

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Mapeando o Gás de Alta e Baixa Excitação na Vizinhança de Buracos Negros Supermassivos

Mônica Tergolina

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à comissão de graduação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel no Curso de Física.

Orientadora: Prof. Dra. Thaisa Storchi Bergmann

Porto Alegre - RS

Janeiro de 2018

Resumo

Apresento a seguir uma análise de espectroscopia de campo integral - obtida com o Gemini Multi-Object Spectrograph - da cinemática do gás de alta e baixa excitação no interior do ~ 1 kpc central em oito de uma amostra representativa de Galáxias de Núcleo Ativo no universo local ($z < 0.01$). *Channel maps* revelam que o gás de alta excitação parecem ser dominados por *outflows* e portanto mapeiam o *feedback* do AGN, enquanto que o gás de mais baixa excitação muitas vezes contém uma componente estendida de mais baixa velocidade proveniente de gás em rotação no plano da galáxia. A massa em *outflow* varia de $1.23e6M_{\odot}$ a $2.55e9M_{\odot}$, correspondendo a um intervalo de 12.8% a 49.5% da massa total de gás na região observada. As taxas de ejeção de massa variam entre $0.0078M_{\odot}/\text{ano}$ e $38.16M_{\odot}/\text{ano}$ e a potência cinética em função da luminosidade bolométrica obtida a partir de Raios X é bem pequena variando de $8.04e-5\%$ a 0.5%. Então somente na galáxia mais luminosa, o *feedback* é forte o suficiente para influenciar sua evolução.

Abstract

I present integral field spectroscopy - obtained with the Gemini Multi-Object Spectrograph - analysis of high and low excitation gas kinematics of the inner ~ 1 kpc of eight galaxies of a representative sample of Active Galactic Nuclei in the local universe ($z < 0.01$). Channel maps reveal that high excitation maps seems to be dominated by outflows and thus shall map the feedback, while low excitation gas in many cases shows also more extended component due to rotation of gas in the galaxy plane. The outflowing mass ranges from $1.23e6M_{\odot}$ to $2.55e9M_{\odot}$, corresponding to a range of 12.8% to 49.5% of the total gas mass on the observed region. The mass outflow rate ranges from $0.0078M_{\odot}/\text{yr}$ to $38.16M_{\odot}/\text{yr}$ and the kinetic power of the outflow relative to the AGN bolometric luminosity ranges from $8.04e-5\%$ to 0.5%. Thus, only in the most luminous object, the feedback is strong enough to influence the evolution of the galaxy.

Sumário

1	Introdução	6
1.1	Outflows e Atividade Nuclear	8
2	Dados e Amostra	10
2.1	Dados	10
2.1.1	Instrumento	11
2.2	Amostra	12
2.2.1	NGC5728	12
2.2.2	NGC5899	13
2.2.3	NGC4180	14
2.2.4	NGC6814	15
2.2.5	NGC3227	16
2.2.6	NGC4593	17
2.2.7	NGC3786	18
2.2.8	NGC3516	19
3	Metodologia	21
4	Resultados	24
4.1	NGC5728	25
4.2	NGC5899	27
4.3	NGC4180	29
4.4	NGC6814	31
4.5	NGC3227	33
4.6	NGC4593	35
4.7	NGC3786	37
4.8	NGC3516	39
4.9	Massas, Taxa de ejeção de massa e Potência cinética	41

5	Discussão	42
5.1	NGC5728	42
5.2	NGC5899	43
5.3	NGC4180	44
5.4	NGC6814	45
5.5	NGC3227	46
5.6	NGC4593	47
5.7	NGC3786	48
5.8	NGC3516	49
5.9	Discussão Geral	50
5.10	Relações entre Parâmetros Físicos	50
6	Conclusão	53

Capítulo 1

Introdução

O diagrama cor-magnitude de galáxias (Figura 1.1) mostra a existência de duas populações de galáxias distintas: a *red sequence* e a *blue cloud* [1]. Em geral, as galáxias que se encontram na *red sequence* são galáxias elípticas com pouco gás e poeira, que não estão formando estrelas e que se encontram em aglomerados de galáxias, enquanto que as que se encontram na *blue cloud* são, em sua maioria, galáxias espirais com bastante gás disponível, que estão formando estrelas e que se encontram em ambientes menos densos.

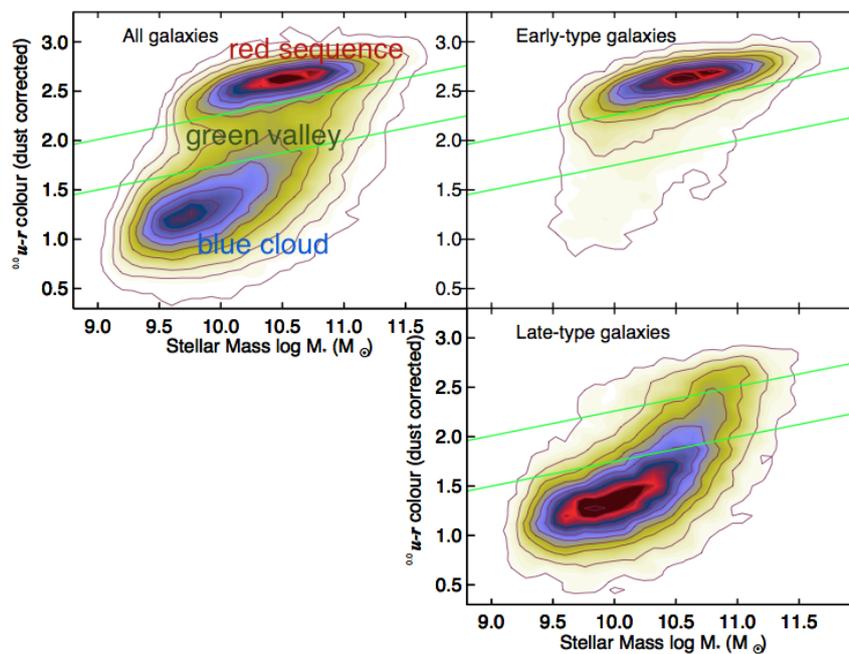


Figura 1.1: Diagrama cor magnitude mostrando a bimodalidade da população de galáxias [2].

