os métodos utilizados para a realização das medidas e a construção desses mapas serão descritos a seguir. Começaremos este capítulo apresentando uma imagem em grande escala, uma imagem de contínuo e espectros para cada uma das 5 galáxias.

3.1 EXEMPLOS DE ESPECTROS DAS GALÁXIAS

Nas Figuras 3.1 a 3.5 apresentamos uma imagem em grande escala, uma imagem de contínuo e os espectros obtidos para três posições distintas das galáxias Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058, respectivamente. As imagens em grande escala foram obtidas com a câmera WFPC2 do HST usando o filtro F606W o qual possui um comprimento de onda médio de 5940 Å e uma FWHM de 1500 Å (Malkan; Gorjian; Tam, 1998). As imagens de contínuo foram obtidas a partir dos cubos do GMOS, calculando-se a média dos fluxos em cada píxel espacial em uma região do espectro, de largura de ≈ 100 Å e centrada em 5500 Å, escolhida por não apresentar linhas de emissão e ou absorções intensas. A orientação espacial é mostrada no canto superior esquerdo da imagem de contínuo com o norte indicado na figura e o leste à esquerda desta direção. Nas figuras as imagens do HST são mostradas em unidades arbitrárias de fluxo. Já as imagens de contínuo do GMOS são mostradas em escala logarítmica de fluxo, em unidades de $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Å}^{-1}$, representadas pela barra de cores.

Todos os espectros apresentados nas figuras foram obtidos para uma abertura de $0''.25 \times 0''.25$, centradas no núcleo, $1''.0$ acima do núcleo e $1''.0$ à esquerda do núcleo (no sistema de referência das imagens). As regiões extranucleares foram selecionadas exclusivamente com o objetivo de apresentar espectros típicos para posições distantes do núcleo. No espectro nuclear apresenta-se a identificação das principais linhas de emissão vistas para as galáxias da amostra.

Figura 3.1 – Galáxia Mrk 6. Imagem em grande escala (topo à esquerda), imagem de contínuo (topo à direita), espectro nuclear (segunda linha), espectro obtido 1''0 acima do núcleo (terceira linha) e espectro obtido 1''0 à esquerda do núcleo (quarta linha). As unidades dos fluxos das imagens em grande escala e de contínuo são, respectivamente, arbitrárias e $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$, ambas representadas pela barra de cores.

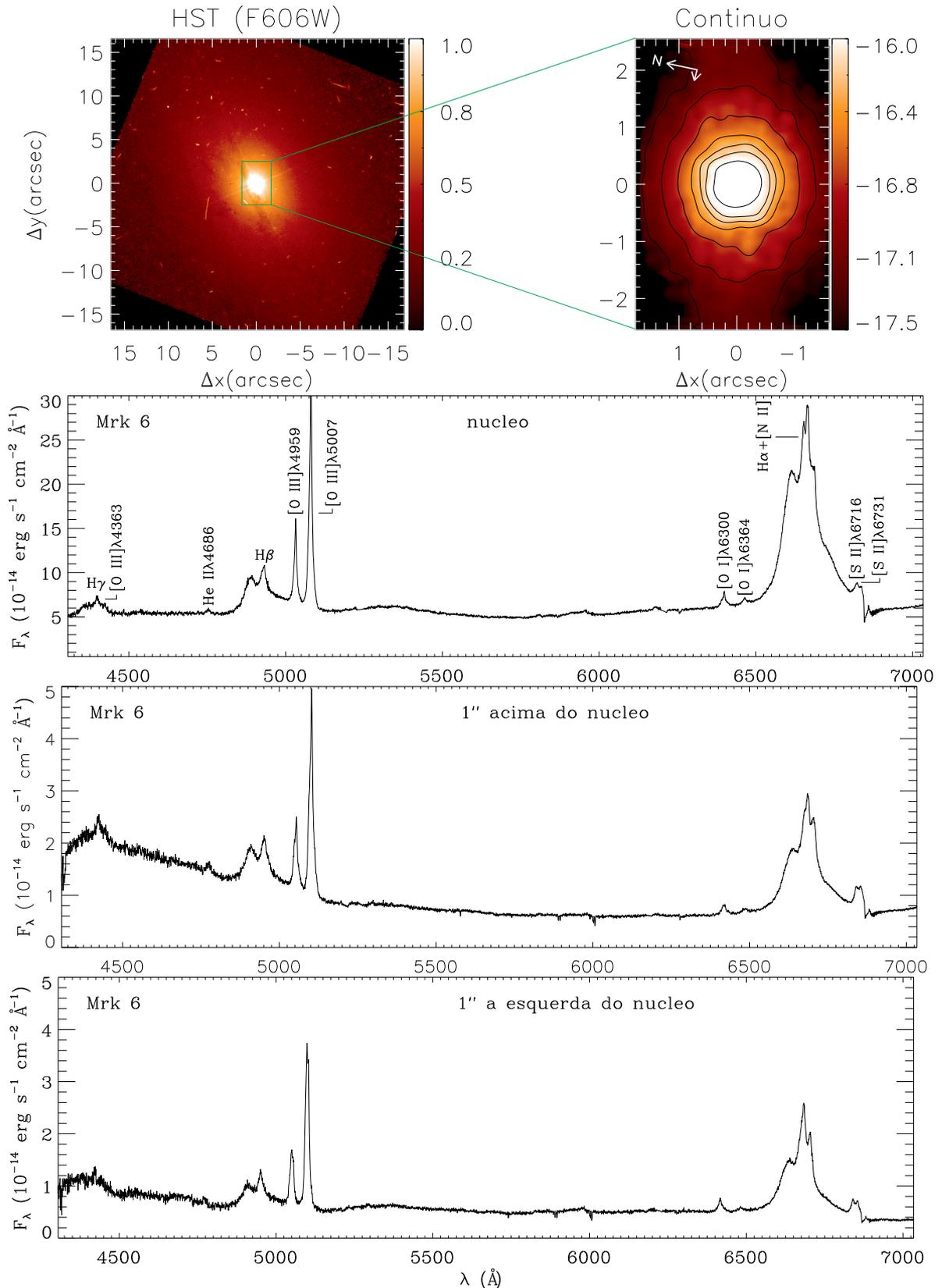
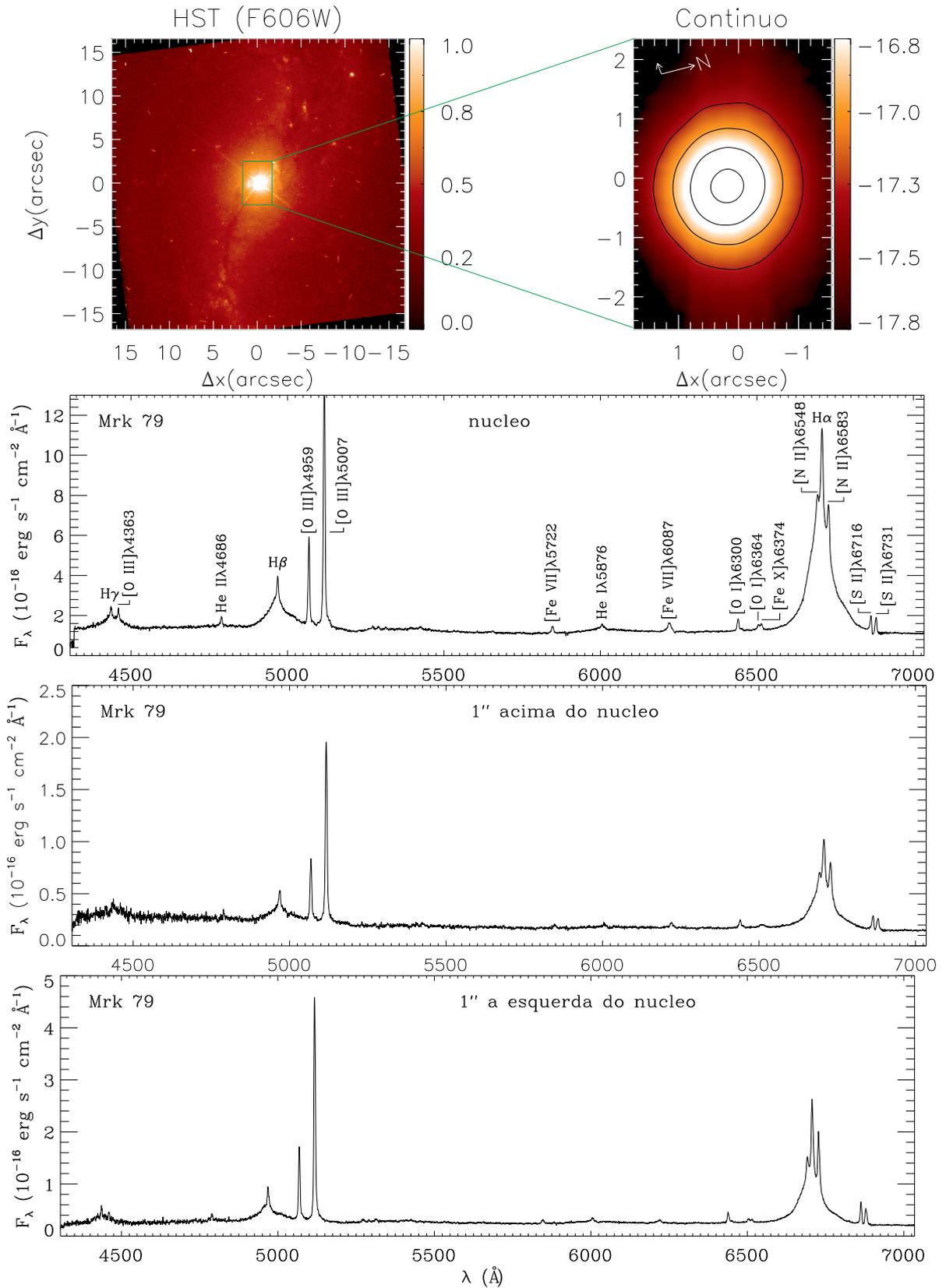
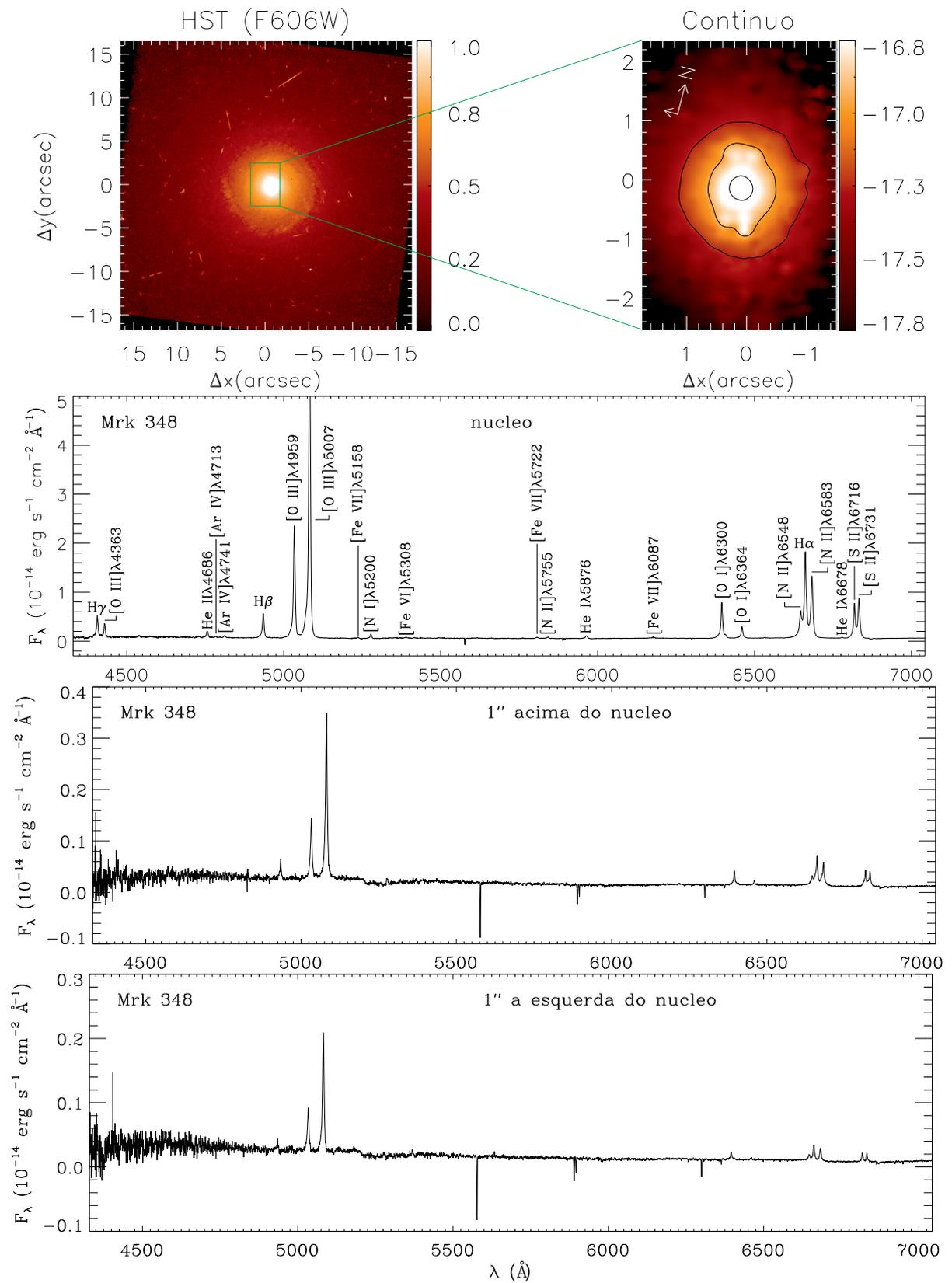


Figura 3.2 – Idem Figura 3.1, para a galáxia Mrk 79.



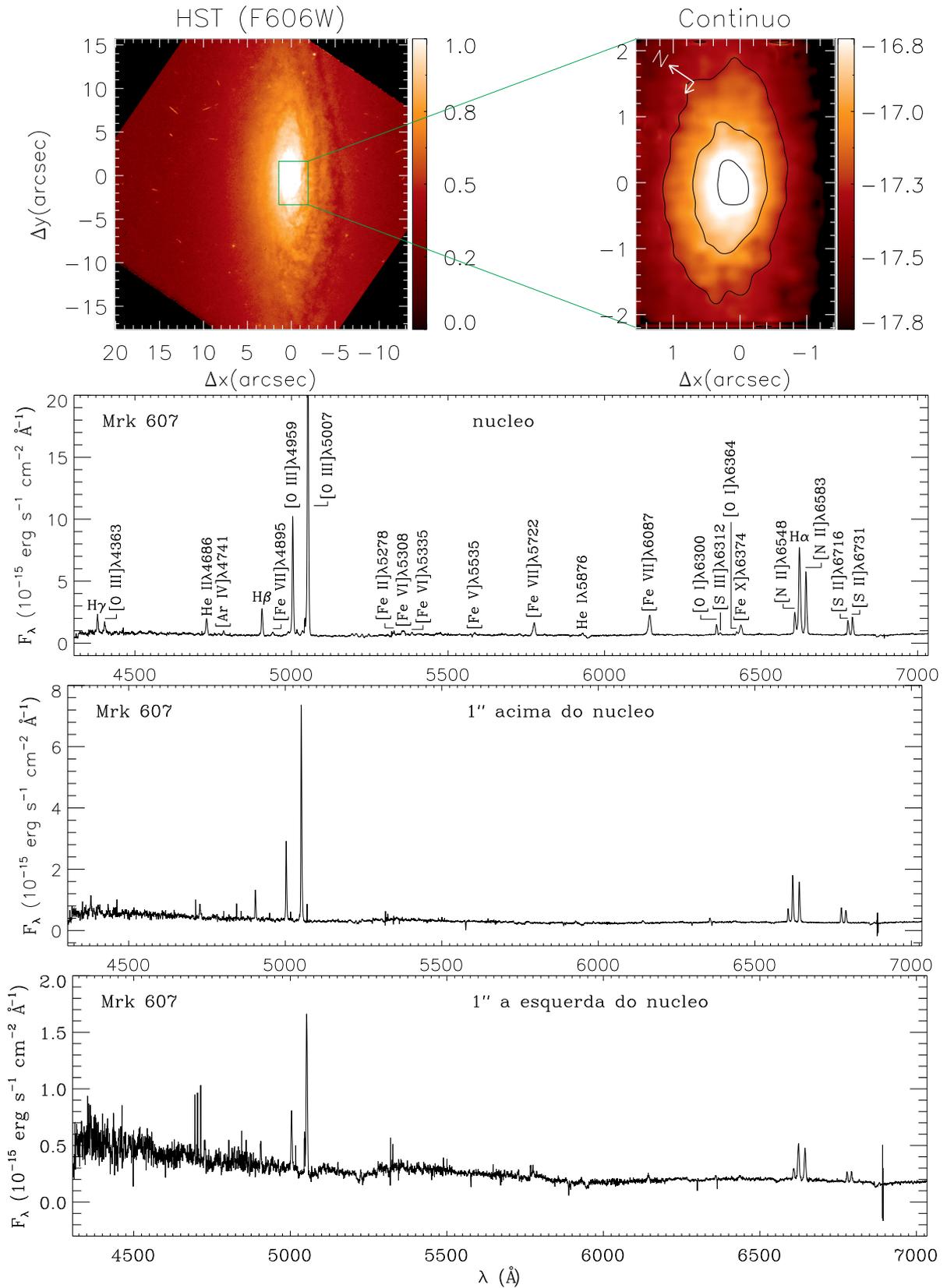
Fonte: A autora.

Figura 3.3 – Idem Figura 3.1, para a galáxia Mrk 348.