A evolução das galáxias da *blue cloud* para a *red sequence* implica, fundamentalmente, em transformações morfológicas e cromáticas [3]. Galáxias espirais, ao sofrerem fusões (*mergers*), podem formar uma componente esferoidal e se tornarem galáxias *early type*. Entretanto, ainda não se sabe como as galáxias evoluem da *blue cloud* para a *red sequence*, uma vez que não há evidências apontando que *mergers* causam a cessação da formação estelar (*quenching*). A existência da *red sequence* faz com que seja necessário um mecanismo responsável pela supressão da formação de estrelas [4].

Sabemos que as estrelas se formam a partir do gás frio disponível no disco galáxia, assim, quando esse gás não está mais disponível ocorre o *quenching* da formação estelar. Como a quantidade de galáxias que se encontram no *green valley* é pequena, conclui-se que esse fenômeno ocorra rapidamente.

Modelos para a evolução de galáxias propõem diversos mecanismos para explicar o *shut off* da formação estelar, os quais são divididos basicamente em duas categorias: os mecanismos que dependem da massa da galáxia, também chamados de internos [5] e os mecanismos externos ou de ambiente. Estes são *strangulation* e *ram pressure stripping*, enquanto que aqueles são *feedback* de AGNs e *feedback* estelar. No entanto, neste trabalho estamos interessados apenas em analisar o efeito de *feedback* dos núcleos ativos de galáxia (AGNs), que corrobora com a ideia de *inside out quenching*, ou seja, que a supressão da formação estelar ocorre de dentro para fora da galáxia. A figura 1.2 esquematiza como funciona o *inside out quenching*.

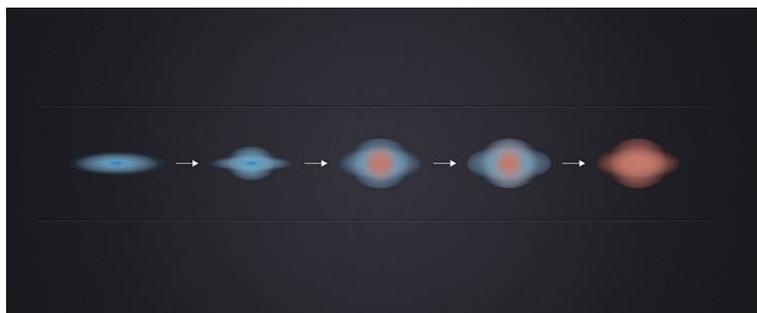


Figura 1.2: Representação esquemática do *inside out quenching*.

O impacto que o *feedback* do AGN pode causar na galáxia hospedeira depende da extensão e da potência das ejeções de gás (*outflow*), que é variável de galáxia para galáxia. Núcleos ativos de galáxias são observados em uma ampla faixa de luminosidades (da ordem de $10^{40} - 10^{49} \text{ erg s}^{-1}$), a qual afeta a energia cinética dos ventos, de modo que menor ou maior luminosidade indica menor ou maior pressão de radiação. Assim, podemos pensar na possibilidade da existência de uma relação entre a luminosidade do AGN e a extensão e

potência do *outflow*. A partir dessa relação seria possível prever o impacto das ejeções de gás somente com a luminosidade, não precisando assim, analisar toda a cinemática da galáxia.

Este trabalho tem como objetivo analisar e quantificar o impacto do *feedback* do buraco negro supermassivo em uma subamostra de uma amostra representativa de Galáxias de Núcleo Ativo no universo local ($z < 0.01$).

1.1 OUTFLOWS E ATIVIDADE NUCLEAR

O paradigma atual sobre a atividade nuclear em galáxias propõe que esta é uma fase na qual o buraco negro supermassivo (SMBH) central, que está presente em todas as galáxias com componente esferoidal, está sendo alimentado por meio de um disco de acreção formado por gás que chegou à região central sendo proveniente de partes mais externas da galáxia ou até mesmo de fora dela. A figura 1.3 é uma representação do modelo unificado de Galáxias de Núcleo Ativo que mostra suas componentes e escalas típicas.

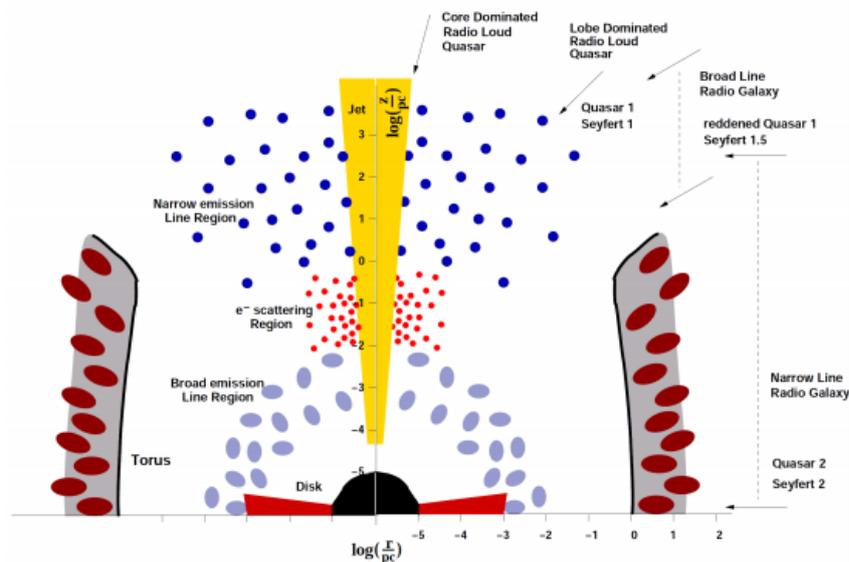


Figura 1.3: Representação esquemática do modelo unificado de AGN's mostrando as diferentes estruturas que compõem um AGN e suas dimensões típicas em escala logarítmica.

Muitas vezes, nessa fase ativa da galáxia são observadas ejeções de gás que acabam afetando a evolução das galáxias, controlando o crescimento do SMBH e da galáxia hospedeira. Esta é uma possível explicação para a relação empírica existente entre a massa do SMBH e do bojo das galáxias, a qual sugere que galáxias e buracos negros supermassivos

evoluem juntos [6]. Sabemos que o disco de acreção emite radiação que sai da região central de forma esférica junto com gás e ventos. No entanto, devido a presença do toroide, que é constituído de gás e poeira, a radiação é bloqueada nessa direção de forma que esses *outflows* acabam tendo, em geral, uma simetria cônica. Já os *inflows*, parecem ocorrer sobre a forma de espirais nucleares no plano do disco da galáxia [7].

Embora exista um cenário para os processos envolvidos na fase ativa da galáxia, durante a qual o SMBH está sendo alimentado, ainda existem muitas questões não resolvidas, como a natureza dos processos de alimentação e retro-alimentação do SMBH, as velocidades e as taxas de transferência de massa de *inflow* e *outflow*. Atualmente o cenário mais aceito é de que o gás de baixa excitação deve mapear a alimentação do buraco negro, enquanto que o gás de mais alta excitação deve mapear o *feedback*; entretanto, muitas vezes é difícil separar esses efeitos.

Como mencionado anteriormente, os ventos e a radiação ionizante saem da região central com uma geometria cônica fazendo com que os átomos e moléculas que se encontram no caminho da radiação e do *outflow* sejam ionizados. O gás de mais alta excitação é aquele que se encontra próximo ao eixo de ionização e do *outflow*. À medida que nos afastamos deste eixo, a ionização diminui. Quanto aos *inflows*, esperamos que os mesmos se encontrem no plano da galáxia, sendo a maioria deles observados mais afastados do eixo de ionização, de forma que são melhor mapeados pelo gás de baixa excitação.

Este trabalho segue um formato no qual os dados e a amostra serão apresentados no capítulo 2, discutindo desde o instrumento utilizado na obtenção dos dados até a redução dos mesmos. Em seguida, no capítulo 3, será abordada a metodologia utilizada. No capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos. Já no capítulo 5 será feita a análise e a discussão dos resultados. No capítulo 6 serão apresentadas as conclusões.

Capítulo 2

Dados e Amostra

2.1 DADOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de observações de espectroscopia de campo integral feitas com os instrumentos GMOS-IFU (Gemini Multiobject Spectrograph Integral Field Unit) dos telescópios Gemini.

Espectroscopia de campo integral (IFS, do inglês *integral field spectroscopy*) é utilizada em astronomia principalmente quando temos objetos espacialmente extensos como nebulosas ou galáxias. Essa técnica combina um espectrógrafo a uma unidade de campo integral (IFU, do inglês *integral field unit*) e possibilita a obtenção de espectros espacialmente resolvidos. Nesse método, o sinal obtido em cada pixel é levado a um espectrógrafo que gera um espectro para cada pixel individual. Os espectros resultantes são organizados em um cubo de dados, como é mostrado na figura 2.1, a qual contém a imagem 2D do objeto e os espectros na terceira dimensão.

A espectroscopia de campo integral produz um espectro para cada parte de um campo bidimensional [8]. Já a espectroscopia de fenda longa é limitada a um campo unidimensional cuja largura é determinada pela largura da fenda usada, usualmente da ordem do diâmetro da "point-spread-function", tipicamente de 1" no caso de observatórios terrestres. A largura da fenda tem também um efeito sobre a resolução espectral - quando mais estreita, melhor é a resolução espectral, considerando também os limites impostos pela rede de difração utilizada. Uma grande vantagem da espectroscopia de campo integral é que não é obrigatório posicionar o objeto perfeitamente na fenda, já que o campo coberto é maior do que o coberto pela fenda.

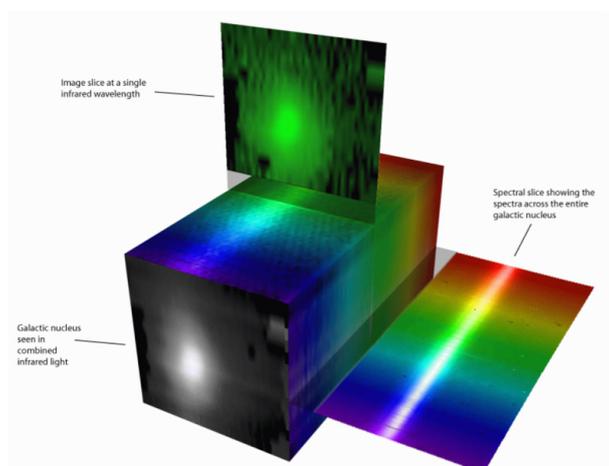


Figura 2.1: Representação esquemática de um cubo de dados.

2.1.1 Instrumento

Os instrumentos GMOS são um par idêntico de espectrógrafos que se encontram montados nos telescópios Gemini, os quais possuem instalação para espectroscopia de campo integral. Neste modo o campo de visão (FOV, do inglês *field of view*) pode ser de 5" x 7" ou de 5" x 3.5" com uma amostragem de 0.2" e funciona na faixa de comprimentos de onda do visível. O IFU contém 1500 lentes acopladas às fibras óticas e foi a primeira instalação de espectroscopia de campo integral em um telescópio do porte de 8-10 metros. A tabela 2.1 especifica as informações do instrumento.

Tabela 2.1: Dados do instrumento GMOS-IFU.

Design das fibras	Lentes hexagonais
Intervalo de comprimento de onda	4.000 - 10.000 Å
Formato do IFU	2 campos separados por 1 arcmin
Modo duas fendas	Todas fibras são usadas (metade em cada campo) para ter um FOV máximo mas com cobertura espectral limitada
Modo uma fenda	Metade do número de fibras e do FOV para ter cobertura espectral estendida
FOV duas fendas	5" x 7"
FOV uma fenda	5" x 3.5"

2.2 AMOSTRA

As galáxias da amostra são AGNs próximos, de forma que possamos resolver espacialmente com o GMOS-IFU regiões de dimensões da ordem de 100 pc, para resolver possíveis inflows e outflows centrais. Podem ser considerados de baixa luminosidade (inferior a $L_* \sim 3 \times 10^{10} L_{\odot}$). A seguir são apresentadas individualmente cada galáxia da amostra juntamente com algumas de suas características.