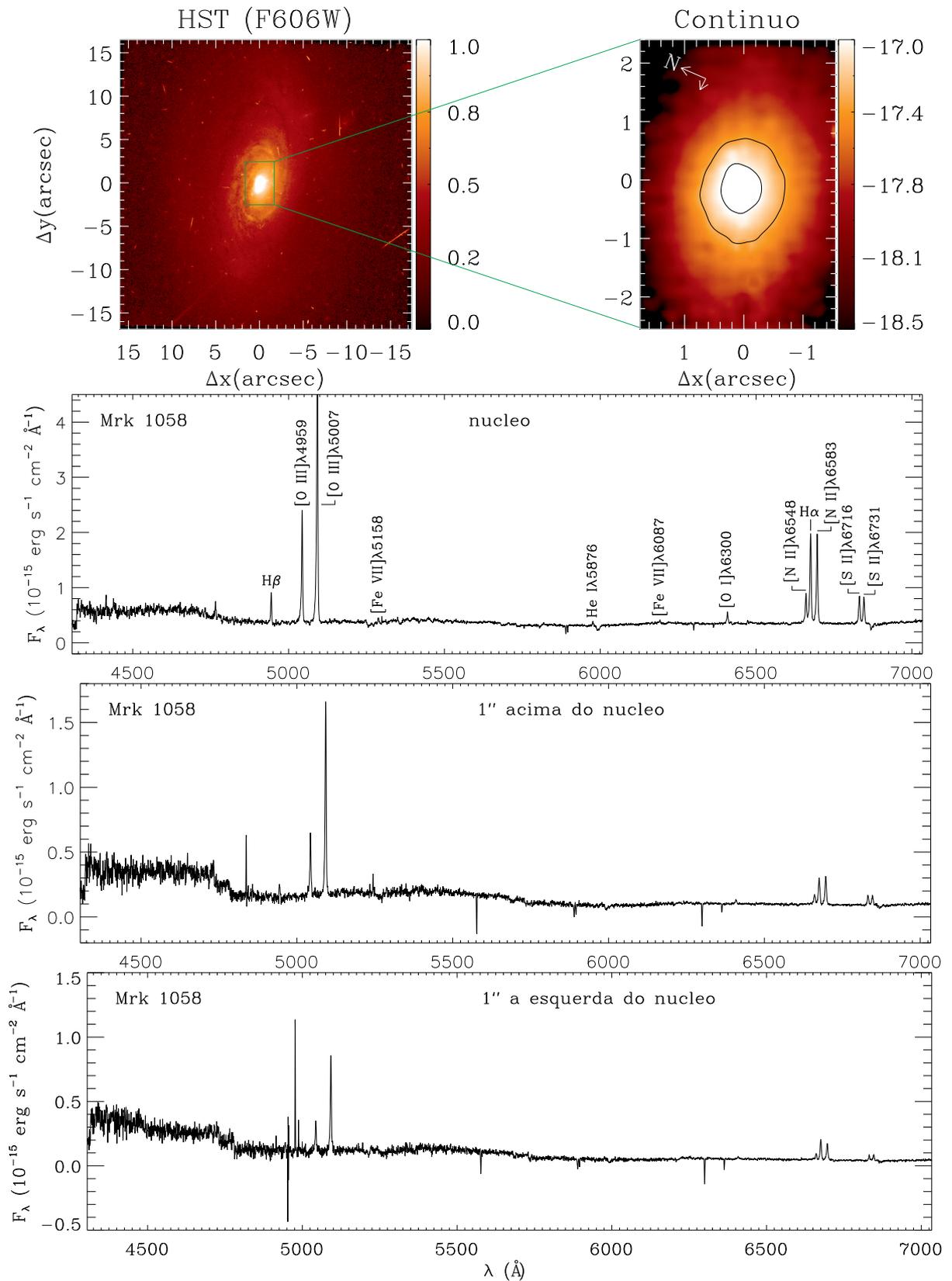
Fonte: A autora.

Figura 3.4 – Idem Figura 3.1, para a galáxia Mrk 607.



Fonte: A autora.

Figura 3.5 – Idem Figura 3.1, para a galáxia Mrk 1058.



Fonte: A autora.

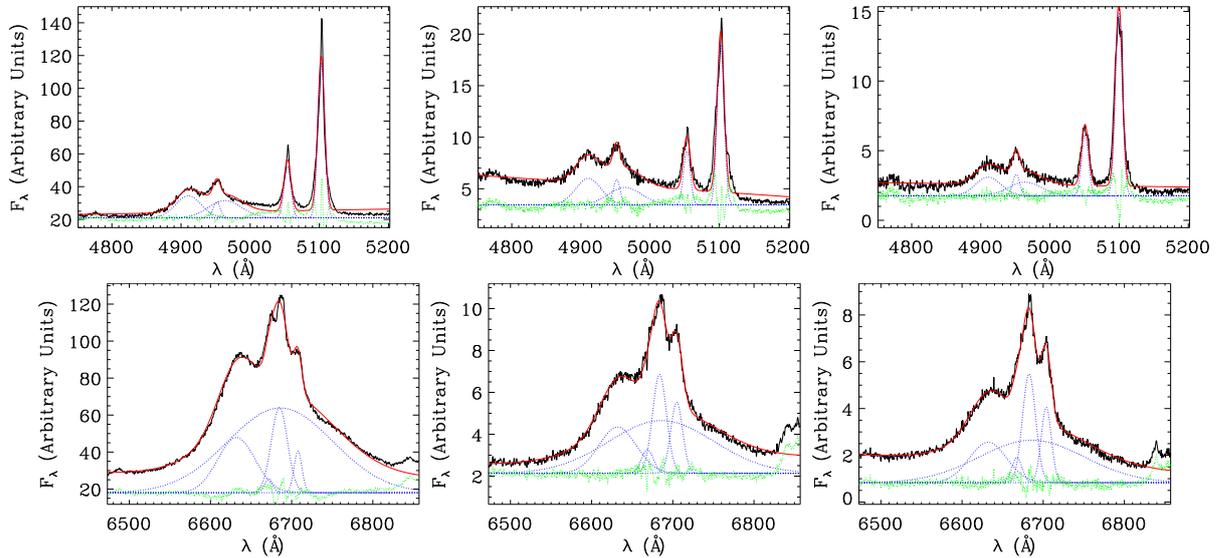
3.2 AJUSTE DOS PERFIS DAS LINHAS DE EMISSÃO

Para mapearmos as distribuições de fluxo, campos de velocidade ao longo da linha de visada e dispersão de velocidades (σ) do gás, ajustamos curvas Gaussianas aos perfis das linhas de emissão mais intensas. Estes ajustes foram realizados usando versões modificadas da rotina PROFIT (*PROFIT - Emission Line PROfile FITting routine*) de Riffel (2010), escrita em IDL (*IDL - Interactive Data Language*). O PROFIT usa a rotina MPFITFUN (MARKWARDT, 2009), a qual faz ajustes por mínimos quadrados não lineares e fornece como parâmetros de saída, medidas para o fluxo, velocidade e dispersão de velocidades para cada linha de emissão. Esta rotina permite fazer o ajuste de curvas Gaussianas ou polinômios de Gauss-Hermite aos perfis de linhas de emissão, aproximando o contínuo ao perfil da linha através de uma reta. A versão original da rotina PROFIT permite ajustar uma única linha de emissão por vez, o que requer que esta esteja suficientemente distante de outras linhas para permitir um bom ajuste do contínuo sob seu perfil. Além das medidas de fluxo, velocidade e σ para uma dada linha de emissão, a rotina também fornece incertezas para estas grandezas, estimadas pela imprecisão nos ajustes de mínimos quadrados realizados pela rotina MPFITFUN.

Considerando que a versão original da rotina PROFIT somente é capaz de realizar ajustes de uma linha de emissão isolada e nossos espectros apresentam complexos de linhas, como $[O\ III] \lambda\lambda 4959,5007 + H\beta$, $[N\ II] \lambda\lambda 6548,83 + H\alpha$ e $[S\ II] \lambda\lambda 6716,31$ tivemos que adaptar a rotina para uso nos cubos do GMOS.

Para realizarmos esses ajustes os seguintes procedimentos foram adotados: as linhas de emissão $[N\ II] \lambda\lambda 6548,83$ e $H\alpha$ foram ajustadas simultaneamente para todas as galáxias. O comprimento de onda central e a largura das linhas do $[N\ II]$ foram mantidos acoplados, já que as duas linhas se originam em um mesmo gás (com a mesma cinemática), enquanto que a razão entre os fluxos das linhas do $[N\ II]$ foi fixada em 3 ($[N\ II] \lambda 6583/[N\ II] \lambda 6548 = 3$), correspondente ao valor teórico (Osterbrock; Ferland, 2006). Para as galáxias Mrk 6 e Mrk 79 adotamos o mesmo procedimento utilizado com as linhas $[N\ II] + H\alpha$ para o ajuste das linhas $[O\ III] \lambda\lambda 4959,5007$ e $H\beta$, ou seja, fixamos a razão $[O\ III] \lambda 5007/[O\ III] \lambda 4959 = 3$ e mantivemos acoplada a cinemática das linhas do $[O\ III]$. Nas galáxias Mrk 348 e Mrk 1058 a linha $H\beta$ foi ajustada individualmente com todos os parâmetros livres, enquanto que as linhas $[O\ III] \lambda\lambda 4959,5007$ foram ajustadas simultaneamente com a razão entre elas fixada em 3 e seus parâmetros cinemáticos acoplados. As linhas $H\beta$, $[O\ III] \lambda 4959$ e $[O\ III] \lambda 5007$ foram ajustadas individualmente com todos os parâmetros livres para a galáxia Mrk 607, pois elas aparecem suficientemente separadas nos espectros possibilitando o ajuste do contínuo adjacente a cada linha. No caso de $[S\ II] \lambda\lambda 6716,31$ mantivemos a cinemática das duas linhas fixas para todas as galáxias da amostra e os ajustes das linhas foram simultâneos. A outra linha de emissão, $[O\ I] \lambda 6300$, foi ajustada individualmente, com todos os parâmetros livres, para todas as galáxias. O

Figura 3.6 – Primeira linha: ajustes de curvas Gaussianas para as linhas $H\beta$ e $[O III] \lambda\lambda 4959,5007$. Segunda linha: ajustes para $[N II] \lambda\lambda 6548,83$ e $H\alpha$. Os ajustes da esquerda são para linhas de emissão na posição nuclear, os centrais são à $1''0$ acima do núcleo e os ajustes à direita são à $1''0$ à esquerda do núcleo da galáxia Mrk 6.

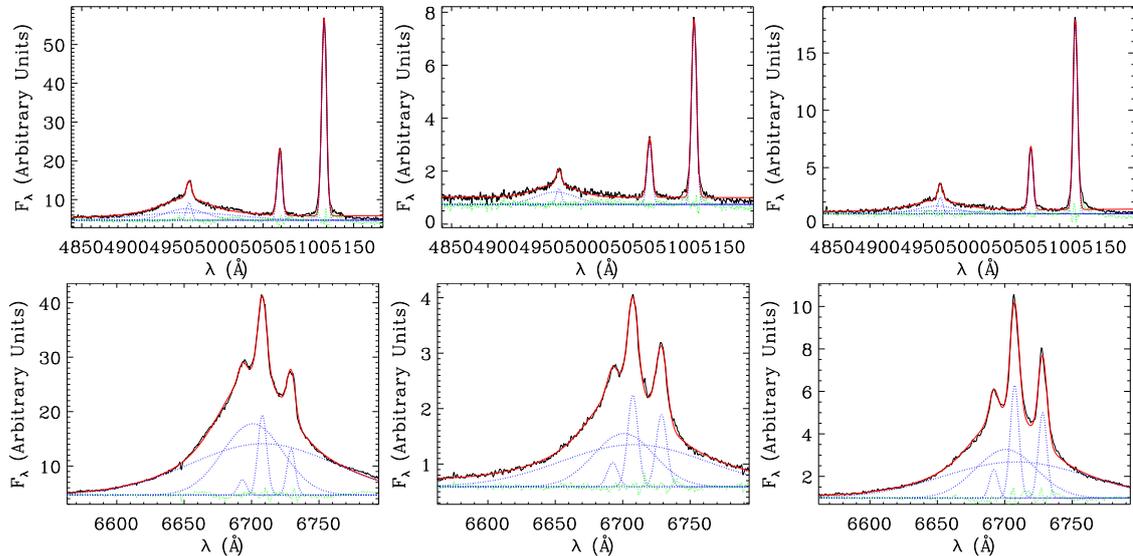


Fonte: A autora.

intervalo espectral utilizado para ajustar cada perfil de linha foi pequeno, por isso o contínuo foi ajustado através de uma equação linear. Na região central das galáxias Mrk 6 e Mrk 79 observa-se que as linhas de emissão $H\alpha$ e $H\beta$ apresentam adicionalmente uma componente larga, esperada para estes objetos que possuem núcleos classificados como Seyfert 1. Uma análise visual do espectro nuclear (mostrado nas Figuras 3.1 e 3.2) indica que a componente larga é matematicamente melhor ajustada se considerarmos a soma de duas curvas gaussianas, ao invés de uma. Dessa forma, os perfis de $[O III] \lambda\lambda 4959,5007 + H\beta$ e $[N II] \lambda\lambda 6548,83 + H\alpha$, para estas galáxias, foram ajustados utilizando-se uma versão do PROFIT que ajusta 5 curvas gaussianas simultaneamente (3 estreitas e 2 largas). Considerando-se que as componentes largas de $H\alpha$ e $H\beta$ originam-se na BLR, a qual não é resolvida por nossas observações, mantivemos o comprimento de onda central e a largura fixos para todas as posições espaciais. Estes valores fixos foram obtidos pelo ajuste do espectro nuclear integrado para uma abertura de $0''.25 \times 0''.25$. Desta forma, somente as amplitudes das componentes largas são parâmetros livres durante os ajustes. Em todos os casos, a escolha entre os ajustes das linhas do $[O III]$ e $H\beta$ simultaneamente ou separados foi realizada com o objetivo de obter o menor número de parâmetros livres em cada ajuste, melhorando assim a convergência do ajuste. As linhas foram ajustadas simultaneamente somente nas situações em que não há regiões de contínuo suficiente para realizar o ajuste da equação linear.

As Figuras 3.6 a 3.10 apresentam exemplos de ajustes Gaussianos para as linhas de emissão $H\beta$, $[O III] \lambda\lambda 4959,5007$, $H\alpha$ e $[N II] \lambda\lambda 6548,83$ nas posições: nuclear, $1''0$ para

Figura 3.7 – Primeira linha: ajustes de curvas Gaussianas para as linhas $H\beta$ e $[O\ III]\ \lambda\lambda 4959,5007$. Segunda linha: ajustes para $[N\ II]\ \lambda\lambda 6548,83$ e $H\alpha$. Os ajustes da esquerda são para linhas de emissão na posição nuclear, os centrais são à $1''0$ acima do núcleo e os ajustes à direita são à $1''0$ à esquerda do núcleo da galáxia Mrk 79.



Fonte: A autora.

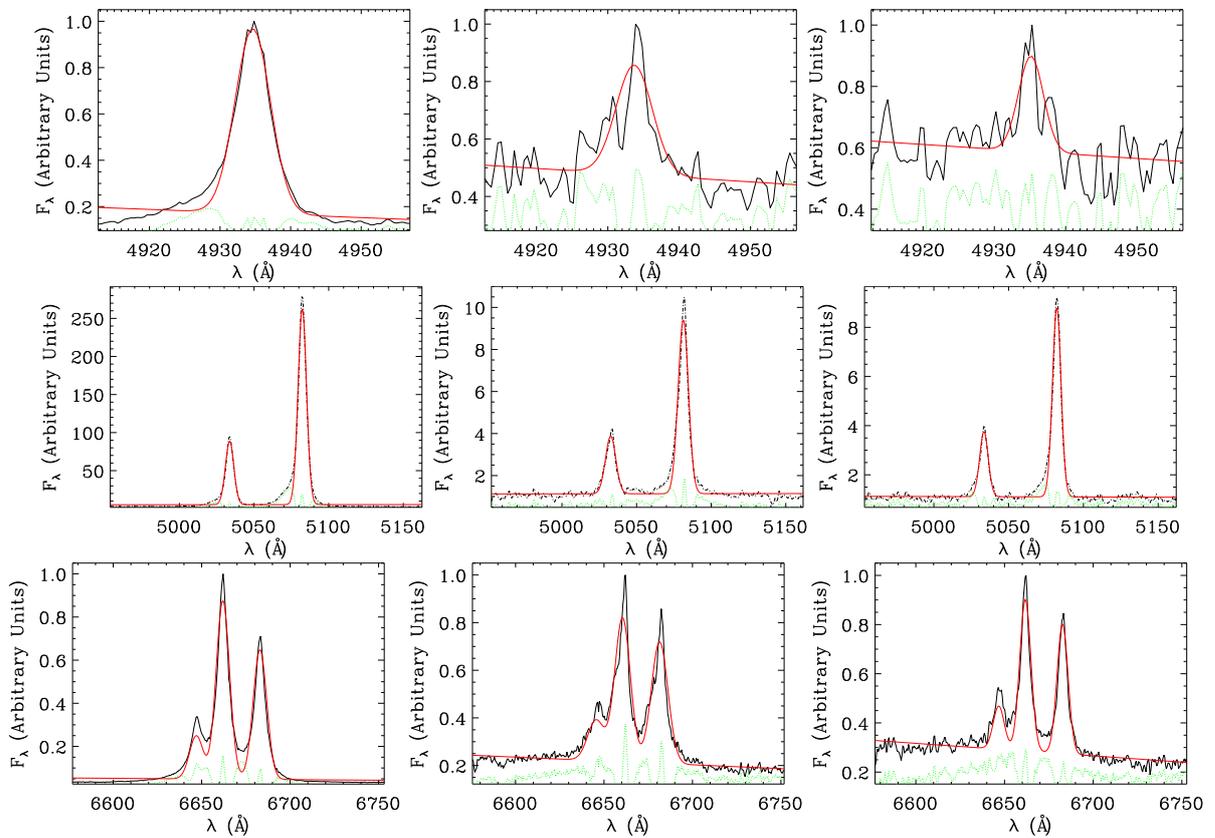
cima e $1''0$ à esquerda do núcleo para Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058, respectivamente. Em cada uma das imagens a curva preta representa a emissão observada, a curva vermelha corresponde o ajuste Gaussiano e a linha verde simboliza o resíduo após o ajuste, ou seja, a diferença entre a emissão (preta) e o ajuste (vermelho). Nas galáxias Mrk 6 e Mrk 79 as curvas azuis representam as componentes largas e estreitas das linhas de emissão.

Embora o perfil das linhas, na maioria das localizações, para todas as galáxias, seja bem reproduzido através de uma única componente Gaussiana, existem componentes duplas ou múltiplas em algumas localizações, em particular para as galáxias Mrk 6 e Mrk 348.

3.3 DIAGRAMAS BPT

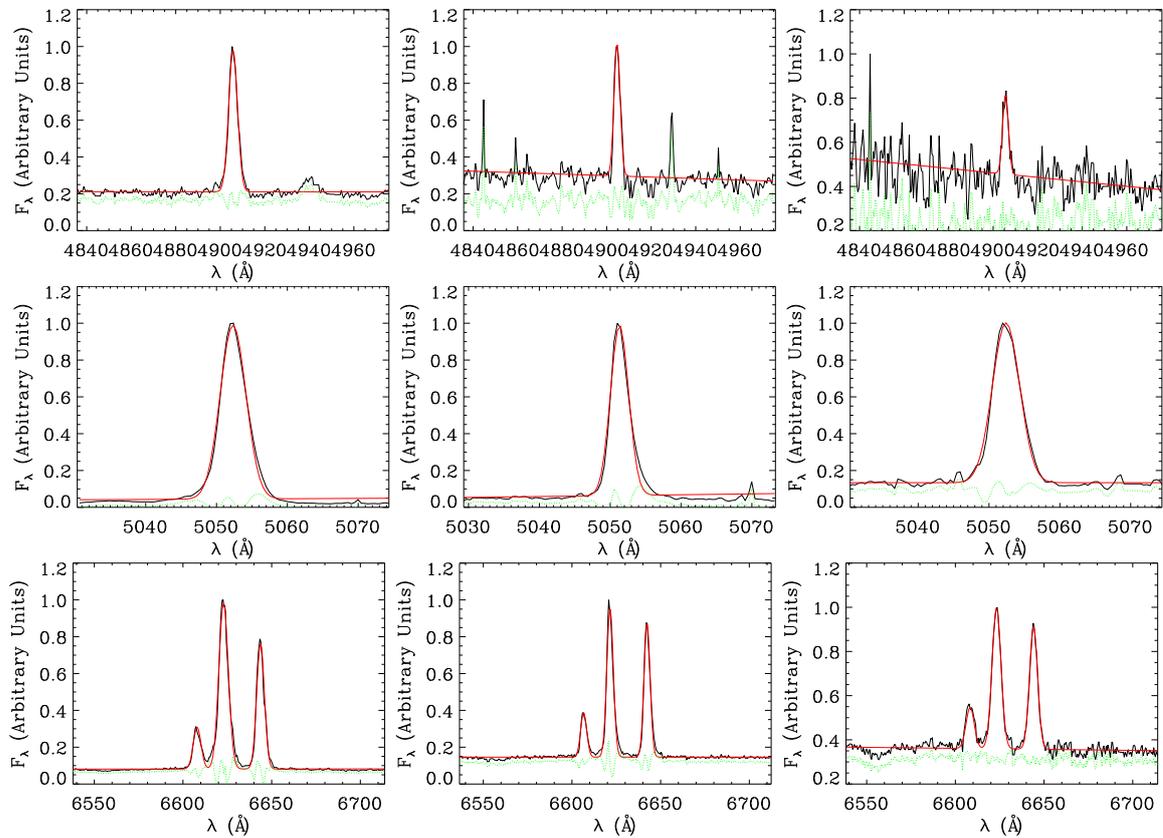
Razões entre os fluxos de determinadas linhas de emissão podem ser utilizadas para mapear a excitação e ionização do gás em diferentes objetos. Uma das formas de se utilizar estas razões é através de um gráfico cartesiano onde cada um dos eixos representa um par de razão de linhas. Tais gráficos são chamados de diagramas de diagnóstico ou diagramas BPT (sigla que se refere as iniciais dos autores Baldwin, Phillips e Terlevich). No trabalho original de Baldwin, Phillips e Terlevich (1981) foram utilizados os seguintes pares de razões de linhas para a construção destes diagramas: $[N\ II]\ \lambda 6583/H\alpha$

Figura 3.8 – Primeira linha: ajustes de curvas Gaussianas para a linha $H\beta$. Segunda linha: ajustes para $[O\text{ III}]\lambda\lambda 4959,5007$. Terceira linha: ajustes para $[N\text{ II}]\lambda\lambda 6548,83$ e $H\alpha$. Os ajustes à esquerda são para linhas de emissão na posição nuclear, os centrais são à $1''0$ acima do núcleo e os ajustes à direita são à $1''0$ à esquerda do núcleo da galáxia Mrk 348.



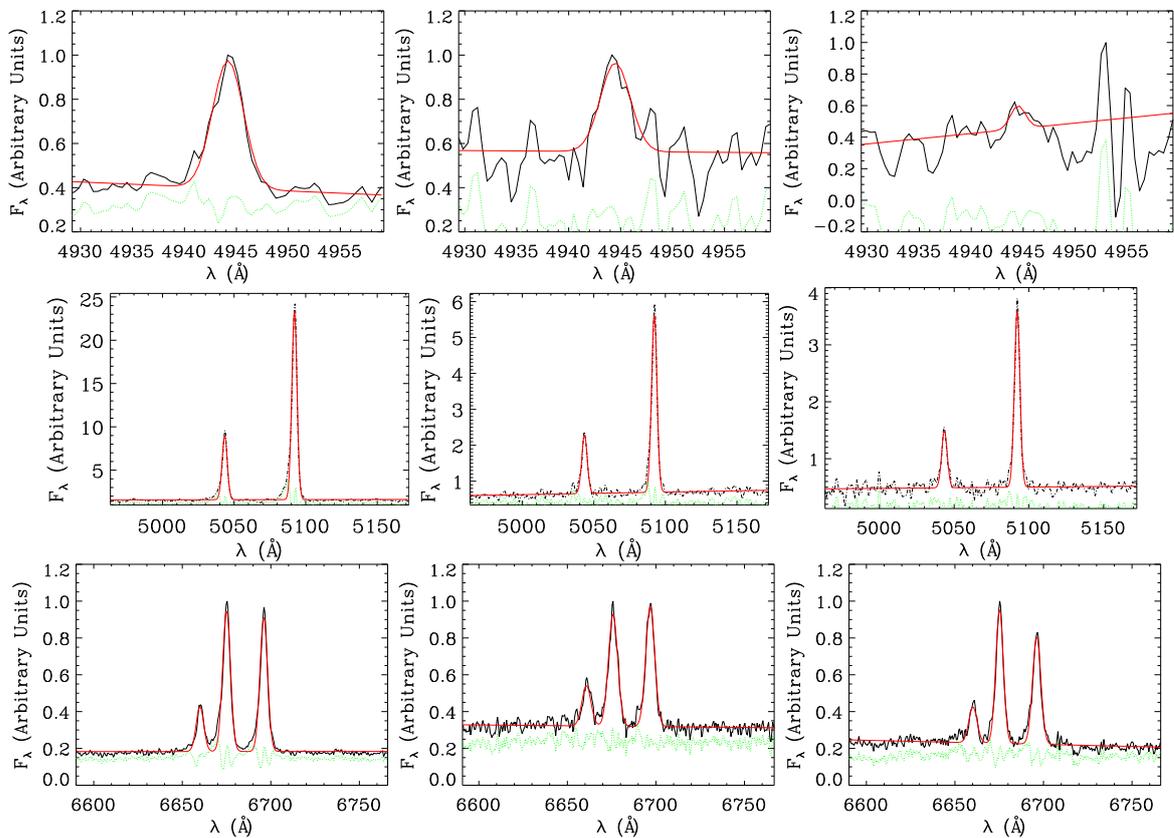
Fonte: A autora.

Figura 3.9 – Primeira linha: ajustes de curvas Gaussianas para as linhas $H\beta$. Segunda linha: ajustes para $[O\text{ III}]\lambda 5007$. Terceira linha: ajustes para $[N\text{ II}]\lambda\lambda 6548,83$ e $H\alpha$. Os ajustes à esquerda são para linhas de emissão na posição nuclear, os centrais são à $1''0$ acima do núcleo e os ajustes à direita são à $1''0$ à esquerda do núcleo da galáxia Mrk 607.



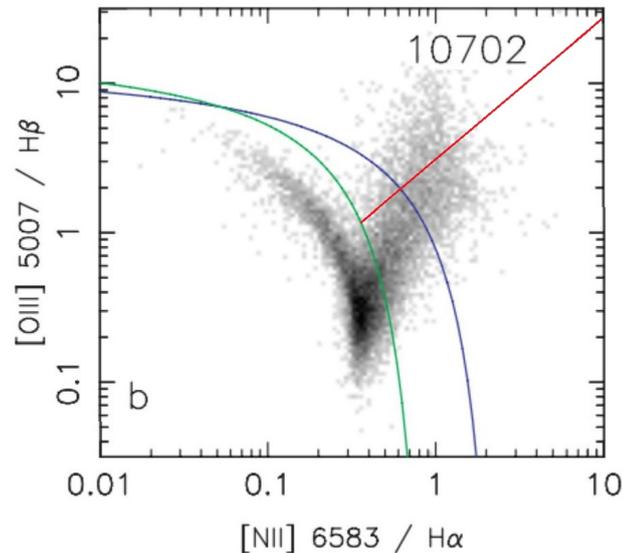
Fonte: A autora.

Figura 3.10 – Primeira linha: ajustes de curvas Gaussianas para a linha $H\beta$. Segunda linha: ajustes para $[O\text{ III}]\lambda\lambda 4959,5007$. Terceira linha: ajustes para $[N\text{ II}]\lambda\lambda 6548,83$ e $H\alpha$. Os ajustes à esquerda são para linhas de emissão na posição nuclear, os centrais são à $1''0$ acima do núcleo e os ajustes à direita são à $1''0$ à esquerda do núcleo da galáxia Mrk 1058.



Fonte: A autora.

Figura 3.11 – Diagrama das razões de linhas $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$. As linhas curvas verde e azul e a linha reta vermelha são divisórias propostas, respectivamente, por Kauffmann et al. (2003), Kewley et al. (2001) e Cid Fernandes et al. (2010) para a classificação de objetos.

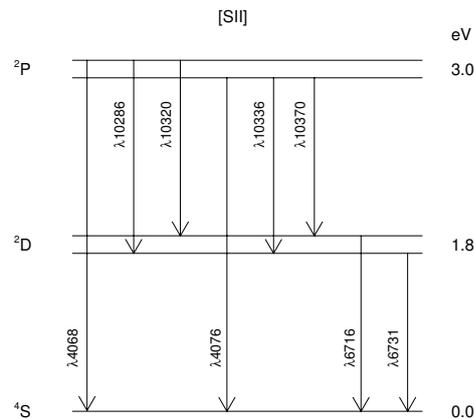


Fonte: Adaptado de Stasińska et al. (2006).

vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$, $[O II] \lambda 3727/[O III] \lambda 5007$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$, $[O II] \lambda 3727/[O III] \lambda 5007$ vs. $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ e $[O II] \lambda 3727/[O III] \lambda 5007$ vs. $[O I] \lambda 6300/H\alpha$. Existem outros pares de razões de linhas que também podem ser utilizados para a construção destes tipos de diagrama, como exemplo podemos citar $[S II] (\lambda 6716 + \lambda 6731)/H\alpha$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$ e $[O I] \lambda 6300/H\alpha$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$ (Veilleux; Osterbrock, 1987). O diagrama proposto inicialmente por estes autores possui uma única linha curva que separa regiões HII de AGNs.

Kewley et al. (2001), Kauffmann et al. (2003) e Cid Fernandes et al. (2010) introduziram linhas a estes diagramas que os dividem em regiões que distinguem várias classes de objetos. Na Figura 3.11 exibimos um exemplo de diagrama das razões de linhas $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$ adaptado do trabalho de Stasińska et al. (2006). Cada ponto corresponde a uma galáxia da amostra de 10702 objetos selecionados do projeto *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS). Quanto mais escuro for o píxel, mais populoso ele é, ou seja, mais objetos apresentam os mesmos valores para as razões de linhas. Esta figura possui duas linhas curvas, uma azul e outra verde, e uma linha reta vermelha, originadas dos trabalhos teórico de Kewley et al. (2001) e empíricos de Kauffmann et al. (2003) e Cid Fernandes et al. (2010), respectivamente. A curva de Kauffmann et al. (2003), mostrada em verde, é empírica, baseada em dados obtidos com o SDSS. À esquerda desta curva ficam as regiões HII e galáxias *Starbursts*. A curva de Kewley et al. (2001), mostrada em azul na figura, foi criada a partir de síntese de população estelar e de modelos de fotoio-

Figura 3.12 – Diagrama dos níveis de energia da configuração p^3 do [S II].



Fonte: A autora.

nização. Entre as curvas verde e azul localizam-se os chamados objetos de transição e à direita da curva azul os AGNs. A linha vermelha introduzida por Cid Fernandes et al. (2010) também foi baseada em dados do SDSS e separa os AGNs entre Seyfert e LINERs.

Neste trabalho optamos por construir o diagrama $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$, devido a estas linhas serem suficientemente intensas na maioria das localizações das galáxias e apresentamos mapas para as razões $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ e $[O III] \lambda 5007/H\beta$ separadamente, com o objetivo de estudar a excitação do gás em diferentes regiões das galáxias.

3.4 MEDIDAS DE DENSIDADE ELETRÔNICA

Quando um átomo ou íon é excitado através de sua colisão com elétrons livres do gás, dizemos que aconteceu uma excitação colisional. Quando os elétrons excitados colisionalmente retornam a níveis de mais baixa energia são emitidos fótons cuja energia é igual a diferença de energia existente entre os níveis em que ocorreu o(s) salto(s).

A razão entre as intensidades de duas linhas emitidas por um mesmo íon e originadas em transições que aconteçam com energias de excitação semelhantes, pode ser utilizada para a determinação de densidade eletrônica. Considerando que as probabilidades de transição radiativa e as taxas de desexcitação colisional sejam diferentes para os dois níveis, então apenas a densidade eletrônica influenciará na população relativa dos níveis. As razões de linhas mais indicadas para a determinação de densidade eletrônica na região óptica do espectro eletromagnético são $[O II] \lambda 3729/\lambda 3726$ e $[S II] \lambda 6716/\lambda 6731$ (Osterbrock; Ferland, 2006). A Figura 3.12 exibe um diagrama com os níveis de energia mais baixos do S II. Nela podemos observar que as linhas $\lambda 6716$ e $\lambda 6731$ são, respectivamente, emitidas em transições dos níveis $^2D_{5/2}$ e $^2D_{3/2}$ para $^4S_{3/2}$.

A Figura 3.13 apresenta uma curva da dependência existente entre as razões de

linhas e a densidade eletrônica, sendo possível observar um intervalo limitado para essa dependência. Considerando a razão de linhas do [S II], por exemplo, podemos verificar que, se $j_{\lambda 6716}/j_{\lambda 6731} = 1,43$ então $N_e \rightarrow 0$, situação na qual toda excitação colisional é seguida pela emissão de um fóton e a desexcitação colisional pode ser desprezada. Quando $j_{\lambda 6716}/j_{\lambda 6731} = 0,46$ então $N_e \rightarrow \infty$, nesse caso os processos físicos de excitação e desexcitação colisional são dominantes e a população relativa dos níveis é estabelecida pela lei de Boltzmann. Dentro desse intervalo, a dependência existente entre as intensidades das linhas e a densidade eletrônica é obtida resolvendo-se as equações de equilíbrio estatístico para o átomo de 5 níveis apresentada por Osterbrock e Ferland (2006):

$$\sum_{j \neq i} N_j N_e q_{ji} + \sum_{j > i} N_j A_{ji} = \sum_{j \neq i} N_i N_e q_{ij} + \sum_{j < i} N_i A_{ij}, \quad (3.1)$$

onde N_j é a quantidade de íons que possuem elétrons no nível j , N_e é a densidade eletrônica, q_{ji} é o coeficiente de excitação colisional do nível i para o nível j e A_{ji} é a probabilidade de transição radiativa de um nível superior j para um nível inferior i .

Resolvendo-se a equação 3.1, levando-se em consideração que $q_{ij} = 0$ para ${}^2P_{1/2}$ e ${}^2P_{3/2}$ e desprezando-se as transições $A({}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{3/2})$ e $A({}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2D_{5/2})$, Writzl (2000) chegou na expressão 3.2 para a aproximação do átomo de 5 níveis:

$$\frac{I([\text{SII}]\lambda 6716)}{I([\text{SII}]\lambda 6731)} = 1,44 \left(\frac{1 + 3,98 \times 10^{-2} \frac{N_e}{T_e^{1/2}}}{1 + 12,83 \times 10^{-2} \frac{N_e}{T_e^{1/2}}} \right), \quad (3.2)$$

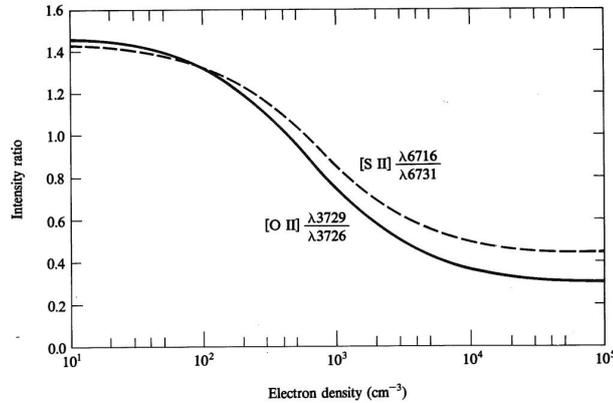
onde $I([\text{SII}]\lambda 6716)$ e $I([\text{SII}]\lambda 6731)$ são as intensidades das linhas [S II] $\lambda 6716$ e [S II] $\lambda 6731$, respectivamente. Nessa equação podemos observar a fraca dependência existente entre a densidade eletrônica (N_e) e a temperatura eletrônica (T_e).

A tarefa *temden* do pacote nebular do STSDAS/IRAF utiliza as equações de equilíbrio estatístico para determinar a densidade eletrônica (Shaw; Dufour, 1995). Utilizamos esta tarefa assumindo uma temperatura de 10^4 K para estipular a densidade eletrônica através das linhas do [S II] e construímos os mapas dessa grandeza para todas as galáxias. Esta temperatura foi escolhida pelo fato de ser uma temperatura típica para a NLR (Osterbrock; Ferland, 2006) e pelo fato da escolha de T_e não ter uma grande influência na medida de N_e .

3.5 AVERMELHAMENTO

A presença de grãos e poeira no meio interestelar provoca uma diminuição na intensidade da luz proveniente de estrelas. As magnitudes estelares observadas são alteradas segundo o comprimento de onda (Maciel, 2002). Essa diferença entre os comprimentos de

Figura 3.13 – As linhas sólida e tracejada representam a dependência entre as razões de linhas e a densidade eletrônica para o [O II] e [S II], respectivamente. Esta dependência foi plotada considerando-se uma temperatura de 10 000 K.



Fonte: Osterbrock e Ferland (2006).

onda da luz emitida e observada acontece devido ao espalhamento e absorção da radiação pelo meio. Quanto menor o comprimento de onda da radiação incidente mais afetada ela será pela extinção. Este fenômeno não acontece apenas com a luz emitida por estrelas mas também com qualquer radiação que atravesse esse meio, como por exemplo, a radiação emitida por gases. Para a emissão do gás este fenômeno pode ser calculado utilizando-se a razão entre os fluxos das linhas de emissão H α /H β , por exemplo, como descrita abaixo.

A extinção interestelar (A_λ) em um determinado comprimento de onda pode ser obtida através da diferença entre as magnitudes observada (m_2) e real (m_1) (Maciel, 2002):

$$m_2 - m_1 = A_\lambda = 2,5 \log \frac{F_o}{F_e} \quad (3.3)$$

onde F_o é o fluxo observado e F_e é o fluxo emitido.

Considerando-se as linhas H α e H β na equação (3.3), teremos:

$$A_{H_\alpha} = m_{2H_\alpha} - m_{1H_\alpha} = 2,5 \log \frac{F_{oH_\alpha}}{F_{eH_\alpha}} \quad (3.4)$$

e

$$A_{H_\beta} = m_{2H_\beta} - m_{1H_\beta} = 2,5 \log \frac{F_{oH_\beta}}{F_{eH_\beta}} \quad (3.5)$$

Subtraindo-se a equação 3.4 da equação 3.5, obtém-se:

$$A_{H_\beta} - A_{H_\alpha} = 2,5 \log \left(\frac{F_{oH_\beta}}{F_{eH_\beta}} \frac{F_{eH_\alpha}}{F_{oH_\alpha}} \right) \quad (3.6)$$

Podemos escrever A_{H_α} e A_{H_β} da seguinte maneira:

$$A_{H\alpha} = A_V \left(\frac{A_{H\alpha}}{A_V} \right) \quad \text{e} \quad A_{H\beta} = A_V \left(\frac{A_{H\beta}}{A_V} \right) \quad (3.7)$$

Definindo q_λ como sendo o valor médio da razão entre a extinção em uma faixa centrada em λ e a extinção na banda V,

$$q_\lambda = \left\langle \frac{A_\lambda}{A_V} \right\rangle \quad (3.8)$$

Substituindo a igualdade acima em 3.7, temos:

$$A_{H\alpha} = A_V q_{H\alpha} \quad \text{e} \quad A_{H\beta} = A_V q_{H\beta} \quad (3.9)$$

Subtraindo $A_{H\alpha}$ de $A_{H\beta}$, temos:

$$A_{H\beta} - A_{H\alpha} = A_V (q_{H\beta} - q_{H\alpha}) \quad (3.10)$$

Comparando as relações 3.6 e 3.10, temos:

$$A_V (q_{H\beta} - q_{H\alpha}) = 2,5 \log \left(\frac{\frac{F_{oH\beta}}{F_{oH\alpha}}}{\frac{F_{eH\alpha}}{F_{eH\beta}}} \right) \quad (3.11)$$

Considerando-se a extinção dada por:

$$A_V = R_V E(B - V) \quad (3.12)$$

onde A_V é a extinção total na banda V, $E(B - V)$ é o excesso de cor e R_V é uma constante dada pela razão entre a extinção total e a extinção seletiva.