2.2.1 NGC5728

A galáxia NGC5728 é uma galáxia Seyfert 2 cuja morfologia é SABa. Esta encontra-se a uma distância 37.6 Mpc de forma que a escala é 182pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $8.02 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ [9]. A figura 2.2 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Carnegie-Irvine Galaxy Survey, enquanto que a figura 2.3 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

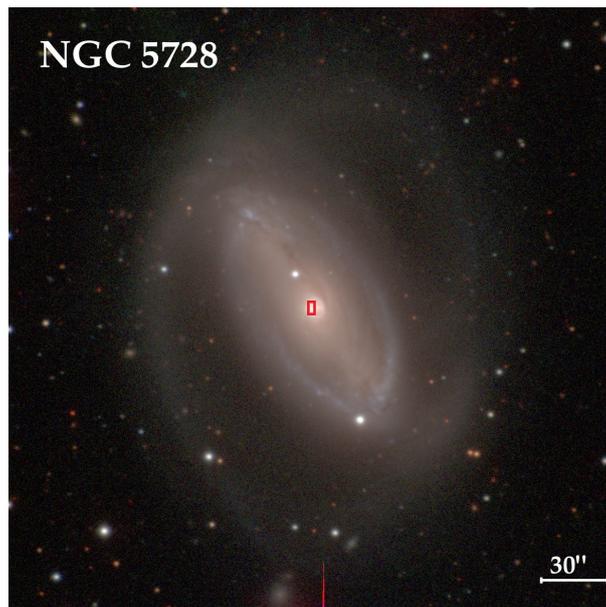


Figura 2.2: Imagem composta nas bandas B, V, R, I da galáxia NGC5728 obtida com o Carnegie-Irvine Galaxy Survey na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU (3.5" x 5").

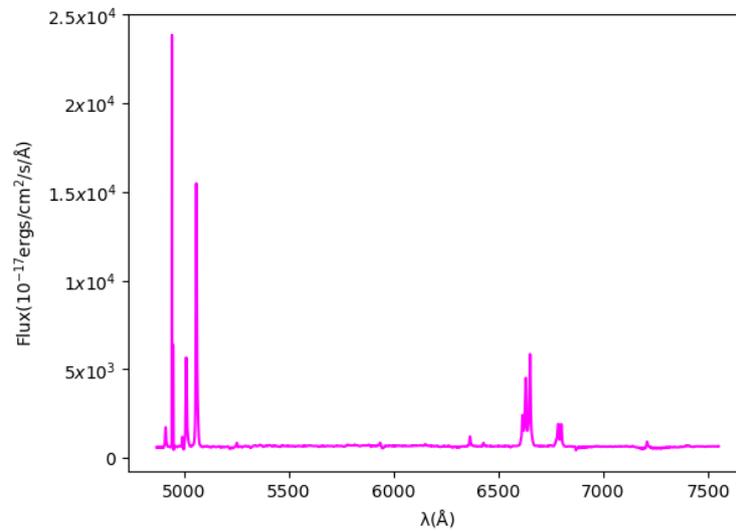


Figura 2.3: Espectro integrado da galáxia NGC5728 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.2 NGC5899

A galáxia NGC5899 é uma galáxia Seyfert 2 cuja morfologia é SABc. Esta encontra-se a uma distância 36.8 Mpc de forma que a escala é 178pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $2.46 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ [9]. A figura 2.4 mostra uma imagem desta galáxia obtida com o Sloan Digital Sky Survey (SDSS), enquanto que a figura 2.5 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

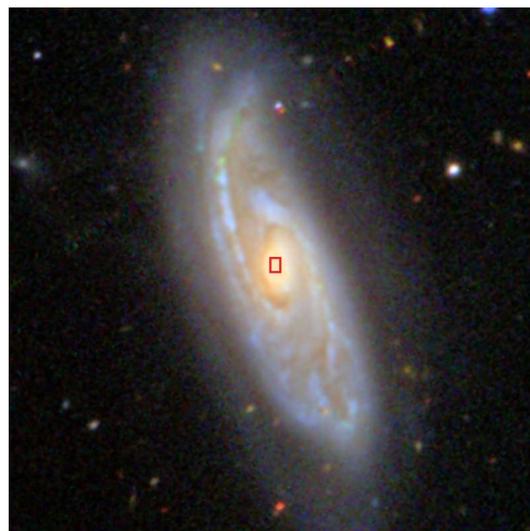


Figura 2.4: Imagem composta da galáxia NGC5899 obtida com o SDSS nas bandas u, g, r, i, z, na qual o retângulo em vermelho representa o campo do GMOS-IFU (3.5"x 5").

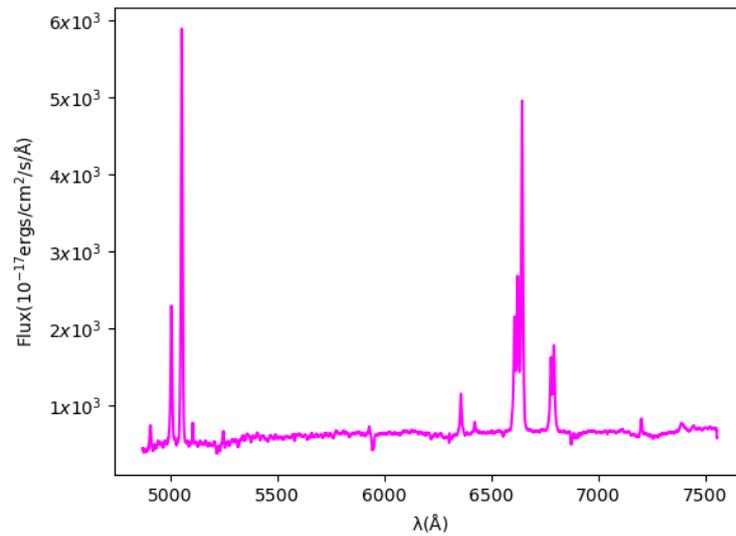


Figura 2.5: Espectro integrado da galáxia NGC5899 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.3 NGC4180

A galáxia NGC4180 é uma galáxia LINER cuja morfologia é Sab. Esta encontra-se a uma distância 27.6 Mpc de forma que a escala é 134pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $3.53 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ [10]. A figura 2.6 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Sloan Digital Sky Survey (SDSS), enquanto que a figura 2.7 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

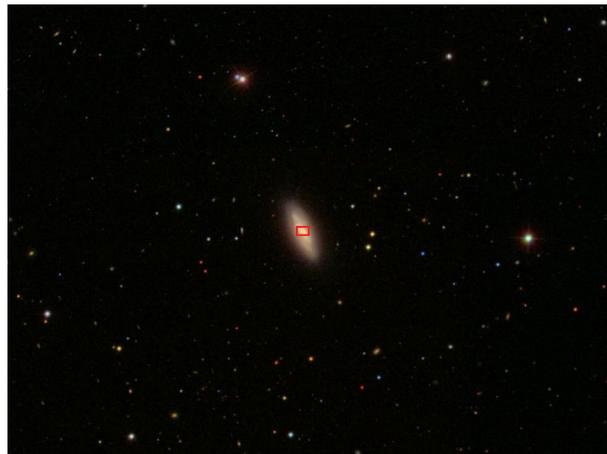


Figura 2.6: Imagem composta da galáxia NGC4180 obtida com o SDSS nas bandas u, g, r, i, z, na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU ($3.5'' \times 5''$).