Substituindo 3.12 em 3.11 e assumindo $R_V = 3,1$, como sendo um valor médio para a Via Láctea (Cardelli; Clayton; Mathis, 1989), temos:

$$E(B - V) = \frac{0,81}{q_{H\beta} - q_{H\alpha}} \log \left(\frac{\frac{F_{oH\beta}}{F_{oH\alpha}}}{\frac{F_{eH\alpha}}{F_{eH\beta}}} \right) \quad (3.13)$$

Considerando-se duas bandas espectrais, B e R, onde na banda B temos a linha $H\beta$ ($\lambda 4861 \text{ \AA}$) e na banda R a linha de emissão $H\alpha$ ($\lambda 6563 \text{ \AA}$), da tabela 3 de Cardelli, Clayton e Mathis (1989), temos que $q_{H\beta} = 1.337$ e $q_{H\alpha} = 0.751$.

Substituindo estes valores na equação 3.13, obtém-se:

$$E(B - V) = 1,38 \log \left(\frac{\frac{F_{oH\beta}}{F_{oH\alpha}}}{\frac{F_{eH\alpha}}{F_{eH\beta}}} \right) \quad (3.14)$$

A expressão 3.14 foi obtida considerando-se a lei do avermelhamento de Cardelli, Clayton e Mathis (1989). Adotando a razão teórica das intensidades das linhas $F_{eH\alpha}/F_{eH\beta} = 2,86$, correspondente ao caso B de recombinação para o H I, adotando $Ne = 100 \text{ cm}^{-3}$ e

$T_e = 10\,000\text{ K}$ (Osterbrock; Ferland, 2006), obtém-se:

$$E(B - V) = 1,38 \log \left(\frac{F_{\text{H}\beta}}{F_{\text{H}\alpha}} \right) \quad (3.15)$$

Através da expressão 3.15, construímos os mapas para $E(B - V)$ de todas as galáxias de nossa amostra.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos mapas bidimensionais para as distribuições de fluxo, cinemática do gás e razões de intensidades de linhas de emissão para as linhas mais intensas presentes nos espectros das galáxias de nossa amostra.

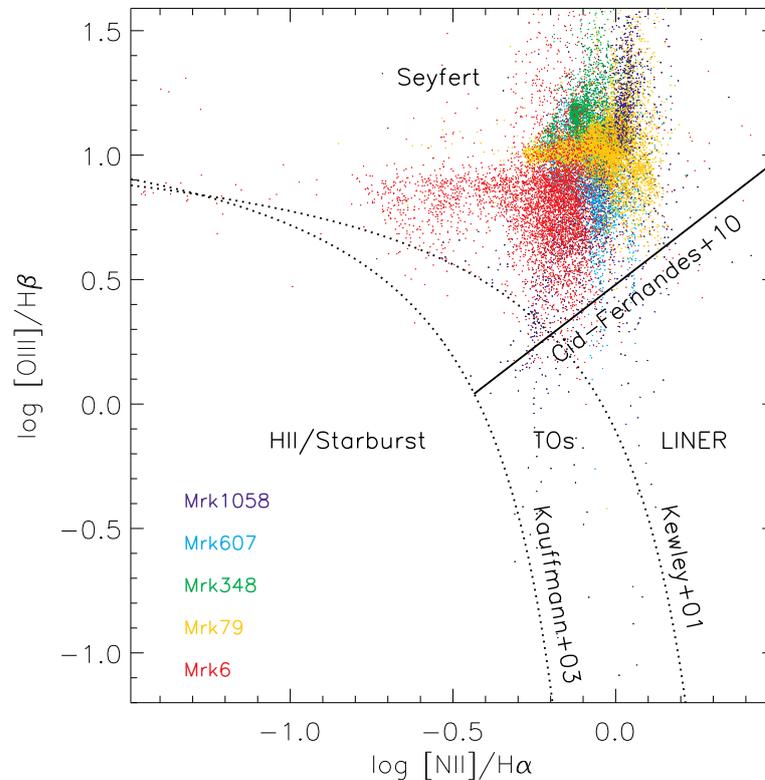
Os resultados apresentados neste capítulo fazem parte de um artigo intitulado "Outflows in the Narrow Line Region of Bright Seyfert Galaxies - I: GMOS – IFU Data" aceito para publicação no periódico *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* em fevereiro de 2018.

4.1 DIAGRAMA [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ vs. [O III] $\lambda 5007/H\beta$

A Figura 4.1 mostra o diagrama de razões de intensidades de linhas de emissão [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ vs. [O III] $\lambda 5007/H\beta$ para as cinco galáxias da amostra. Cada par existente entre as razões é representado por um ponto no diagrama. Incluímos neste diagrama apenas regiões onde as incertezas nas medidas dos fluxos para as quatro linhas de emissão são menores que 30%, a fim de excluir dados espúrios. No diagrama, cada galáxia é mostrada por uma cor distinta: Mrk 6 é representada por pontos vermelhos, Mrk 79 é representada em amarelo, Mrk 348 em verde, Mrk 607 em azul e Mrk 1058 em roxo. As curvas pontilhadas representam a divisão entre galáxias com formação estelar (*Starbursts*) e AGNs propostas por Kauffmann et al. (2003) e Kewley et al. (2001). À esquerda da curva proposta por Kauffmann et al. (2003) localizam-se as *Starbursts*. À direita da curva proposta por Kewley et al. (2001) localizam-se os AGNs. Entre estas duas curvas estão localizados os objetos de transição. A linha sólida, proposta por Cid Fernandes et al. (2010), separa AGNs entre Seyfert e LINERs.

Para as 5 galáxias, todos os pontos são observados na região onde encontram-se os núcleos Seyfert no diagrama BPT. Portanto, a excitação do gás no kiloparsec central destas galáxias é dominada por radiação do AGN. Este resultado é esperado já que todas as galáxias da nossa amostra são AGNs intensos e resultados similares já foram observados para outras galáxias Seyfert (Couto et al., 2013; Lena et al., 2015; Kaplan et al., 2016). Por outro lado, para AGNs com baixa luminosidade, é comum observar-se emissão estendida das linhas no kiloparsec central cobrindo distintas regiões do diagrama [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ vs. [O III] $\lambda 5007/H\beta$ (Brum et al., 2017). Embora o diagrama mostre apenas pontos dentro da região de Seyfert para todas as galáxias, os mapas individuais das razões de linhas mostram variações espaciais (Figuras 4.2 a 4.6), indicando variações na ionização/excitação do gás ao longo da NLR. Discutiremos os mapas para estas razões de fluxos de linhas nas próximas seções, onde descreveremos os resultados obtidos para

Figura 4.1 – Diagrama das razões de linhas $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ vs. $[O III] \lambda 5007/H\beta$. As curvas pontilhadas são divisórias propostas por Kauffmann et al. (2003) e Kewley et al. (2001) para a classificação de galáxias. A linha sólida representa a divisão entre galáxias Seyfert e LINERs de Cid Fernandes et al. (2010).



Fonte: A autora.

cada objeto individualmente.

4.2 ORGANIZAÇÃO DOS MAPAS BIDIMENSIONAIS

Nas Figuras 4.2 a 4.6 apresentamos mapas bidimensionais para as distribuições de fluxo, cinemática e razões de intensidades linhas para as galáxias Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058, respectivamente. Cada figura está estruturada da seguinte maneira:

- Painel do topo esquerdo → imagem de banda larga mostrando a galáxia em grande escala, obtida com a WFPC2 através do filtro F606W do HST (Malkan; Gorjian; Tam, 1998). Estas imagens estão sendo usadas para ilustrar a emissão do contínuo em grande escala de cada galáxia. A orientação espacial de nossos dados GMOS está mostrada no topo esquerdo destes painéis. A barra de cores mostra o fluxo em unidades arbitrárias;
- Painel do topo central → imagem em banda estreita centrada na linha do $[O III] \lambda 5007$,

obtida com a WFPC2 através do filtro Ramp Linear do HST (Schmitt et al., 2003). A barra de cores mostra o fluxo em unidades de $10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. As imagens cobrem a região central de $6'' \times 6''$ para as galáxias Mrk 6, Mrk 348 e Mrk 607, de $8'' \times 8''$ para Mrk 79 e $4'' \times 4''$ para Mrk 1058. A resolução espacial destas imagens é $\approx 0''.1$, cerca de 5 vezes melhor que a dos nossos dados;

- Painel do topo direito → mapa para o avermelhamento obtido a partir da razão dos fluxos das linhas de emissão $H\alpha/H\beta$, seguindo a metodologia apresentada na Seção 3.5;
- Painel esquerdo da segunda linha → distribuição de fluxo para $H\alpha$ obtida através do ajuste de uma Gaussiana ao perfil da linha. A barra de cores mostra o fluxo em unidades logarítmicas de $\text{erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$;
- Painel central da segunda linha → mesmo do painel anterior para a linha do $[\text{O III}]\lambda 5007$, com contornos da emissão rádio, em verde, obtidos em 3,6 cm por Schmitt et al. (2001). Para as galáxias Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058 não são mostrados contornos rádio;
- Painel direito da segunda linha → mapa da razão de fluxos de linhas $[\text{N II}]\lambda 6583/H\alpha$, mapeando a excitação do gás;
- Painel esquerdo da terceira linha → campo de velocidade obtido a partir da linha $H\alpha$. A barra de cores mostra as velocidades ao longo da linha de visada (V_{LOS} - *line-of-sight velocity*) em unidades de km s^{-1} , após a subtração da velocidade sistêmica da galáxia. Esta última é definida como a velocidade medida para a componente estreita da linha de emissão $H\beta$ para a região central de $0''.25 \times 0''.25$. A linha branca representa a orientação do disco em grande escala, medido usando imagens em banda-I por Schmitt e Kinney (2000);
- Painel central da terceira linha → mesmo do painel anterior para a linha de emissão do $[\text{O III}]\lambda 5007$, com contornos da imagem rádio, em branco, obtidos em 3,6 cm por Schmitt et al. (2001). Para as galáxias Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058 não são mostrados contornos rádio;
- Painel direito da terceira linha → mapa para a razão das intensidades das linhas de emissão $[\text{O III}]\lambda 5007/H\beta$;
- Painel esquerdo da base → mapa de dispersão de velocidades para $H\alpha$, com a barra de cores mostrando valores de σ em unidades de km s^{-1} ;
- Painel central da base → mesmo do painel anterior para a linha de emissão $[\text{O III}]\lambda 5007$, com contornos da imagem rádio, em verde, obtidos em 3,6 cm por Sch-

mitt et al. (2001). Para as galáxias Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058 não são mostrados contornos rádio;

- Painel direito da base → mapa de densidade eletrônica obtido a partir da razão dos fluxos das linhas [S II] $\lambda\lambda 6716/6731$, assumindo uma temperatura eletrônica de $T_e = 10\,000$ K e usando a rotina *temden* IRAF, conforme metodologia apresentada na Seção 3.4.

As distribuições de fluxo para as linhas de emissão $H\beta$, [O I] $\lambda 6300$, [N II] $\lambda 6583$ e [S II] $\lambda 6731$, são mostradas na Figura 4.7. Optamos por não mostrar os mapas da cinemática para estas linhas porque eles são similares àqueles mostrados para as linhas do [O III] $\lambda 5007$ e do $H\alpha$ exibidos nas Figuras 4.2 – 4.6 para todas as galáxias da nossa amostra.

Regiões em cinza nos mapas de fluxo, dispersão de velocidades e razões de linhas, bem como regiões brancas nos campos de velocidade correspondem a posições onde a razão sinal/ruído não foi suficientemente alta para obter-se bons ajustes dos perfis das linhas de emissão. Nas outras localizações, as incertezas nos mapas de fluxos e nos mapas da cinemática (campo de velocidade e dispersão de velocidade) são menores que 30% e 30 km s^{-1} , respectivamente. Para a maioria das localizações as incertezas nos fluxos e velocidades das linhas [O III] $\lambda 5007$ e $H\alpha$ são menores que 10% e 15 km s^{-1} , respectivamente.

As linhas de emissão mais intensas apresentam emissão estendida até as bordas do campo de visão para todas as galáxias, correspondendo a extensões típicas que variam de $(0,6 \text{ a } 0,9) \times (1,5 \text{ a } 2,2)\text{ kpc}^2$. Todas as linhas de todas as galáxias apresentam máxima emissão na região nuclear.

Os campos de V_{LOS} para as linhas $H\alpha$ e [O III] $\lambda 5007$ são mostrados nas Figuras 4.2 a 4.6 para todas as galáxias. As velocidades são mostradas em relação a velocidade sistêmica de cada galáxia, adotada como aquela correspondente ao comprimento de onda central da componente estreita da linha de emissão $H\beta$ obtido a partir do ajuste dos perfis vistos nos espectros nucleares mostrados nas Figuras 3.1 a 3.5. As velocidades sistêmicas heliocêntricas encontradas são $5\,603\text{ km s}^{-1}$, $6\,546\text{ km s}^{-1}$, $4\,488\text{ km s}^{-1}$, $2\,776\text{ km s}^{-1}$ e $5\,066\text{ km s}^{-1}$ para Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058, respectivamente.

Nas seções a seguir descrevemos os resultados para cada galáxia.

4.3 MRK 6

Os mapas bidimensionais para as propriedades físicas de Mrk 6 medidas neste trabalho são apresentados nas Figuras 4.2 e 4.7.

As linhas de emissão mais intensas em Mrk 6 ($H\beta$, $[O III] \lambda 5007$, $[O I] \lambda 6300$, $[N II] \lambda 6583$, $H\alpha$ e $[S II] \lambda 6731$) apresentam emissão estendida por todo o campo de visão do GMOS de $3''.5 \times 5''.0$, correspondente as dimensões $1,3 \times 1,9 \text{ kpc}^2$. Esta galáxia mostra uma estrutura alongada de $1''.5$ (575 pc) para o norte do núcleo em níveis de fluxo intermediários, sendo mais evidente para as linhas de emissão mais intensas ($[O III] \lambda 5007$, $H\alpha$ e $[N II] \lambda 6583$), enquanto em níveis de fluxo mais baixos a emissão é mais alongada ao longo da direção noroeste-sudeste, aproximadamente coincidente com a orientação do eixo maior da galáxia que está indicada no painel para o campo de velocidade para a linha de emissão $H\alpha$. A alongação para o norte está em concordância com aquela observada na imagem de banda estreita do $[O III] \lambda 5007$ do HST, embora esta última mostre várias subestruturas devido a mais alta resolução espacial.

Os campos de V_{LOS} para Mrk 6 apresentam padrão de rotação distorcido com *blueshifts* observados para o norte e *redshifts* para o sul do núcleo, com uma amplitude de velocidade projetada de $\approx 200 \text{ km s}^{-1}$. Embora o padrão de rotação esteja presente em ambos os campos de velocidade, algumas diferenças são observadas entre eles. Em particular, os mais altos *redshifts* são observados a $\approx 1''.0$ ao sul do núcleo no campo de velocidade para o $[O III] \lambda 5007$, enquanto para $H\alpha$ as mais altas velocidades são observadas próximas a margem do campo de visão do GMOS em $\approx 2''.0$ para sudoeste do núcleo.

Esta galáxia mostra valores de σ variando de $\approx 100 \text{ km s}^{-1}$ a $\approx 450 \text{ km s}^{-1}$. O mapa para $H\alpha$ apresenta os mais altos valores de σ em uma região alargada com forma curvada e centrada em $0''.7$ nordeste do núcleo. Esta estrutura parece corresponder a emissão estendida observada no mapa de fluxo. O mapa σ para $[O III] \lambda 5007$ também mostra uma estrutura em formato de arco, parcialmente co-espacial com aquela observada para $H\alpha$, porém os mais altos valores são observados (em distâncias similares) para sul e sudoeste do núcleo.

O mapa para a razão de fluxos $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ mostra valores variando de 0,4 a 0,8, com as mais baixas razões observadas para nordeste do núcleo, região aproximadamente co-espacial com aquela em formato de arco e que apresenta maior dispersão de velocidades para $H\alpha$ e que também apresenta os mais altos valores de $E(B - V)$, que discutiremos em seguida. O mapa para $[O III] \lambda 5007/H\beta$ mostra valores em torno de 8 em uma faixa de $\approx 1''.0$ que passa pelo núcleo e vai de nordeste a sudoeste, seguindo aproximadamente a mesma orientação da imagem de banda estreita do $[O III] \lambda 5007$ obtida com o HST. Valores mais baixos, de $\approx 0,5$ são vistos ao redor desta faixa, porém existem algumas estruturas com maiores valores localizadas além desta região, por exemplo, para sudoeste do núcleo.

O mapa para o avermelhamento desta galáxia apresenta valores que variam de 0,2 a 0,9, com as mais altas medidas observadas no núcleo e estendendo-se até $\approx 1''.0$ para nordeste, mesma posição onde há um aumento na dispersão de velocidades, observado no mapa $H\alpha$. Algumas regiões onde $E(B - V) \gtrsim 0,7$ são observadas em $\approx 1''.5$ a partir do núcleo para sudoeste e sul.

O mapa de densidade eletrônica mostra valores variando de 100 a 1800 cm^{-3} , com os mais altos valores observados no núcleo e a partir dele, em distâncias de até $1''.0$ ao longo da direção nordeste-sudoeste. Existem duas estruturas não resolvidas localizadas a $0''.4$ para nordeste e $0''.2$ para sudoeste do núcleo em que a densidade eletrônica é mais elevada. Ao longo da direção noroeste-sudeste em distâncias maiores que $1''.0$, o mapa de N_e mostra valores menores, de $\approx 800 \text{ cm}^{-3}$. No núcleo tem-se $N_e \approx 1300 \text{ cm}^{-3}$.

4.4 MRK 79

Os mapas bidimensionais para as propriedades físicas de Mrk 79 medidas neste trabalho são apresentados nas Figuras 4.3 e 4.7.

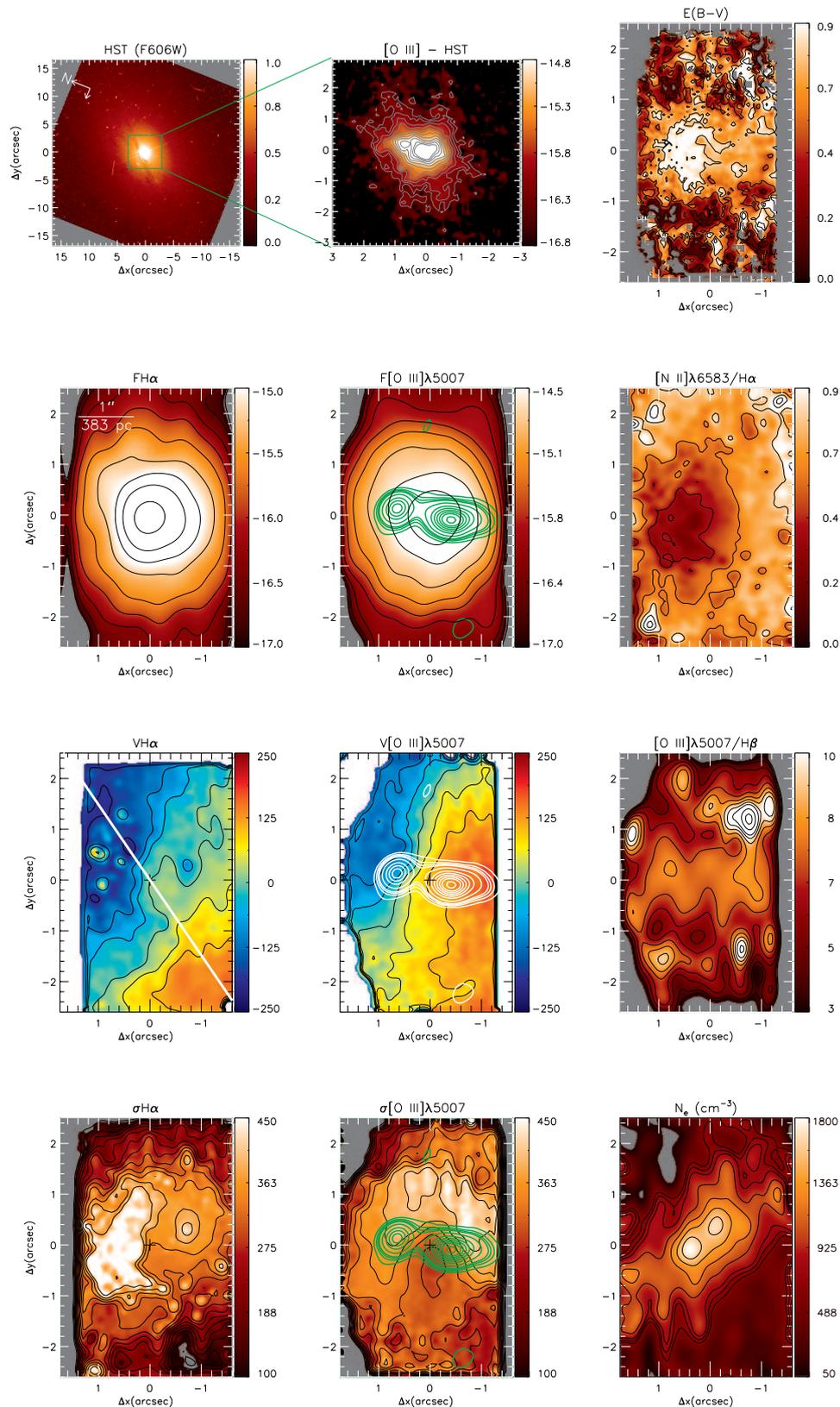
Mrk 79 apresenta distribuições de fluxo semelhantes para as linhas de emissão mais intensas, sendo estendida por todo o campo de $1,5 \times 2,2 \text{ kpc}^2$. Todos os mapas de fluxo mostram uma alongação curvada até as margens do campo de visão de $1,1 \text{ kpc}$ para o norte do núcleo. Esta estrutura faz um ângulo de $\approx 50^\circ$ com a orientação do eixo maior da galáxia, que está indicada no mapa para V_{LOS} para a linha $H\alpha$. Comparando os mapas de fluxos obtidos com os dados de IFU do GMOS com a imagem em banda estreita do [O III] do HST, podemos concluir que os mapas são similares, porém o mapa do HST revela uma quantidade maior de estruturas em pequena escala devido a melhor resolução espacial desses dados.

Os campos de velocidade desta galáxia apresentam duas estruturas em *blueshifts* de até -90 km s^{-1} que se destacam: uma localizada em $\approx 1''.5$ (666 pc) para sudeste e outra $\approx 1''.0$ (444 pc) para o norte do núcleo, em localizações coincidentes com as estruturas vistas na imagem de banda estreita do [O III]. Além disso, alguns *redshifts* são observados para oeste do núcleo em distâncias maiores que $2''.0$ dele, visto mais claramente no mapa do $H\alpha$.

Os mapas de σ para Mrk 79 mostram valores variando de 80 a 180 km s^{-1} , com o mapa para [O III] mostrando maior dispersão de velocidades que o mapa para $H\alpha$. Os mais altos valores são observados em uma estrutura bipolar orientada ao longo da direção leste-oeste, enquanto os mais baixos valores são vistos em uma direção perpendicular a esta, ou seja, norte-sul, mesma direção onde os mapas de fluxo apresentam emissão mais intensa.

O mapa para a razão $[\text{N II}]/H\alpha$ mostra os menores valores ($\approx 0,3$) no núcleo e observa-se que estas razões aumentam gradativamente quando afasta-se da região nuclear indo em direção às margens do campo, atingindo valores de até 1,3 em distâncias maiores que $2''.0$. O mapa para a razão $[\text{O III}]/H\beta$ apresenta valores que variam entre 4 e 11, com valores em torno de 10 aproximadamente ao longo da direção norte-sul, seguindo a mesma orientação colimada da emissão do [O III] observada na imagem de banda estreita

Figura 4.2 – Mrk 6: 1ª linha: imagem em grande escala (painel esquerdo), imagem em banda estreita do [O III] $\lambda 5007$ obtida com o HST (painel central) e mapa de $E(B - V)$ (painel direito). 2ª linha: distribuições de fluxo para $H\alpha$ (esquerdo) e [O III] $\lambda 5007$ (central) e mapa da razão [N II]/ $H\alpha$ (direito). 3ª linha: campos de velocidade para $H\alpha$ (esquerdo) e [O III] (central) e Mapa da razão [O III]/ $H\beta$ (direito). 4ª linha: mapas de σ para $H\alpha$ (esquerdo) e [O III] (central) e mapa de densidade eletrônica (direito). A cruz central em alguns painéis marca o pico de emissão do contínuo.



obtida com o HST. Razões em torno de 6 aparecem a $\approx 2''.0$ do núcleo para as direções leste e oeste da imagem. Os mais altos valores (≥ 12) são observados próximos a margem do campo em distâncias de $\geq 1''.0$.

Para esta galáxia o mapa para $E(B - V)$ apresenta valores que variam de 0,4 a 0,8. Este mapa apresenta um gradiente com os mais altos valores sendo observados para o lado sul do núcleo e os menores valores para o norte dele. Este gradiente é observado aproximadamente perpendicular à orientação do eixo maior da galáxia. A região de mais altos valores para o avermelhamento praticamente coincide com os *blueshifts* observados nos campos de velocidade e também com as posições onde os valores da razão $[O III]/H\beta$ são maiores.

Os valores mais altos de densidade eletrônica para Mrk 79 são observados no núcleo e se estendem até uma distância de $\approx 0''.4$ a partir dele. Alguns altos valores também são observados para noroeste, próximos a margem do campo do GMOS, co-espacial com a região de alta dispersão de velocidades mais evidentes no mapa para o $[O III]$. Baixos valores ($\approx 100 - 300 \text{ cm}^{-3}$) de densidades eletrônicas são observadas nas demais regiões.

4.5 MRK 348

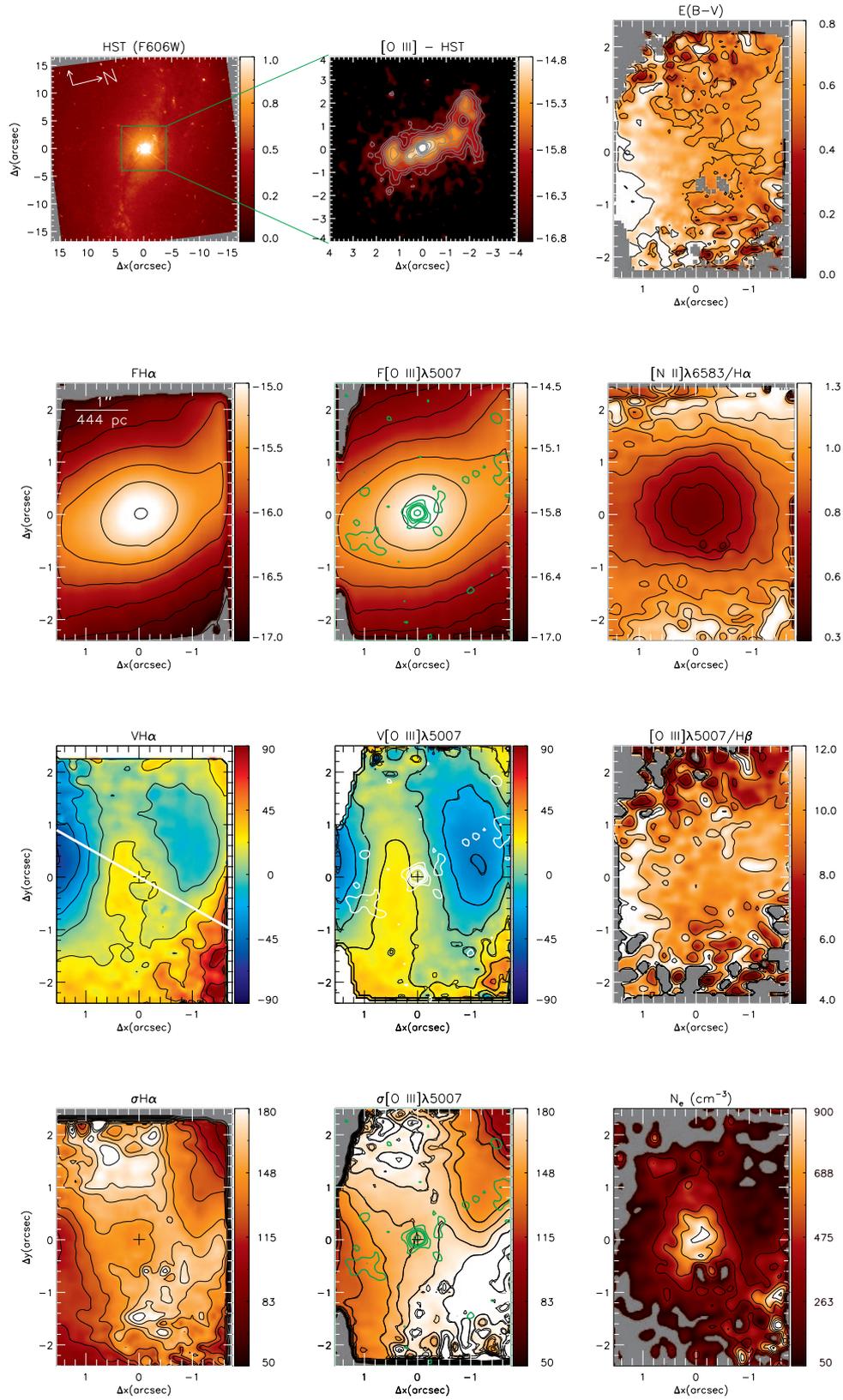
Os mapas bidimensionais para as propriedades físicas de Mrk 348 medidas neste trabalho são apresentados nas Figuras 4.4 e 4.7.

Os mapas originados a partir de ajustes das linhas de emissão $H\beta$ e $[O I] \lambda 6300$ para a galáxia Mrk 348 são limitados à região mais interna de $\approx 1''.5$ (465 pc), enquanto as outras linhas mostram emissão estendida sobre todo o campo de visão ($1,1 \text{ kpc} \times 1,5 \text{ kpc}$), com os mais altos níveis de emissão sendo alongados ao longo da direção nordeste-sudoeste. A imagem de banda estreita para o $[O III]$ do HST mostra duas estruturas de mais alta emissão, uma centrada no núcleo e outra $\approx 0''.8$ para sudoeste dele. Estas estruturas não são vistas em nossos mapas de fluxo provavelmente porque a resolução espacial de nossos dados é cerca de 4 a 5 vezes menor que a do HST, porém podemos observar que os níveis de mais alto fluxo em nossos dados são consistentes com os da imagem de banda estreita.

Duas estruturas são observadas em $\approx 1''.5$ (465 pc) para nordeste e para sudoeste do núcleo em ambos os campos de velocidade para Mrk 348. A estrutura localizada para nordeste mostra *blueshifts* de até -200 km s^{-1} , enquanto que a estrutura localizada para sudoeste mostra *redshifts* com amplitudes similares. Os perfis das linhas nessas posições são bastante complexos e não são bem ajustados por uma única componente Gaussiana, possivelmente indicando a presença de *outflows* de gás a partir do núcleo da galáxia.

Os valores de σ variam de 50 a 200 km s^{-1} , com os mais altos valores sendo obser-

Figura 4.3 – Idem a figura 4.2 para a galáxia Mrk 79.



Fonte: A autora.

vados nas mesmas posições das estruturas *blueshifted* e *redshifted* vistas nos campos de velocidade em $\approx 1''.5$ para nordeste e sudoeste do núcleo. Estas estruturas são consistentes com a interpretação que elas correspondem a presença de gás em *outflow*. Nas proximidades do núcleo os valores de σ estão entre 150 e 200 km s⁻¹, enquanto valores mais baixos são observados além das estruturas *blueshifted* e *redshifted*.

Os menores valores da razão de fluxos [N II]/H α são observados em $\approx 1''.5$ a partir do núcleo para sudoeste, em uma localização além daquelas observadas para a emissão estendida da imagem para [O III] do HST e dos mapas de fluxo para [O III] e H α do GMOS. Os valores mais altos estão localizados em distâncias de $\approx 2''.0$ para as direções norte, nordeste e sul. Devido a baixa razão sinal/ruído obtida no mapa da linha de emissão H β , conseguimos obter a razão de fluxos [O III] $\lambda 5007$ /H β apenas para a região central, de $\approx 1''.5$ de raio. As razões mais altas (≈ 15) são observadas no núcleo e estes valores estendem-se para nordeste e para sudeste dele. Razões mais baixas (≈ 10) são observadas para norte e sudoeste do núcleo.

Mrk 348 mostra $0,2 < E(B - V) < 0,7$, com os valores mais altos observados no núcleo e os menores estando localizados em distâncias maiores que $\approx 0''.5$ a partir dele. O avermelhamento também é mais elevado a $\approx 0''.8$ para sudoeste onde a imagem de banda estreita do [O III] apresenta uma estrutura de maior emissão.

O mapa de N_e apresenta valores variando de 100 – 1100 cm⁻³, com as densidades eletrônicas mais altas sendo observadas no núcleo. Este mapa apresenta uma estrutura alongada, a até $1''.5$, para sudoeste onde $N_e \approx 850$ cm⁻³. Esta região coincide com a estrutura *redshifted* nos campos de velocidade e também com os maiores valores de dispersão de velocidades observadas nos mapas de σ .

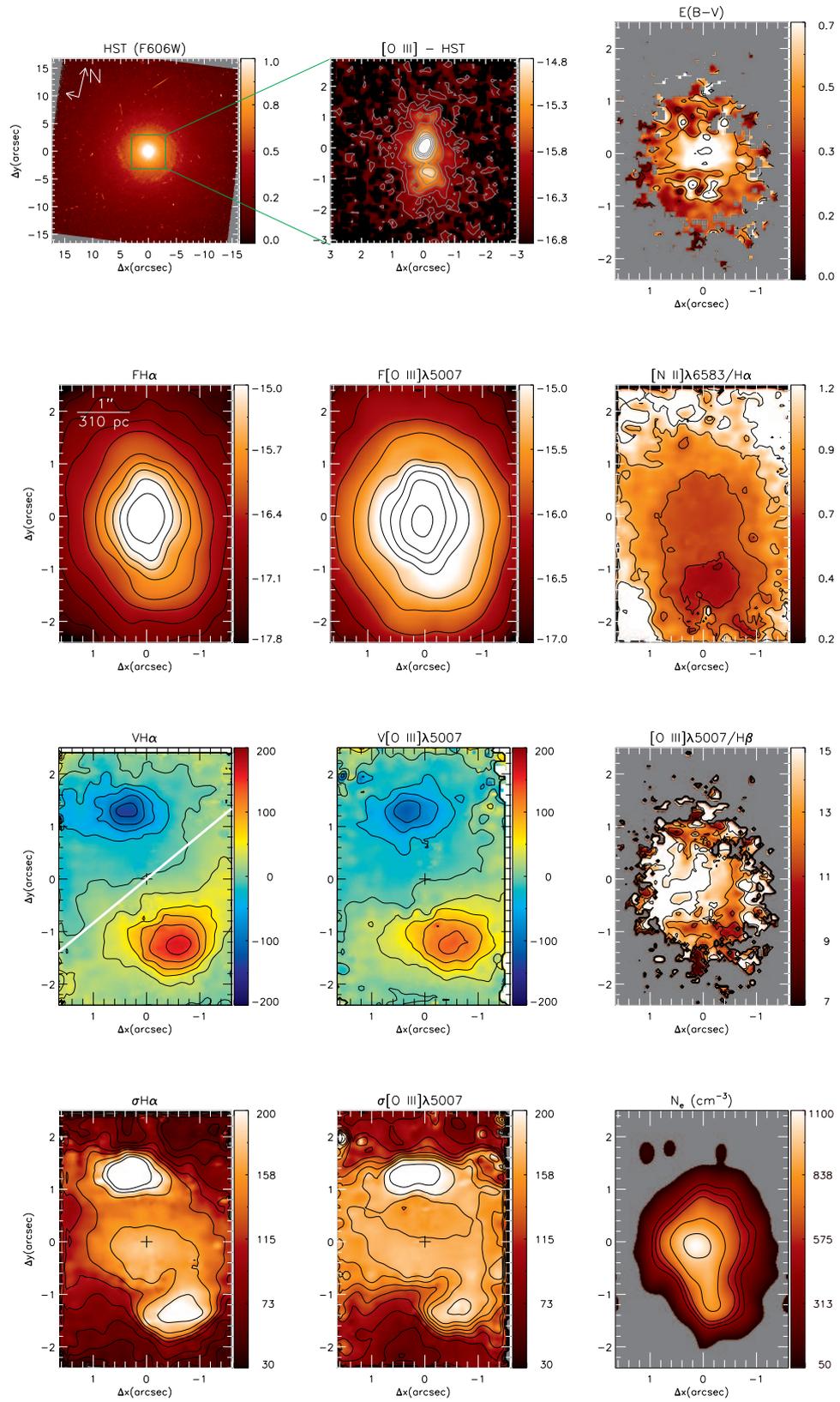
4.6 MRK 607

Os mapas bidimensionais para as propriedades físicas de Mrk 607 medidas neste trabalho são apresentados nas Figuras 4.5 e 4.7.