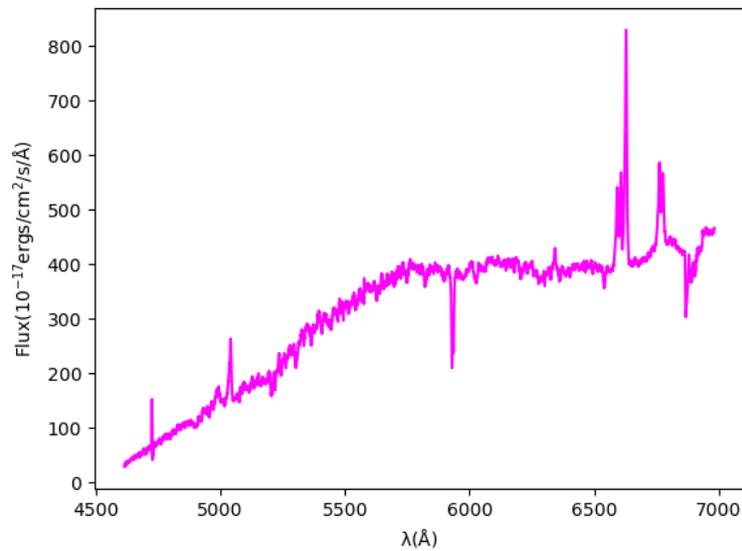


Figura 2.7: Espectro integrado da galáxia NGC4180 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.4 NGC6814

A galáxia NGC6814 é uma galáxia Seyfert 1 cuja morfologia é SABbc. Esta encontra-se a uma distância 23.0 Mpc de forma que a escala é 111pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $1.14 \times 10^{42} \text{erg s}^{-1}$ [9]. A figura 2.8 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Carnegie-Irvine Galaxy Survey, enquanto que a figura 2.9 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

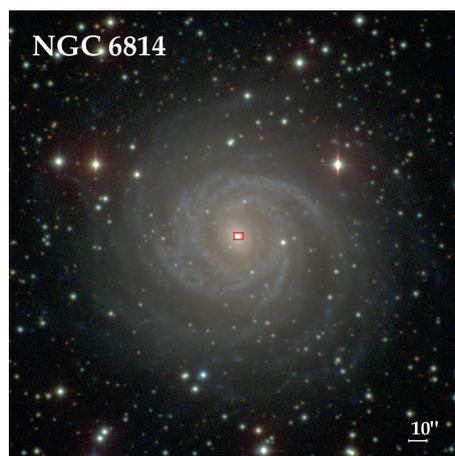


Figura 2.8: Imagem composta nas bandas B, V, R, I da galáxia NGC6814 obtida com o Carnegie-Irvine Galaxy Survey na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU (3.5"x 5").

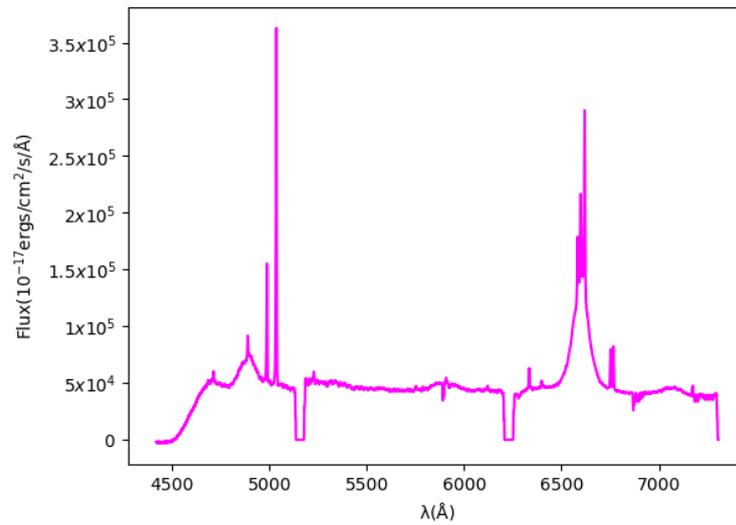


Figura 2.9: Espectro integrado da galáxia NGC6814 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.5 NGC3227

A galáxia NGC3227 é uma galáxia Seyfert 1 cuja morfologia é SAB. Esta encontra-se a uma distância 14.8 Mpc de forma que a escala é 72pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $4.26 \times 10^{42} \text{erg s}^{-1}$ [11]. A figura 2.10 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Sloan Digital Sky Survey (SDSS), enquanto que a figura 2.11 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

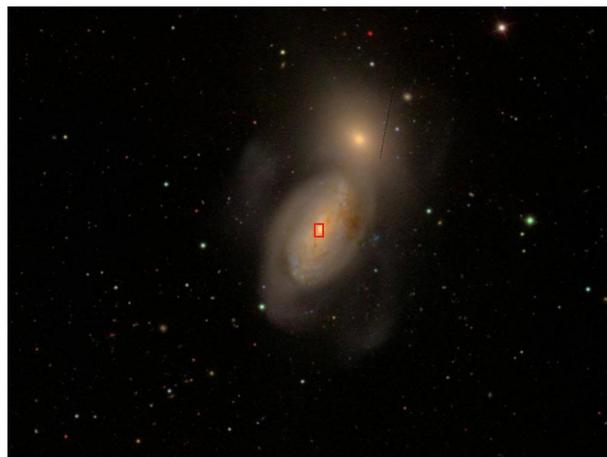


Figura 2.10: Imagem composta da galáxia NGC3227 obtida com o SDSS nas bandas u, g, r, i, z, na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU (3.5"x5").