Mrk 607 mostra emissão estendida em todo o campo de visão do GMOS (0,6 kpc \times 0,9 kpc) para as linhas de emissão [O III] $\lambda 5007$, [N II] $\lambda 6583$, H α e [S II] $\lambda 6731$. Os mais altos níveis de fluxo são mais estendidos ao longo da direção sudeste-noroeste, aproximadamente ao longo da orientação do eixo maior da galáxia, em concordância com a imagem de banda estreita do [O III] observada com o HST. Os mapas de fluxo para H β e [O I] $\lambda 6300$ apresentam emissão mais compacta com o [O I] mostrando uma alongação na direção norte-sul para a região mais central de $\approx 0''.8$ (140 pc) a partir do núcleo.

Um padrão de rotação evidente é observado nos campos de velocidade, com a linha de nodos orientada ao longo de PA $\approx -60/120^\circ$, com *blueshifts* observados para o noroeste e *redshifts* para o sudeste. A amplitude do campo de velocidade observada é

Figura 4.4 – Idem a figura 4.2 para a galáxia Mrk 348.



Fonte: A autora.

de $\approx 150 \text{ km s}^{-1}$.

Entre todas as galáxias de nossa amostra, Mrk 607 é a que apresenta os mais baixos valores de σ , variando de 50 a 130 km s^{-1} . Os mais altos valores observados nos mapas estão localizados em uma faixa perpendicular a orientação do eixo maior da galáxia, que vai do núcleo até $\approx 1''.2$ para as direções sudoeste e nordeste. Estes valores mais elevados são mais evidentes no mapa para o [O III] do que no mapa para o $H\alpha$.

A razão de fluxos [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ apresenta os valores mais baixos (0,5 – 0,7) no núcleo e estes valores vão aumentando a medida que se afasta dele, chegando a 1,2 em algumas posições localizadas a $\approx 2''.0$ para oeste, leste e sudoeste a partir do núcleo. Para o mapa da razão [O III]/ $H\beta$ os valores variam de 3 a 10, com os valores mais altos observados no núcleo e estendendo-se por até $\approx 0''.9$ de sudeste a nordeste. Os valores mais baixos são observados para noroeste.

Os valores mais altos ($\approx 0,7$) para o avermelhamento desta galáxia são observados no núcleo e até $\approx 1''.0$ para leste dele enquanto os valores mais baixos ($\approx 0,2$) são vistos para noroeste.

O mapa para a densidade eletrônica mostra valores variando de 100 até 1400 cm^{-3} , com os mais altos valores sendo observados no núcleo. Uma estrutura alongada, com $N_e \approx 1100 \text{ cm}^{-3}$ é observada ao longo da direção nordeste-sudoeste, aproximadamente perpendicular a orientação do eixo maior da galáxia, coincidindo com as localizações onde a razão [O III]/ $H\beta$ é maior. Estas regiões também apresentam maior dispersão de velocidades. Valores menores que 400 cm^{-3} são vistos ao longo do eixo maior da galáxia, além da estrutura nuclear.

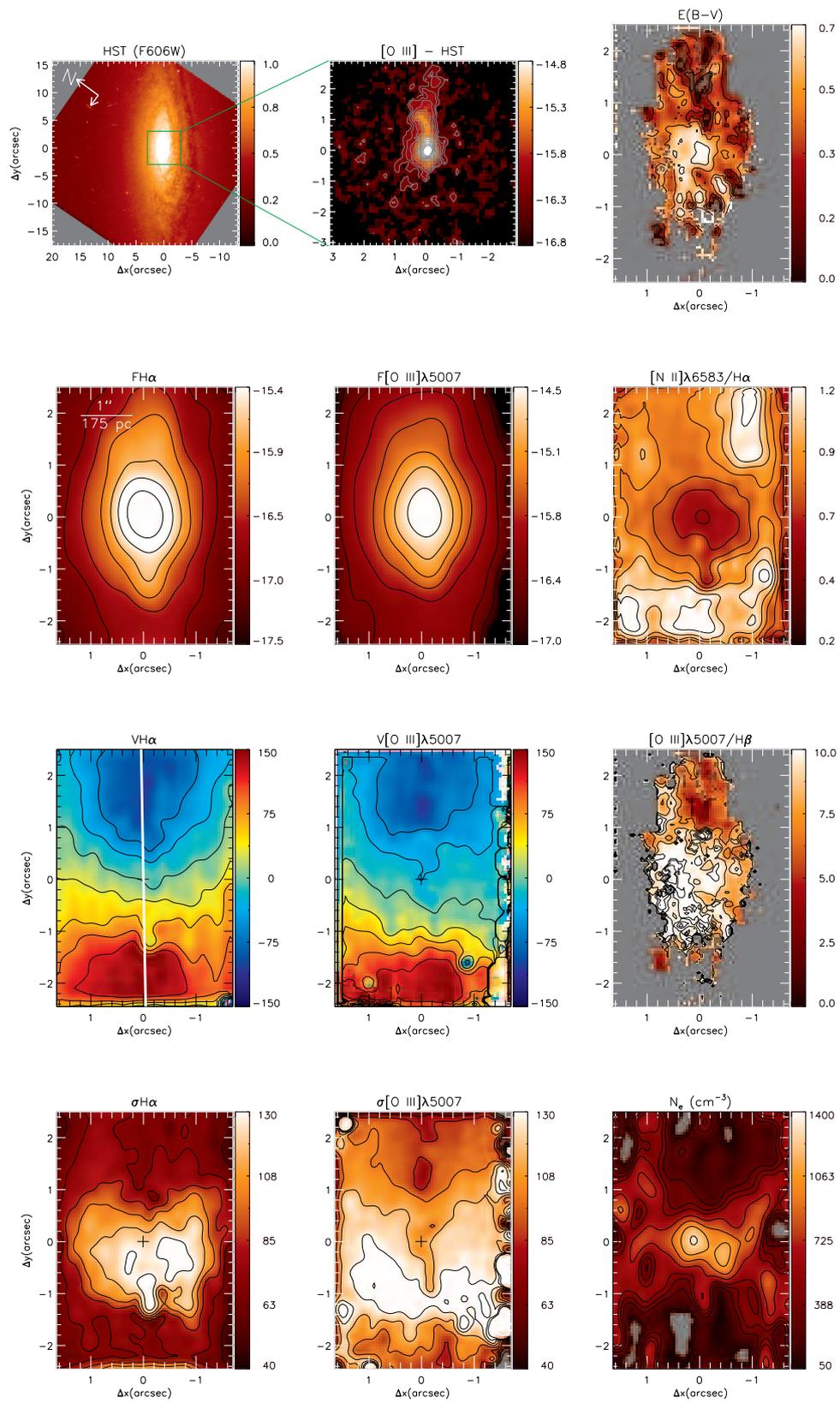
4.7 MRK 1058

Os mapas bidimensionais para as propriedades físicas de Mrk 1058 medidas neste trabalho são apresentados nas Figuras 4.6 e 4.7.

Os níveis de fluxo mais altos para a emissão do [O III] $\lambda 5007$ nesta galáxia são mais alongados para o sudoeste, em concordância com a imagem de banda estreita para o [O III] do HST, que mostra uma estrutura em $1''.0$ (350 pc) do núcleo. As outras distribuições de fluxo (em particular $H\alpha$) mostram uma emissão estendida adicional aproximadamente ao longo da direção leste-oeste até as bordas do campo de visão do GMOS.

Um padrão de rotação distorcido é observado no campo de velocidade de $H\alpha$ com *blueshifts* para sudeste e *redshifts* para noroeste, com uma amplitude de velocidade projetada de $\approx 150 \text{ km s}^{-1}$. No caso do [O III], o campo de velocidade parece mais perturbado, com *blueshifts* dominando o campo. Em particular, *blueshifts* observados em $\approx 1''.5$ (522 pc) para sudoeste do núcleo (menos notável mas também presente no campo de velocidade para o $H\alpha$) são co-espaciais com a alongação vista nas imagens de banda

Figura 4.5 – Idem a figura 4.2 para a galáxia Mrk 607.



Fonte: A autora.

estreita para o [O III], sugerindo que há um *outflow* a partir do núcleo.

O mapa de σ para $H\alpha$ mostra menores valores quando comparado ao mapa para o [O III] para a galáxia Mrk 1058. Enquanto $H\alpha$ mostra σ variando de 40 a 120 km s⁻¹, o mapa para o [O III] mostra valores de 40 a 150 km s⁻¹. Os mais altos valores são observados a $\approx 1''.3$ (452 pc) para sudoeste do núcleo, onde tem excessos de *blueshifts* observados no campo de velocidade e emissão estendida vista no mapa de fluxo para o [O III] $\lambda 5007$, consistente com a presença de um *outflow*. A $\approx 1''.0$ parece haver um anel com valores intermediários para a dispersão de velocidades.

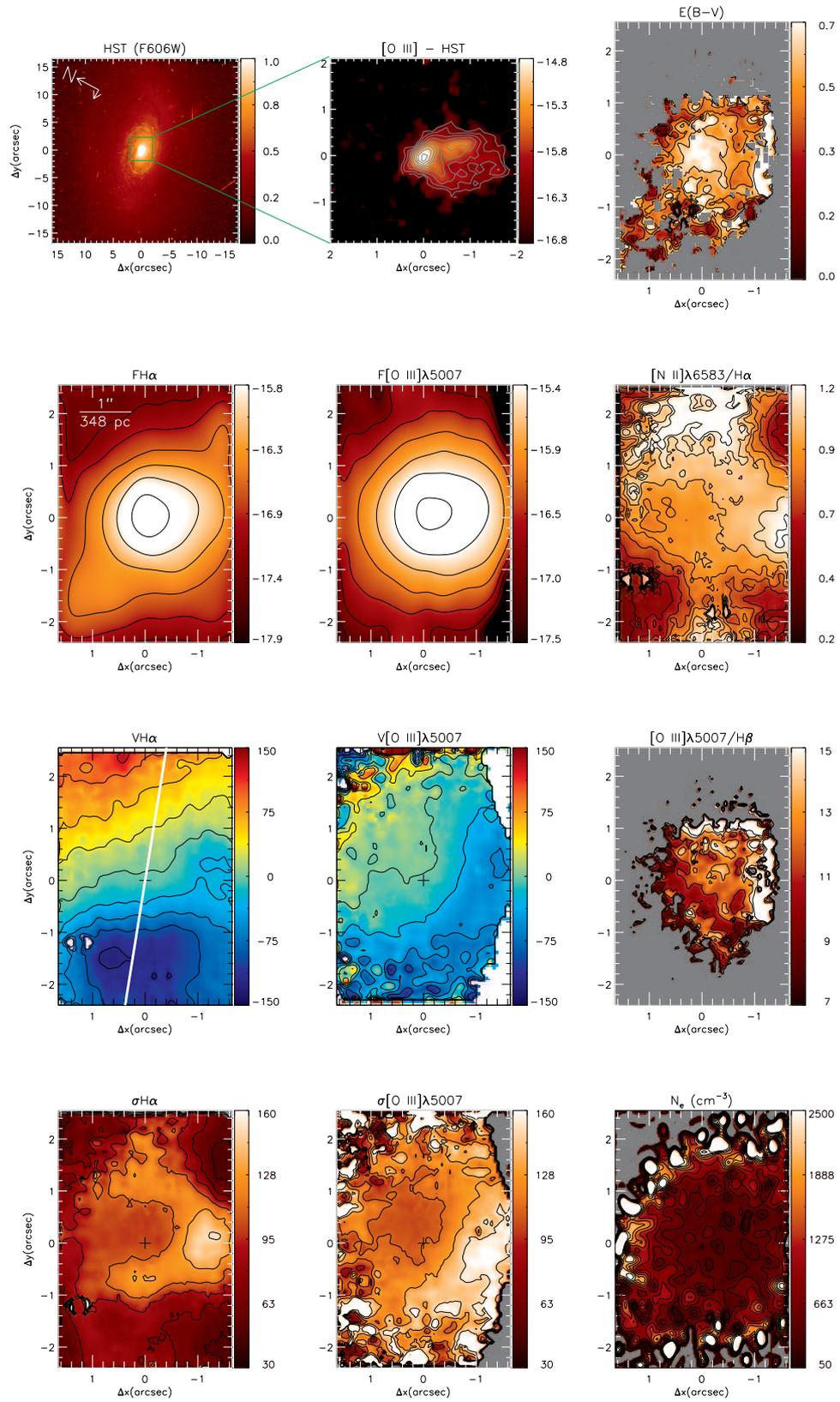
Em $\approx 1''.5$ a partir do núcleo para as direções leste, oeste e sul, o mapa para a razão de fluxos [N II]/ $H\alpha$ apresenta os menores valores, regiões onde a distribuição de fluxo para o $H\alpha$ apresenta estruturas alongadas. Os valores mais altos para esta razão são vistos em $\approx 1''.0$ sudoeste e em $\approx 2''.0$ noroeste do núcleo, enquanto valores intermediários são observados entre estas localizações. O mapa para a razão [O III]/ $H\beta$ apresenta um gradiente ao longo da direção leste-oeste (direção similar a emissão estendida do mapa de fluxo para o $H\alpha$), com os valores mais altos (≈ 15) vistos para oeste e os mais baixos (≈ 9) no sentido oposto.

O avermelhamento para Mrk 1058 apresenta valores menores que 0,5 na maioria das localizações. Os valores mais altos de $\approx 0,7$ são observados no núcleo em um raio de até $\approx 0''.4$ a partir dele e também para sudoeste, próximo as margens do campo de visão do GMOS.

Mrk 1058 apresenta os mais altos valores de densidade eletrônica entre as galáxias da nossa amostra, com N_e variando de 100 até 2500 cm⁻³. Os mais altos valores são observados em um anel com raio de $\approx 1''.5$, em volta do núcleo. Este anel parece estar relacionado com os mais altos valores de σ . No entanto, a interpretação de estruturas com altas N_e obtidas a partir da razão de linhas do [S II] deve ser realizada com cautela, pois a dependência existente entre a razão de linhas e N_e (ver Figura 3.13) é quase plana para $N_e \gtrsim 2000$ cm⁻³ (Osterbrock; Ferland, 2006) e, portanto, estimativas de N_e neste intervalo podem ser originadas por incertezas nas medidas dos fluxos das linhas. Dentro do anel, os menores valores para N_e são observados, tipicamente menores de 1000 cm⁻³.

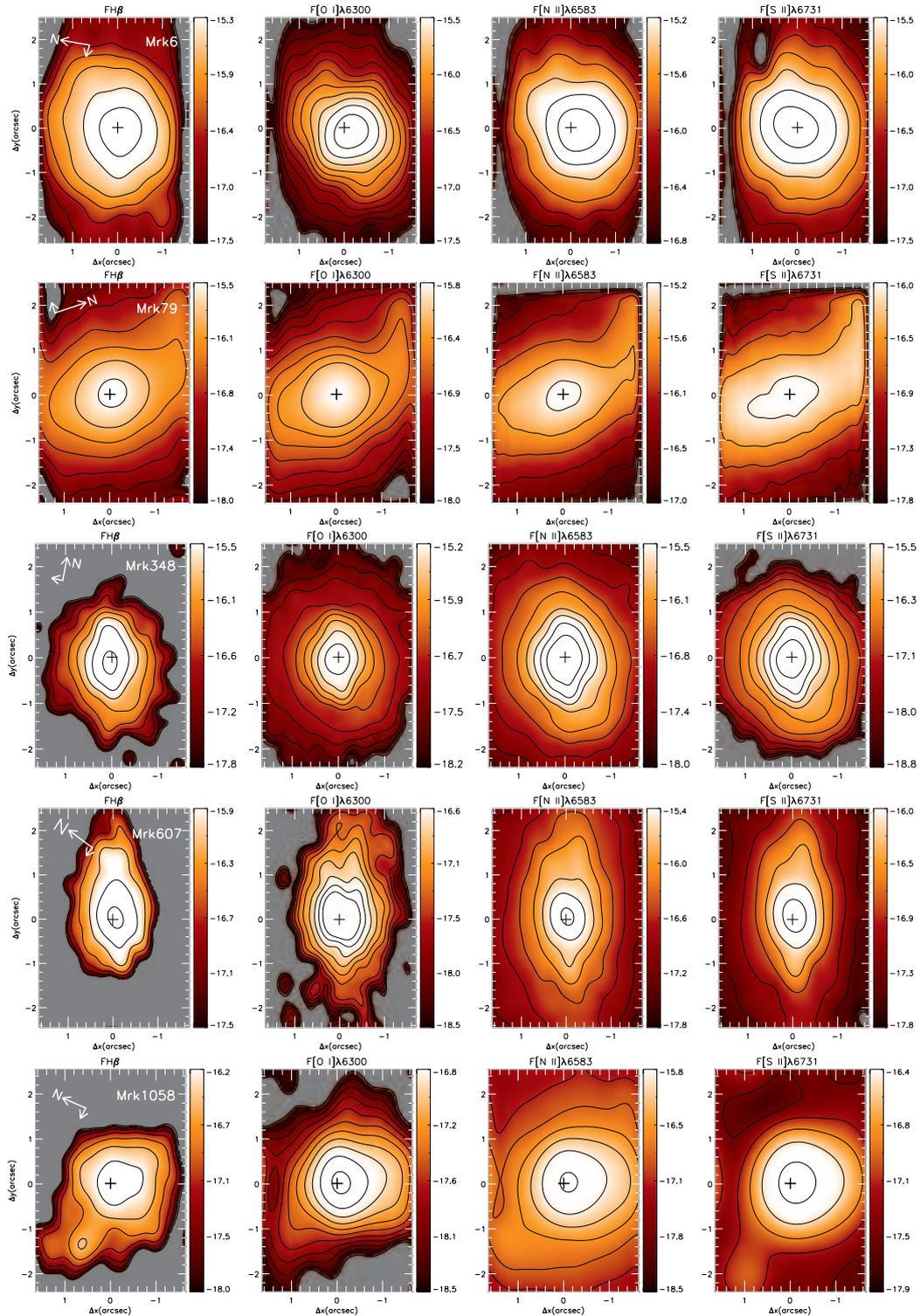
A seguir apresentamos as distribuições de fluxo para as linhas de emissão $H\beta$, [O I] $\lambda 6300$, [N II] $\lambda 6583$ e [S II] $\lambda 6731$ para as galáxias: Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058.

Figura 4.6 – Idem a figura 4.2 para a galáxia Mrk 1058.



Fonte: A autora.

Figura 4.7 – Distribuições de fluxo para as linhas de emissão $H\beta$, $[O\ I]\ \lambda 6300$, $[N\ II]\ \lambda 6583$ e $[S\ II]\ \lambda 6731$. A barra de cores mostra o fluxo em unidades logarítmicas de $\text{erg s}^{-1}\ \text{cm}^{-2}$. Do topo para a base: Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058.



Fonte: A autora

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos a discussão dos resultados obtidos para cada galáxia e comparamos com os dados disponíveis na literatura.

5.1 MRK 6

Os mapas para os fluxos das linhas de emissão para a galáxia Mrk 6 (ver Figs. 4.2 e 4.7) não apresentam emissão semelhante àquela observada na imagem em banda estreita do [O III] $\lambda 5007$ obtida com o HST. Nossos mapas apresentam emissão mais difusa e estendida em todas as direções, enquanto que a imagem do HST mostra emissão central compacta em forma de jato orientada ao longo da direção norte-sul. Atribuímos essa assimetria a efeitos de *seeing*, uma vez que a resolução espacial em nossos mapas é menor do que a da imagem do HST.