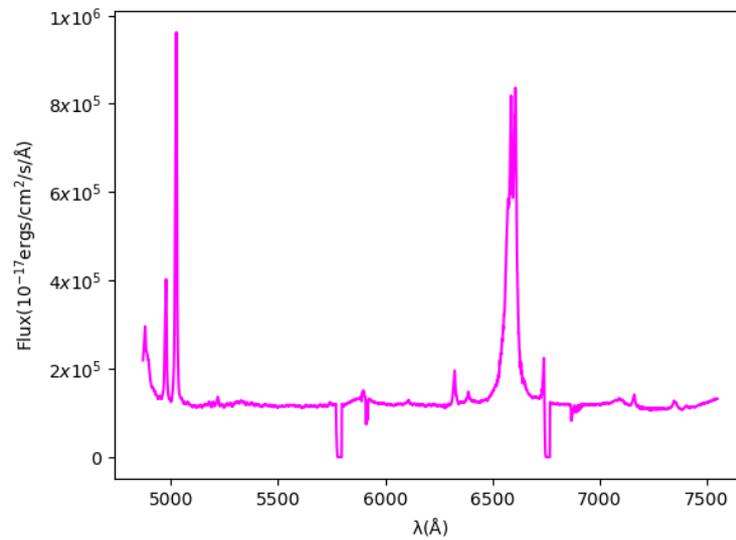


Figura 2.11: Espectro integrado da galáxia NGC3227 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.6 NGC4593

A galáxia NGC4593 é uma galáxia Seyfert 1 cuja morfologia é SBb. Esta encontra-se a uma distância 35.6 Mpc de forma que a escala é 172pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $1.08 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$ [9]. A figura 2.12 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Carnegie-Irvine Galaxy Survey, enquanto que a figura 2.13 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

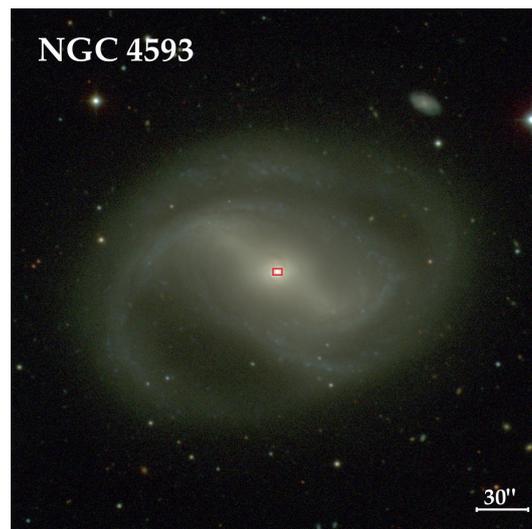


Figura 2.12: Imagem composta nas bandas B, V, R, I da galáxia NGC4593 obtida com o Carnegie-Irvine Galaxy Survey na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU (3.5"x 5").

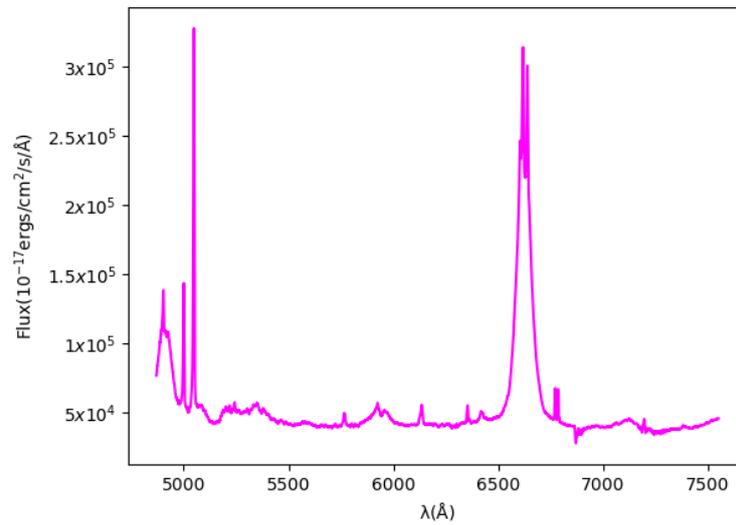


Figura 2.13: Espectro integrado da galáxia NGC4593 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.7 NGC3786

A galáxia NGC3786 é uma galáxia Seyfert 1 cuja morfologia é SABA. Esta encontra-se a uma distância 36.6 Mpc de forma que a escala é 177pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $4.90 \times 10^{42} \text{erg s}^{-1}$ [9]. A figura 2.14 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Sloan Digital Sky Survey (SDSS), enquanto que a figura 2.15 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

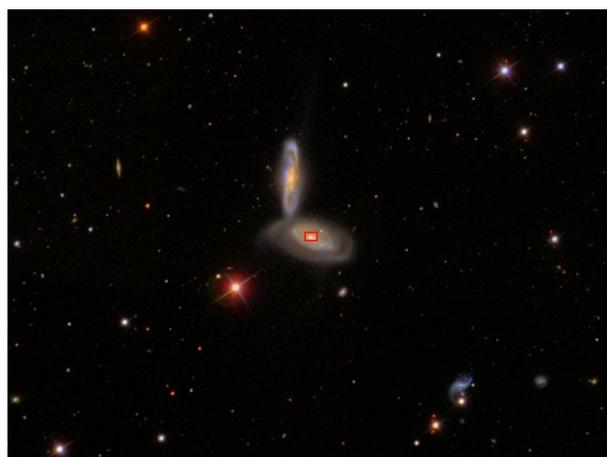


Figura 2.14: Imagem composta da galáxia NGC3786 obtida com o SDSS nas bandas u, g, r, i, z, na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU (3.5"x 5").

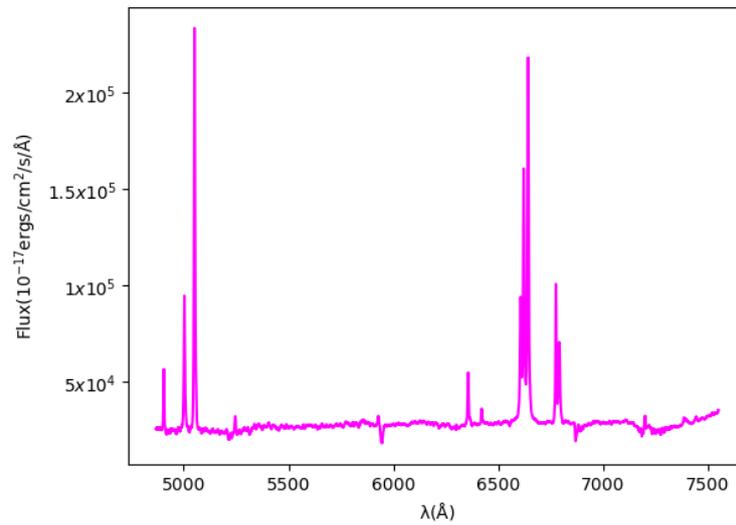


Figura 2.15: Espectro integrado da galáxia NGC3786 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

2.2.8 NGC3516

A galáxia NGC3516 é uma galáxia Seyfert 1 cuja morfologia é SB0. Esta encontra-se a uma distância 38.0 Mpc de forma que a escala é 182pc/arcsec e a luminosidade bolométrica baseada em Raios X é $3.14 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$ [9]. A figura 2.16 mostra uma imagem dessa galáxia obtida com o Hubble Space Telescope (HST), enquanto que a figura 2.17 apresenta um espectro integrado dentro de uma abertura circular com um raio de 1".

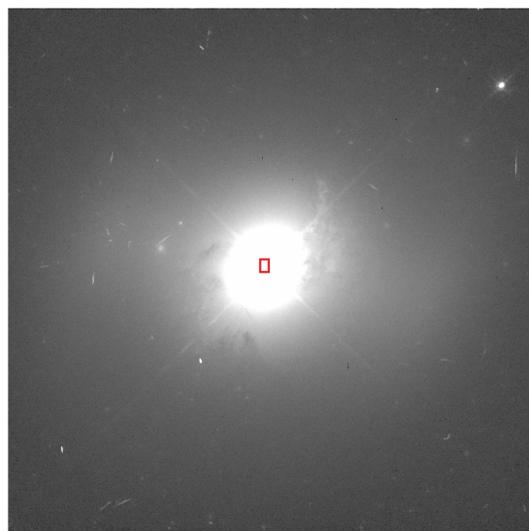


Figura 2.16: Imagem da galáxia NGC3516 obtida com o HST utilizando o filtro F606W, na qual o retângulo vermelho representa o campo do GMOS-IFU (7" x 5").

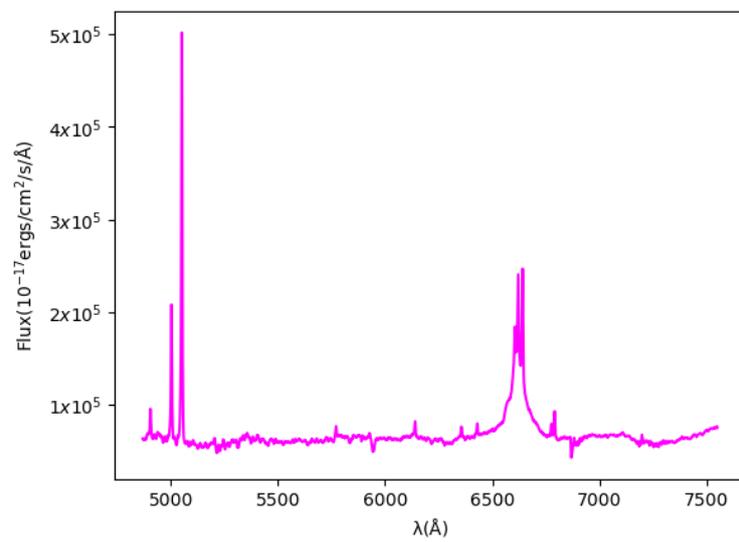


Figura 2.17: Espectro integrado da galáxia NGC3516 dentro de uma abertura circular com um raio de 1" no interior do campo do GMOS-IFU.

Capítulo 3

Metodologia

Para este trabalho foram utilizados cubos de dados do kiloparsec central de galáxias ativas próximas. Todos os cubos da amostra passaram pelo mesmo processo de redução de dados, o qual englobou subtração do bias e do céu, *flat fielding*, *trimming*, calibração em comprimento de onda e fluxo, construção e combinação dos cubos de dados. Esse procedimento foi feito utilizando o software IFSCUBE desenvolvido pelo Dr. Daniel Ruschel [12]. Com esse mesmo software foram construídos *channel maps*, que são mapas que mostram como o gás em diferentes velocidades se distribui na região central da galáxia.

A fim de compararmos a cinemática de alta e baixa excitação, foram construídos *channel maps* para diferentes linhas de emissão. Esses são obtidos a partir do cubo de dados, integrando a radiação ao longo dos perfis de linhas de emissão dentro de janelas espectrais correspondendo a bins de velocidade que vão de -480km/s até 480km/s. Neste trabalho utilizamos o [O III]($\lambda 5007\text{\AA}$) (a partir daqui, quando for citada a linha de emissão do [O III], estarei me referindo ao comprimento de onda $\lambda 5007\text{\AA}$) para mapear o gás de alta excitação e o [N II]($\lambda 6585\text{\AA}$) (a partir daqui, quando for citada a linha de emissão do [N II], estarei me referindo ao comprimento de onda $\lambda 6585\text{\AA}$) para mapear o gás de baixa excitação.

Como mencionado anteriormente em 1.1, os *outflows* podem ser mapeados a partir da observação de gás ionizado dentro do kiloparsec central. Desta forma, a presença de gás ionizado em altas velocidades na região central da galáxia pode ser um indicativo da presença de *outflows*. No entanto, devemos lembrar que também existe uma componente devido a rotação da galáxia que também aparece nos *channel maps*.

Para separarmos os efeitos de rotação dos *outflows*, o gás com velocidades superiores a 200km/s foi considerado como sendo apenas *outflow*. Este argumento foi utilizado, uma vez que o valor máximo de velocidade de rotação das galáxias espirais com massa da ordem da massa das galáxias da nossa amostra ($\sim 10^{11} M_{\odot}$) é da ordem de 200 km/s, sendo que este

ocorre, em geral, em um raio maior do que 1kpc.