Os campos de velocidade apresentam um padrão de rotação cujas orientações são um tanto distintas nos mapas do [O III] e do $H\alpha$. Um aumento nos valores da dispersão de velocidades é observado para nordeste no mapa para $H\alpha$ atingindo valores de $\sigma = 450 \text{ km s}^{-1}$. Estes valores de mais alta dispersão de velocidades são observados aproximadamente na ponta do “jato nuclear” observado na imagem do [O III] obtida com o HST, que pode ser atribuído a compressão pelo jato. No [O III] há um aumento de σ na direção oeste, que pode ser atribuído a expansão lateral do gás devido a passagem do jato rádio. A região de altos σ para nordeste é co-espacial com os mais altos valores para $E(B - V)$ e com os mais baixos valores da razão [N II]/ $H\alpha$. Além disso, um ligeiro aumento na razão [O III]/ $H\beta$ é observado na região do jato. Estes resultados podem ser interpretados como uma evidência da interação de *outflows* de gás a partir do AGN central com o gás ambiente da galáxia, permitindo a detecção de emissão do gás localizado no disco da galáxia (com maior extinção) e produzindo distorções nos campos de velocidade do gás.

Finalmente o mapa de densidade eletrônica mostra os mais altos valores ($N_e > 1000 \text{ cm}^{-3}$) ao longo de P.A. $\approx 60 - 70^\circ$, enquanto valores mais baixos ($N_e < 500 \text{ cm}^{-3}$) são observados em localizações co-espaciais com a estrutura de emissão semelhante ao jato.

5.2 MRK 79

Considerando a resolução e cobertura espacial menor dos dados do GMOS, quando comparadas com as do HST, nossos mapas de fluxo, para todas as linhas de emissão, são consistentes com a imagem de banda estreita do [O III] obtida com o HST, conforme pode ser visto nas Figuras 4.3 e 4.7. Estes mapas mostram uma estrutura alongada ao longo da direção norte-sul, com o lado norte desta estrutura curvando-se, em $\approx 1''.5$, para nordeste. Além disso, uma emissão mais fraca é observada por todo o campo de visão do GMOS. Os contornos da imagem rádio observada em 3,6 cm por Schmitt et al. (2001) e mostrados em nossos mapas de fluxo e cinemática do [O III] (ver Fig. 4.3) mostram que a emissão de linhas e rádio são coincidentes em relação a orientação.

Nossos campos de velocidade são consistentes com aqueles obtidos por Riffel, Storchi-Bergmann e Winge (2013) para o gás ionizado utilizando o instrumento NIFS. Como o campo de visão do GMOS ($3''.5 \times 5''.0$) é maior que o do NIFS ($3''.0 \times 3''.0$), a componente do disco em rotação é mais evidente em nossos campos de velocidade do que nos obtidos por Riffel, Storchi-Bergmann e Winge (2013). Interpretamos os campos de velocidade como sendo originados por duas componentes: (i) uma componente do disco em rotação, a qual está relacionada aos *redshifts* para o noroeste (claramente vistos para $H\alpha$, próximo as margens do campo de visão) e *blueshifts* para sudeste e, (ii) uma componente de gás em *outflow* vista como *blueshifts* para norte/nordeste e *redshifts* para sul/sudoeste, ao longo da mesma orientação (P.A. $\approx 10^\circ$) dos *outflows* vistos nas linhas de emissão no infravermelho próximo (Riffel; Storchi-Bergmann; Winge, 2013) e em escalas maiores para o [O III] $\lambda 5007$ (Whittle et al., 1988).

Os *outflows* e a emissão de gás seguem a mesma orientação da estrutura rádio ao longo de P.A. = 12° (o que nós chamamos de eixo de ionização) mostrada também no campo de velocidade para o [O III], obtido por Schmitt et al. (2001). Um resultado interessante, que pode ser observado em nossos dados, é o fato de que a maior dispersão de velocidades está distribuída perpendicularmente a este eixo, em vez de estar ao longo da direção do *outflow*, característica que tem sido observada em outras galáxias ativas (Su et al., 1996; Couto et al., 2013; Riffel; Storchi-Bergmann; Riffel, 2014, 2015; Schnorr-Müller et al., 2014a; Lena et al., 2015) e isso pode ser interpretado como sendo devido a expansão lateral do gás devido a passagem de um jato rádio e/ou expansão do toróide de poeira ao redor do núcleo. Nós também notamos que a densidade do gás mostra valores maiores ao longo desta direção.

Nosso mapa de N_e mostra os valores menores para o norte do núcleo, em concordância com os resultados obtidos por Nazarova, O'Brien e Ward (1996). Além disso, o mapa de N_e revela valores maiores ($N_e > 500 \text{ cm}^{-3}$) ao longo da direção leste-oeste, perpendicular a orientação da NLR.

Quanto a excitação do gás, nossos dados e os de Nazarova, O'Brien e Ward (1996)

são consistentes, com as mais altas excitações sendo observadas ao longo de P.A. = 12° .

5.3 MRK 348

Nossos mapas de fluxo mostram emissão estendida por todo o campo de visão do GMOS para as linhas de emissão mais intensas ([O III] $\lambda 5007$, [N II] $\lambda 6583$, $H\alpha$ e [S II] $\lambda 6731$), com os mais altos níveis de fluxo observados ao longo da direção nordeste-sudoeste, em concordância com a imagem de banda estreita para o [O III] obtida com o HST. Nosso mapa de densidade eletrônica mostra duas estruturas com densidades mais elevadas ($N_e \approx 1000 \text{ cm}^{-3}$), uma no núcleo e outra $\approx 1''.5$ para sudoeste deste, que são co-espaciais com os mais altos níveis de emissão de [O III] $\lambda 5007$ vistos na imagem de banda estreita do HST.

Nosso mapa para a razão de fluxos de linhas [O III]/ $H\beta$ mostra um gradiente de mais alta ionização para nordeste e mais baixas ionizações para sudoeste do núcleo, indicando que as mais altas ionizações do gás estão para nordeste. Um comportamento similar é observado no mapa [N II]/ $H\alpha$, com os valores mais baixos $\approx 1''.0$ para sudoeste do núcleo, aproximadamente co-espaciais com a estrutura de alta emissão observada na imagem do [O III] $\lambda 5007$ obtida com o HST. Os valores obtidos para ambas razões são similares aos encontrados por Stoklasová et al. (2009), porém nossos mapas revelam mais detalhes devido a resolução espacial de nossos dados ser melhor quando comparada a dos dados deles.

Nosso mapa para $E(B - V)$ mostra os valores mais altos, de até 0,7, no núcleo, diminuindo com a distância a partir dele. Em média, nossos valores para o avermelhamento também estão em concordância com aqueles obtidos por Stoklasová et al. (2009), porém o mapa deles mostra uma região não resolvida no núcleo, com pequenos valores [$E(B - V) \sim 0,3$].

As estruturas com valores altos, vistas em nossos campos de velocidade, são coincidentes com as observadas por Stoklasová et al. (2009). Essas estruturas também correspondem a mais alta dispersão de velocidades, de até 200 km s^{-1} . Stoklasová et al. (2009) interpretaram estas estruturas como associadas a um anel em rotação inclinado em relação ao disco da galáxia. Nossa interpretação é que estas estruturas são originadas a partir de um *outflow* bicônico nuclear, devido a alta dispersão de velocidades observada nessas regiões e também devido ao fato de serem vistas ao longo da mesma orientação da emissão estendida do jato rádio (Nagar et al., 1999), e assim serem originadas em uma interação com este jato.

5.4 MRK 607

Nossos mapas de fluxo mostram emissão estendida por todo o campo de visão do GMOS, com as mais altas intensidades observadas no núcleo e para noroeste, ao longo da orientação do eixo maior da galáxia (para onde a imagem para o [O III] do HST também apresenta emissão), em concordância com imagens para o [O III] e $H\alpha + [N II]$ disponíveis na literatura (Mulchaey; Wilson; Tsvetanov, 1996; Schmitt et al., 2003; Ferruit; Wilson; Mulchaey, 2000).

Uma comparação entre o nosso mapa para a razão dos fluxos $[O III] \lambda 5007/H\beta$ e o mapa $[O III] \lambda 5007/(H\alpha+[N II])$ de Ferruit, Wilson e Mulchaey (2000) permite concluir que ambos são similares, pois ambas razões apresentam os valores mais altos no núcleo e os valores mais baixos para noroeste. Nosso mapa exibe um gradiente de ionização ao longo da direção sudeste-noroeste, com gás de mais alta ionização sendo observadas para sudeste e as mais baixas ionizações para noroeste. O mapa $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ mostra os valores menores no núcleo, enquanto os valores mais altos são vistos para sudeste dele.

Nosso mapa para $E(B - V)$ para Mrk 607 mostra os valores mais baixos para noroeste, indicando que a emissão colimada vista nos mapas de fluxo nesta orientação surge a partir de gás de baixa extinção. Além disso, é observada uma faixa com valores mais altos para $E(B - V)$ para nordeste e valores mais baixos para sudoeste, ao longo do eixo menor da galáxia, em concordância com o mapa de cores em grande escala $B - I$ obtido por Kotilainen (1998), o qual mostra extinção mais alta para nordeste do núcleo, indicando que este é o lado próximo do disco da galáxia .

Os campos de velocidade do gás sugerem padrão de rotação com o lado noroeste aproximando-se e o lado sudeste afastando-se de nós, em boa concordância com os campos de velocidade estelar apresentados por Riffel et al. (2017), obtidos a partir do ajuste das absorções do CO na banda K usando espectros obtidos com o instrumento NIFS do Gemini Norte.

Os mapas de σ para o gás mostram os mais altos valores, de até 130 km s^{-1} , aproximadamente ao longo do eixo menor da galáxia, enquanto o mapa de σ estelar apresenta valores predominantemente menores ($\approx 50 \text{ km s}^{-1}$) nestas localizações. Como o eixo de ionização parece ser perpendicular a estas estruturas de altas σ para o gás, uma possibilidade é que eles estão traçando *outflow* equatorial como tem sido observado para outras galáxias ativas (Couto et al., 2013; Schnorr-Müller et al., 2014a; Riffel; Storchi-Bergmann; Riffel, 2014; Lena et al., 2015).

5.5 MRK 1058

De Robertis e Osterbrock (1986) observaram que as linhas de emissão para o [N II] são mais intensas quando comparadas a do $H\alpha$. Este resultado é confirmado através do nosso diagrama BPT (Fig. 4.1) que mostra que Mrk 1058 apresenta os valores mais altos para a razão das intensidades das linhas [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ entre as galáxias da nossa amostra.

Nosso mapa de fluxo para a linha [O III] $\lambda 5007$ (Fig. 4.6) mostra uma estrutura alongada para sudoeste, similar àquela vista na imagem em banda estreita para o [O III] obtida com o HST, porém, nosso mapa para o [O III] apresenta emissão por todo o campo de visão do GMOS.

A distribuição de fluxo para $H\alpha$ é um tanto distinta daquela observada para o [O III] (ver Figura 4.6). O mapa para o $H\alpha$ mostra emissão estendida para noroeste e sudeste do núcleo. Próximo as margens do campo de visão, são observadas estruturas (em $\approx 2''.0$ para noroeste e na mesma distância para sudeste) com valores menores para [N II] $\lambda 6583/H\alpha$. Uma possível interpretação é a presença de formação estelar nestas regiões. Devido a baixa intensidade ou não detecção da linha $H\beta$, nós conseguimos construir o mapa para [O III]/ $H\beta$ apenas para a região central de aproximadamente $1''.5$ de raio. Nesta região há um gradiente de ionização com valores mais altos para a razão [O III]/ $H\beta$ para oeste e mais baixos para leste.

Assim como para as distribuições de fluxo, a cinemática para o [O III] e para o $H\alpha$ também são distintas entre si. O campo de velocidade para o $H\alpha$ mostra claramente um padrão de rotação distorcido enquanto no campo de velocidade para o [O III] este padrão é menos evidente. Ambos campos de velocidade mostraram *blueshifts* adicionais para sudoeste, coincidente com a emissão alongada vista na imagem de banda estreita para o [O III] obtida com o HST (Fig. 4.6). Os mapas para a dispersão de velocidades também mostram os valores maiores coincidentes com esta região *blueshifted*. Considerando todas estas características combinadas com o gradiente de ionização discutido acima, nós interpretamos estes *blueshifts* como sendo originados por *outflows* de gás a partir do núcleo ativo.

Uma característica particular desta galáxia são os valores altos obtidos para a densidade eletrônica próximo as bordas do campo de visão em $\approx 1''.7$ a partir no núcleo, que parece coincidir com as regiões de maior dispersão de velocidades para o [O III]. Nós supomos que estas regiões são produzidas por *outflows* que empurram o meio a sua volta, mas as incertezas em N_e podem ser altas nestas localizações já que a dependência entre a razão [S II] e a N_e é quase plana em altos valores (Osterbrock; Ferland, 2006) e assim altos valores de N_e podem ser produzidos por incertezas na medida dos fluxos dessas linhas.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho mapeamos a distribuição de fluxos e cinemática para as linhas de emissão mais intensas presentes no kiloparsec central de cinco galáxias Seyfert próximas, Mrk 6, Mrk 79, Mrk 348, Mrk 607 e Mrk 1058, usando unidade de campo integral do instrumento GMOS acoplado ao telescópio Gemini Norte, cobrindo o intervalo espectral de 4300 Å a 7100 Å, com resoluções espaciais que variam de 110 a 280 pc.

Nossas principais conclusões são:

- É observada emissão estendida por todo o campo de visão do GMOS-IFU ($3''.5 \times 5''.0$, correspondendo a região central de $(0,6 \text{ a } 0,9) \times (1,5 \text{ a } 2,2) \text{ kpc}^2$ nas galáxias) para as linhas de emissão mais intensas: $H\beta$, $[\text{O III}] \lambda 5007$, $H\alpha$, $[\text{N II}] \lambda 6583$ e $[\text{S II}] \lambda 6731$. O diagrama de diagnóstico $[\text{O III}] \lambda 5007/H\beta$ vs. $[\text{N II}] \lambda 6583/H\alpha$ é consistente com as linhas de emissão serem originadas a partir da excitação do gás pela radiação do AGN central em todas as galáxias;
- Os avermelhamentos mais altos [$E(B - V) \approx 1$] geralmente são observados na região mais central de poucas centenas de parsecs ao redor do núcleo e/ou em regiões de mais altas excitação do gás;
- As densidades eletrônicas mais altas ($N_e \approx 1000 - 2000 \text{ cm}^{-3}$), obtidas a partir da razão entre as intensidades das linhas do $[\text{S II}]$, geralmente são observadas no núcleo, porém em alguns casos estes valores estendem-se para regiões de mais alta excitação. Um caso particular é Mrk 1058 que parece mostrar um anel circumnuclear com gás de alta densidade em $\approx 1''.7$ (592 pc) a partir do núcleo;
- A cinemática do gás para todas as galáxias mostra um padrão de rotação distorcido que pode ser atribuído a combinação de gás em rotação no plano da galáxia e *outflows* vistos através de distorções no campo de velocidade geralmente associados a valores elevados de dispersão de velocidades;
- As velocidades projetadas do *outflow* atingem valores de $\approx 200 \text{ km s}^{-1}$. A geometria aparente dos *outflows* é complexa e parece ser distinta para cada galáxia. Abaixo descreveremos as principais características destas:
 - (i) Mrk 6 mostra os maiores valores de σ em volta do jato rádio e distorções no campo de velocidade provavelmente devido a um *outflow* ao longo do jato, mas a determinação precisa da geometria necessita de modelagens adicionais;
 - (ii) Mrk 79 mostra um *outflow* orientado ao longo do eixo de ionização observado na imagem de banda estreita para o $[\text{O III}]$ obtida com o HST. Outra característica interessante é que ela apresenta dispersão de velocidades aumentadas em uma faixa

nuclear perpendicular ao *outflow* que interpretamos como sendo devido a expansão do gás lateral produzida pela passagem do jato rádio;

(iii) Mrk 348 mostra claramente um *outflow* bipolar visto através de duas estruturas que apresentam velocidades em sentidos opostos em relação ao núcleo as quais coincidem com dispersão de velocidades aumentadas nessas regiões;

(iv) Mrk 607 é uma galáxia vista quase de perfil, com o eixo de ionização ao longo do eixo maior da galáxia mostrando distorções no campo de velocidade que podem ser devido a um *outflow* que necessita de modelagens adicionais. Dispersão de velocidades aumentadas perpendiculares ao eixo do cone de ionização e eixo rádio são interpretadas como sendo devido a expansão lateral do gás como no caso de Mrk 79.

(v) Mrk 1058, além de apresentar padrão de rotação visto no mapa para $H\alpha$ mostra também *blueshifts* vistos principalmente para o [O III] associados a dispersão de velocidades aumentadas e emissão estendida para o [O III] que pode ser interpretada como a parte *blueshifted* de um *outflow* nuclear.

6.1 PERSPECTIVAS

Como continuidade deste trabalho, se faz necessário uma análise mais detalhada da cinemática do gás destas galáxias. Esta análise pode ser realizada através do ajuste de múltiplas componentes Gaussianas aos perfis das linhas de emissão em regiões onde estão presentes. A cinemática do gás também poderá ser melhor entendida através da construção de *channel maps*, que permitem o mapeamento do gás responsável pela produção das “asas” vistas nos perfis de algumas linhas de emissão. Esta análise permitirá a detecção de *outflows* e estimativas de suas taxas, ingredientes importantes para modelos de evolução de galáxias. Outro aspecto, que deve ser melhor explorado, refere-se ao conteúdo gasoso e estelar, o que pode ser feito através da construção de mapas para a densidade superficial de massa de gás ionizado, de estimativas da massa total de gás ionizado e comparando estes com o histórico de formação estelar, que pode ser obtido usando-se a técnica de síntese de população estelar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, T. F. A Survey of the Seyfert Galaxies Based on Large-Scale Image-Tube Plates. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 33, p. 19, 1977.

Afanasiev, V. L. et al. Variability in spectropolarimetric properties of Sy 1.5 galaxy Mrk 6. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 440, p. 519–529, 2014.

Allington-Smith, J. et al. Integral Field Spectroscopy with the Gemini Multiobject Spectrograph. I. Design, Construction, and Testing. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 114, p. 892–912, 2002.

Antón, S. et al. The orientation of the Seyfert nucleus in Markarian 348. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 336, p. 319–327, 2002.

Antonucci, R. Unified models for active galactic nuclei and quasars. **Annual review of astronomy and astrophysics**, v. 31, p. 473–521, 1993.

Antonucci, R. R. J.; Miller, J. S. Spectropolarimetry and the nature of NGC 1068. **Astrophysical Journal**, v. 297, p. 621–632, 1985.

Bae, H.-J. et al. The Limited Impact of Outflows: Integral-field Spectroscopy of 20 Local AGNs. **Astrophysical Journal**, v. 837, p. 91, 2017.

Baldwin, J. A.; Phillips, M. M.; Terlevich, R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. **Astronomical Society of the Pacific**, v. 93, p. 5–19, 1981.

Barbosa, F. K. B. et al. Gemini/GMOS IFU gas velocity ‘tomography’ of the narrow line region of nearby active galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 396, p. 2–18, 2009.

Baum, S. A. et al. Kiloparsec-Scale Radio Emission in Seyfert Galaxies: Evidence for Starburst-driven Superwinds? **Astrophysical Journal**, v. 419, p. 553, 1993.

Blitz, L.; Rosolowsky, E. The Role of Pressure in GMC Formation II: The H₂-Pressure Relation. **Astrophysical Journal**, v. 650, p. 933–944, 2006.

Brum, C. et al. Dusty spirals versus gas kinematics in the inner kiloparsec of four low-luminosity active galactic nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 469, p. 3405–3423, 2017.

Capetti, A. Radio Outflows and the Origin of the Narrow-Line Region in Seyfert Galaxies. **Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series**, v. 13, p. 163, 2002.

Capetti, A. et al. The Emission-Line Jet in Markarian 6*. **Astrophysical Journal Letters**, v. 454, p. L85, 1995.

_____. Radio Outflows and the Origin of the Narrow-Line Region in Seyfert Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 469, p. 554, 1996.

Cardelli, J. A.; Clayton, G. C.; Mathis, J. S. The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction. **Astrophysical Journal**, v. 345, p. 245–256, 1989.

Chapelon, S.; Contini, T.; Davoust, E. Starbursts in barred spiral galaxies. V. Morphological analysis of bars. **Astronomy and Astrophysics**, v. 345, p. 81–92, 1999.

Choudhuri, A. R. **Astrophysics for Physicists**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1998. 2091 p.

Cid Fernandes, R. et al. Alternative diagnostic diagrams and the ‘forgotten’ population of weak line galaxies in the SDSS. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 403, p. 1036–1053, 2010.

Ciotti, L.; Ostriker, J. P.; Proga, D. Feedback from Central Black Holes in Elliptical Galaxies. III. Models with Both Radiative and Mechanical Feedback. **The Astrophysical Journal**, v. 717, p. 708–723, 2010.

Colbert, E. J. M. et al. Large-Scale Outflows in Edge-on Seyfert Galaxies. II. Kiloparsec-Scale Radio Continuum Emission. **Astrophysical Journal**, v. 467, p. 551, 1996.

Corwin JR., H. G.; Buta, R. J.; de Vaucouleurs, G. Corrections and additions to the third reference catalogue of bright galaxies. **The Astronomical Journal**, v. 108, p. 2128–2144, 1994.

Couto, G. S. et al. Kinematics and excitation of the nuclear spiral in the active galaxy Arp 102B. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 435, p. 2982–3000, 2013.

Crenshaw, D. M. et al. The Geometry of Mass Outflows and Fueling Flows in the Seyfert 2 Galaxy MRK 3. **The Astronomical Journal**, v. 139, p. 871–877, 2010.

da Silva, P.; Steiner, J. E.; Menezes, R. B. NGC 1566: analysis of the nuclear region from optical and near-infrared Integral Field Unit spectroscopy. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 470, p. 3850–3876, 2017.

Das, V. et al. Kinematics of the Narrow-Line Region in the Seyfert 2 Galaxy NGC 1068: Dynamical Effects of the Radio Jet. **The Astronomical Journal**, v. 132, p. 620–632, 2006.

Davies, R. I. et al. Fueling Active Galactic Nuclei. II. Spatially Resolved Molecular Inflows and Outflows. **Astrophysical Journal**, v. 792, p. 101, 2014.

de Grijp, M. H. K. et al. Warm IRAS sources. II - Optical spectroscopy of objects from the point source catalog. **Astronomy and Astrophysics Supplement**, v. 96, p. 389–428, 1992.

De Robertis, M. M.; Osterbrock, D. E. An analysis of the narrow line profiles in Seyfert 2 galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 301, p. 727–741, 1986.

de Vaucouleurs, G. et al. **Third Reference Catalogue of Bright Galaxies. Volume I: Explanations and references. Volume II: Data for galaxies between 0^h and 12^h . Volume III: Data for galaxies between 12^h and 24^h .** New York, USA: [s.n.]. 2091 p.

Diniz, M. R. et al. Feeding versus feedback in AGN from near-infrared IFU observations XI: NGC 2110. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 453, p. 1727–1739, 2015.

Doroshenko, V. T. et al. Broad-line region kinematics and black hole mass in Markarian 6. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 426, p. 416–426, 2012.

Elvis, M. A Structure for Quasars. **The Astrophysical Journal**, v. 545, p. 63–76, 2000.

Fabian, A. C. Observational Evidence of Active Galactic Nuclei Feedback. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 50, p. 455–489, 2012.

Falcke, H. et al. Discovery of a very luminous megamaser during a radio flare in the Seyfert 2 galaxy Mrk 348. **Astronomy and Astrophysics**, v. 358, p. L17–L20, 2000.

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

Ferrarese, L.; Merritt, D. A Fundamental Relation between Supermassive Black Holes and Their Host Galaxies. **Astrophysical Journal Letters**, v. 539, p. L9–L12, 2000.

Ferruit, P.; Wilson, A. S.; Mulchaey, J. Hubble Space Telescope WFPC2 Imaging of a Sample of Early-Type Seyfert Galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 128, p. 139–169, 2000.

Fischer, T. C. et al. Determining Inclinations of Active Galactic Nuclei via their Narrow-line Region Kinematics. I. Observational Results. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 209, p. 1, 2013.

_____. Gemini Near Infrared Field Spectrograph Observations of the Seyfert 2 Galaxy Mrk 573: In Situ Acceleration of Ionized and Molecular Gas off Fueling Flows. **Astrophysical Journal**, v. 834, p. 30, 2017.

Gaibler, V. et al. Jet-induced star formation in gas-rich galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 425, p. 438–449, 2012.

Gao, F. et al. The Megamaser Cosmology Project. IX. Black Hole Masses for Three Maser Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 834, p. 52, 2017.

Gebhardt, K. et al. A Relationship between Nuclear Black Hole Mass and Galaxy Velocity Dispersion. **Astrophysical Journal Letters**, v. 539, p. L13–L16, 2000.

Haniff, C. A.; Wilson, A. S.; Ward, M. J. High-resolution emission-line imaging of Seyfert galaxies. I - Observations. II - Evidence for anisotropic ionizing radiation. **Astrophysical Journal**, v. 334, p. 104–119, 1988.

Harrison, C. M. et al. Kiloparsec-scale outflows are prevalent among luminous AGN: outflows and feedback in the context of the overall AGN population. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 441, p. 3306–3347, 2014.

Hopkins, P. F.; Quataert, E. How do massive black holes get their gas? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 407, p. 1529–1564, 2010.

Kaplan, K. F. et al. The VIRUS-P Exploration of Nearby Galaxies (VENGA): spatially resolved gas-phase metallicity distributions in barred and unbarred spirals. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 462, p. 1642–1682, 2016.

Kauffmann, G. et al. The host galaxies of active galactic nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 346, p. 1055–1077, 2003.

Kewley, L. J. et al. Optical Classification of Southern Warm Infrared Galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 132, p. 37–71, 2001.

Khachikian, E. Y.; Weedman, D. W. An atlas of Seyfert galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 192, p. 581–589, 1974.

Kharb, P. et al. A Radio Study of the Seyfert Galaxy Markarian 6: Implications for Seyfert Life Cycles. **Astrophysical Journal**, v. 652, p. 177–188, 2006.

Kinney, A. L. et al. Jet Directions in Seyfert Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 537, p. 152–177, 2000.

Kormendy, J.; Ho, L. C. Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 51, p. 511–653, 2013.

Kotilainen, J. K. Optical colour maps of Seyfert galaxies. II. More Seyfert 2s. **Astronomy and Astrophysics Supplement**, v. 132, p. 197–210, 1998.

Kraemer, S. B. et al. Multi-wavelength Probes of Obscuration Toward the Narrow-line Region in Seyfert Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 727, p. 130, 2011.

Kukula, M. J. et al. Unusual radio and optical structures in the Seyfert galaxy Markarian 6. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 280, p. 1283–1292, 1996.

Lena, D. Reduction of Integral Field Spectroscopic Data from the Gemini Multi-Object Spectrograph (a commented example). **ArXiv e-prints**, 2014.

Lena, D. et al. The Complex Gas Kinematics in the Nucleus of the Seyfert 2 Galaxy NGC 1386: Rotation, Outflows, and Inflows. **Astrophysical Journal**, v. 806, p. 84, 2015.

_____. Ionized gas kinematics within the inner kiloparsec of the Seyfert galaxy NGC 1365. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 459, p. 4485–4498, 2016.

Lin, M.-Y. et al. Thick discs, and an outflow, of dense gas in the nuclei of nearby Seyfert galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 458, p. 1375–1392, 2016.

Maciel, J. W. **Astrofísica do meio interestelar**. São Paulo, Brazil: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 360 p.

Magorrian, J. et al. The Demography of Massive Dark Objects in Galaxy Centers. **The Astronomical Journal**, v. 115, p. 2285–2305, 1998.

Malkan, M. A.; Gorjian, V.; Tam, R. A Hubble Space Telescope Imaging Survey of Nearby Active Galactic Nuclei. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 117, p. 25–88, 1998.

MARKWARDT, C. B. **Non-linear Least-squares Fitting in IDL with MPFIT**. [S.l.: s.n.], 2009. 251 p.

Mingo, B. et al. Markarian 6: Shocking the Environment of an Intermediate Seyfert. **Astrophysical Journal**, v. 731, p. 21, 2011.

Mulchaey, J. S.; Wilson, A. S.; Tsvetanov, Z. An Emission-Line Imaging Survey of Early-Type Seyfert Galaxies. I. The Observations. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 102, p. 309, 1996.

Müller-Sánchez, F. et al. The Keck/OSIRIS Nearby AGN Survey (KONA) I. The Nuclear K-band Properties of Nearby AGN. **eprint arXiv:1705.06678**, 2017.

_____. Outflows from Active Galactic Nuclei: Kinematics of the Narrow-line and Coronal-line Regions in Seyfert Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 739, p. 69, 2011.

Mundell, C. G. et al. Radio Variability in Seyfert Nuclei. **Astrophysical Journal**, v. 703, p. 802–815, 2009.

Nagar, N. M. et al. Radio Structures of Seyfert Galaxies. VIII. A Distance- and Magnitude-Limited Sample of Early-Type Galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 120, p. 209–245, 1999.

Nazarova, L. S.; O'Brien, P. T.; Ward, M. J. The extended narrow line region in MKN 79. I. Observations. **Astronomy and Astrophysics**, v. 307, p. 365–375, 1996.

_____. The extended narrow line region in MKN 79. II. Modelling. **Astronomy and Astrophysics**, v. 321, p. 397–408, 1997.

Neff, S. G.; de Bruyn, A. G. The compact radio core of MKN 348 - Evidence for directed outflow in a type 2 Seyfert galaxy. **Astronomy and Astrophysics**, v. 128, p. 318–324, 1983.

Nenkova, M. et al. AGN Dusty Tori. II. Observational Implications of Clumpiness. **Astrophysical Journal**, v. 685, p. 160–180, 2008.

Osterbrock, D. E. Spectrophotometry of Seyfert 1 galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 215, p. 733–745, 1977.

_____. Seyfert galaxies with weak broad H alpha emission lines. **Astrophysical Journal**, v. 249, p. 462–470, 1981.

Osterbrock, D. E.; Ferland, G. J. **Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei**. Sausalito, California: University Science Books, 2006. 408 p.

Osterbrock, D. E.; Koski, A. T. NGC 4151 and Markarian 6 - two intermediate-type Seyfert galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 176, p. 61P–66P, 1976.

Padmanabhap, T. **An Invitation to Astrophysics**. [S.I.]: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2006. 382 p.

Page, M. J. et al. The suppression of star formation by powerful active galactic nuclei. **Nature**, v. 485, p. 213–216, 2012.

PETERSON, B. M. **An Introduction to Active Galactic Nuclei**. New York: Cambridge, New York Cambridge University Press, 1997. 238 p.

Peterson, B. M. et al. Central Masses and Broad-Line Region Sizes of Active Galactic Nuclei. II. A Homogeneous Analysis of a Large Reverberation-Mapping Database. **Astrophysical Journal**, v. 613, p. 682–699, 2004.

Pogge, R. W. A extended ionizing radiation cone from the nucleus of the Seyfert 2 galaxy NGC 1068. **Astrophysical Journal**, v. 328, p. 519–522, 1988.

Quillen, A. C. et al. NICMOS Imaging of Molecular Hydrogen Emission in Seyfert Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 527, p. 696–708, 1999.

Riffel, R. A. profit: a new alternative for emission-line profile fitting. **Astrophysics and Space Science**, v. 327, p. 239–244, 2010.

Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T. Compact molecular disc and ionized gas outflows within 350 pc of the active nucleus of Mrk 1066. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 411, p. 469–486, 2011.

Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T.; Riffel, R. An Outflow Perpendicular to the Radio Jet in the Seyfert Nucleus of NGC 5929. **Astrophysical Journal Letters**, v. 780, p. L24, 2014.

_____. Feeding versus feedback in active galactic nuclei from near-infrared integral field spectroscopy - X. NGC 5929. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 451, p. 3587–3605, 2015.

Riffel, R. A. et al. Gemini NIFS survey of feeding and feedback processes in nearby active galaxies - I. Stellar kinematics. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 470, p. 992–1016, 2017.

Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T.; Winge, C. Feeding versus feedback in AGNs from near-infrared IFU observations: the case of Mrk 79. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 430, p. 2249–2261, 2013.

Riffel, R. A. et al. 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**, v. 373, p. 2–12, 2006.

_____. Mapping of molecular gas inflow towards the Seyfert nucleus of NGC4051 using Gemini NIFS. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 385, p. 1129–1142, 2008.

Runnoe, J. C.; Brotherton, M. S.; Shang, Z. Updating quasar bolometric luminosity corrections. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 422, p. 478–493, 2012.

Schmidt, M.; Green, R. F. Quasar evolution derived from the Palomar bright quasar survey and other complete quasar surveys. **Astrophysical Journal**, v. 269, p. 352–374, 1983.

Schmitt, H. R. et al. A Hubble Space Telescope Survey of Extended [O III] λ 5007 Emission in a Far-Infrared Selected Sample of Seyfert Galaxies: Observations. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 148, p. 327–352, 2003.

Schmitt, H. R.; Kinney, A. L. Jet Directions in Seyfert Galaxies: B and I Imaging Data. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 128, p. 479–489, 2000.

Schmitt, H. R.; Storchi-Bergmann, T.; Baldwin, J. A. Anisotropic high-excitation emission and chemical abundances in the Seyfert 2 galaxy NGC 5643. **Astrophysical Journal**, v. 423, p. 237–247, 1994.

Schmitt, H. R. et al. Jet Directions in Seyfert Galaxies: Radio Continuum Imaging Data. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 132, p. 199–209, 2001.

Schneider, P. **Extragalactic Astronomy and Cosmology An Introduction**. [S.I.]: Springer, 2006. 459 p.

Schnorr-Müller, A. et al. Feeding and feedback in the inner kiloparsec of the active galaxy NGC 2110. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 437, p. 1708–1724, 2014.

_____. Gas inflows towards the nucleus of the active galaxy NGC 7213. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 438, p. 3322–3331, 2014.

_____. Gas streaming motions towards the nucleus of M81. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 413, p. 149–161, 2011.

Shaw, R. A.; Dufour, R. J. Software for the Analysis of Emission Line Nebulae. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 107, p. 896, 1995.

Simpson, C. et al. An Ionization Cone and Dusty Disk in Markarian 348: The Obscuring Torus Revealed? **Astrophysical Journal Letters**, v. 457, p. L19, 1996.

Smirnova, A. A.; Moiseev, A. V.; Afanasiev, V. L. Seyfert galaxies that are undergoing merging but appear non-interacting. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 408, p. 400–406, 2010.

SPARKE, L. S.; GALLAGHER, J. S. **Galaxies in the Universe: An Introduction**. New York: Cambridge University Press, 2007. 443 p.

Stasińska, G. et al. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - III. How to distinguish AGN hosts. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 371, p. 972–982, 2006.

Stoklasová, I. et al. OASIS integral-field spectroscopy of the central kpc in 11 Seyfert 2 galaxies. **Astronomy and Astrophysics**, v. 500, p. 1287–1325, 2009.

Storchi-Bergmann, T. et al. Feeding versus feedback in NGC4151 probed with Gemini NIFS - II. Kinematics. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 402, p. 819–835, 2010.

Storchi-Bergmann, T.; Wilson, A. S.; Baldwin, J. A. The ionization cone, obscured nucleus, and gaseous outflow in NGC 3281 - A prototypical Seyfert 2 galaxy? **Astrophysical Journal**, v. 396, p. 45–61, 1992.

Su, B. M. et al. Compact radio structure in the Seyfert nucleus of NGC 5929. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 279, p. 1111–1119, 1996.

Tody, D. The IRAF Data Reduction and Analysis System. In: Crawford, D. L. (Ed.). **Instrumentation in astronomy VI**. [S.l.: s.n.], 1986. (Proceedings of the Meeting and Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, v. 627), p. 733.

_____. IRAF in the Nineties. In: Hanisch, R. J.; Brissenden, R. J. V.; Barnes, J. (Ed.). **Astronomical Data Analysis Software and Systems II**. [S.l.: s.n.], 1993. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 52), p. 173.

Tremaine, S. et al. The Slope of the Black Hole Mass versus Velocity Dispersion Correlation. **Astrophysical Journal**, v. 574, p. 740–753, 2002.

Tsai, M.; Hwang, C.-Y. Star Formation in the Central Regions of Active and Normal Galaxies. **The Astronomical Journal**, v. 150, p. 43, 2015.

Ulvestad, J. S.; Wilson, A. S. Radio structures of Seyfert galaxies. VI - VLA observations of a nearby sample. **Astrophysical Journal**, v. 285, p. 439–452, 1984.

Ulvestad, J. S. et al. Subrelativistic Radio Jets and Parsec-Scale Absorption in Two Seyfert Galaxies. **Astrophysical Journal Letters**, v. 517, p. L81–L84, 1999.

Urry, C. M.; Padovani, P. Unified Schemes for Radio-Loud Active Galactic Nuclei. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 107, p. 803, 1995.

Veilleux, S.; Osterbrock, D. E. Spectral classification of emission-line galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 63, p. 295–310, 1987.

Whittle, M. et al. Radio lobes and forbidden O III profile substructure in Seyfert galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 326, p. 125–145, 1988.

Wilson, A. S.; Tsvetanov, Z. I. Ionization cones and radio ejecta in active galaxies. **The Astronomical Journal**, v. 107, p. 1227–1234, 1994.

WRITZL, B. C. **Estudo de Densidade Eletrônica em Nebulosas Planetárias**. 2000. 58 f. Dissertação (Mestrado em Física) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

Wylezalek, D. et al. Zooming into local active galactic nuclei: the power of combining SDSS-IV MaNGA with higher resolution integral field unit observations. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 467, p. 2612–2624, 2017.

Zinn, P.-C. et al. Active Galactic Nucleus Feedback Works Both Ways. **Astrophysical Journal**, v. 774, p. 66, 2013.