A fim de quantificarmos o impacto do *feedback* do buraco negro supermassivo foram calculadas duas quantidades: a massa total de gás (M_{tot}) e a massa de gás correspondente ao *outflow* (M_{out}). A massa de gás pode ser calculada por meio da equação 3.0.1, na qual $L_{41}(H_\alpha)$ é a luminosidade em H_α em unidades de $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ e η_3^2 é a densidade eletrônica em unidades de $10^3 \text{ part cm}^{-3}$:

$$M \approx 2.3 \times 10^5 \frac{L_{41}(H_\alpha)}{\eta_3^2} M_\odot \quad (3.0.1)$$

A luminosidade em H_α (L_{H_α}) de uma dada região pode ser calculada a partir da equação 3.0.2, na qual F_{H_α} é o fluxo da região correspondete em H_α e r^2 é a distância do observador ao objeto:

$$L_{H_\alpha} = 4\pi r^2 F_{H_\alpha} \quad (3.0.2)$$

O F_{H_α} é obtido a partir do fluxo em [N II] ($F([N II])$) por meio da razão entre os fluxos de [N II] e H_α ($F([N II])/F(H_\alpha)$), sendo esse o valor médio dessa razão nas regiões onde foram detectados possíveis *outflows*.

Para o cálculo da massa do gás em *outflow* foi utilizado o $F([N II])$ acima de 200km/s, sendo esse o fluxo em [N II] do *outflow* ($F([N II])$), enquanto que para o cálculo da massa total de gás foi utilizado o fluxo total em [N II] ($F([N II])$). A partir dos valores obtidos para as massas, será possível estimar quanto da massa total está em *outflow*.

A taxa de massa pode ser calculada pela expressão 3.0.3, na qual \dot{M} é a taxa de massa e t é o tempo dinâmico dado pela razão entre uma distância definida como sendo o tamanho do *outflow* (r) e uma velocidade média do *outflow*. O critério utilizado para estimar essa distância foi de medir, em segundos de arco, o tamanho do *outflow* com maior sinal a uma velocidade típica do *outflow*, que para a nossa amostra é, em média 320km/s, enquanto que a velocidade média do *outflow* foi adotada com sendo 340km/s, que é o valor médio no intervalo de velocidades do *outflow* (200km/s - 480km/s).

$$\dot{M} = \frac{M_{out}}{t} \quad (3.0.3)$$

A potência cinética pode ser calculada pela expressão 3.0.4, na qual \dot{M} é a taxa de massa calculada pela equação 3.0.3 e v é 340km/s, que é a velocidade média do *outflow*.

$$P = \dot{M} \frac{v^2}{2} \quad (3.0.4)$$

A fim de verificar a existência de alguma relação entre as quantidades físicas calculadas, na próxima seção investigamos a relação entre elas e em particular entre M_{out} e a luminosidade bolométrica calculada a partir da luminosidade em Raios X (a partir daqui usarei $L_{bol_{Rx}}$), a qual foi obtida do NED.¹ Essa região espectral foi escolhida uma vez que é a mais representativa do AGN, pois é dominada por ele, enquanto que outras regiões, como a região ótica do espectro, podem ser dominadas por contínuo estelar, no entanto, em Raios X a emissão do AGN é dominante. Além disso, também serão mostrados gráficos comparando \dot{M} e $L_{bol_{Rx}}$, P e $L_{bol_{Rx}}$ e M_{out}/M_{tot} e $L_{bol_{Rx}}$.

¹NASA/IPAC Extragalactic Database, <https://ned.ipac.caltech.edu/>

Capítulo 4

Resultados

Os resultados encontram-se na forma de *channel maps* ao longo das linhas de emissão do [O III] e do [N II], para cada galáxia, num intervalo de velocidades de -480km/s a 480km/s. As quantidades físicas calculadas de acordo com o método descrito em 3 encontram-se na tabela 4.1. Além disso, os gráficos relacionando os parâmetros calculados encontram-se na seção 5.10

4.1 NGC5728

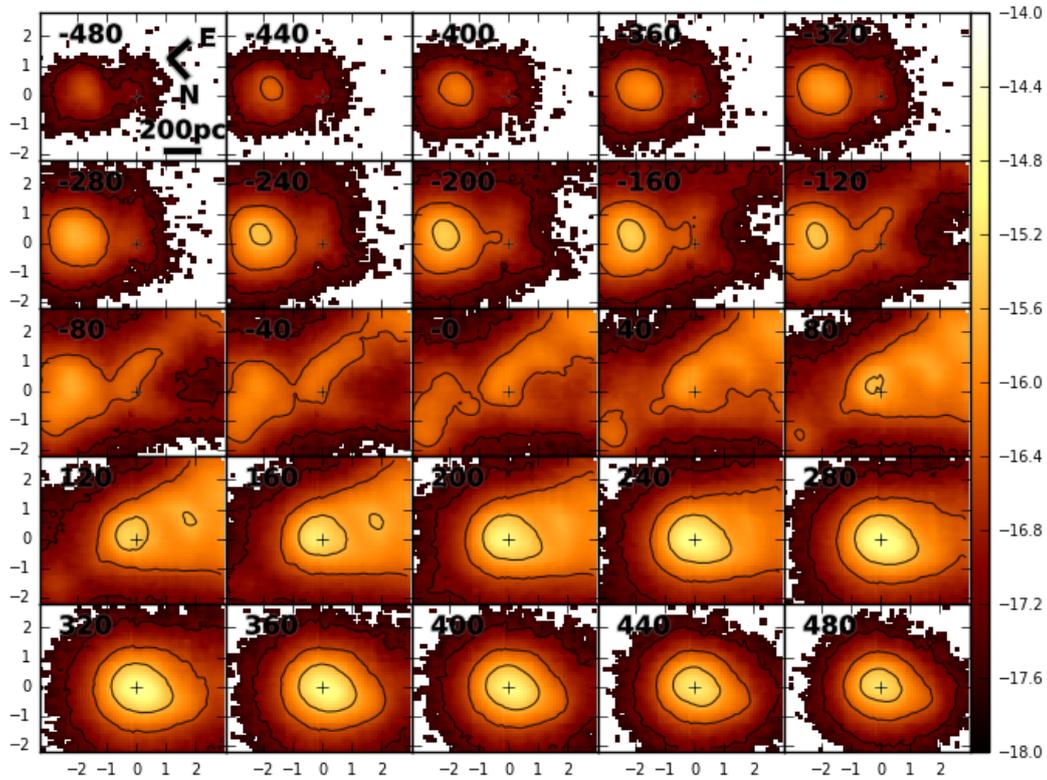


Figura 4.1: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC5728. Esses *channel maps* mostram uma estrutura bicônica com *blueshifts* mais para o oeste e *redshifts* mais para leste. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-18.0, -17.2, -16.4, -15.6, -14.8, -14.0].

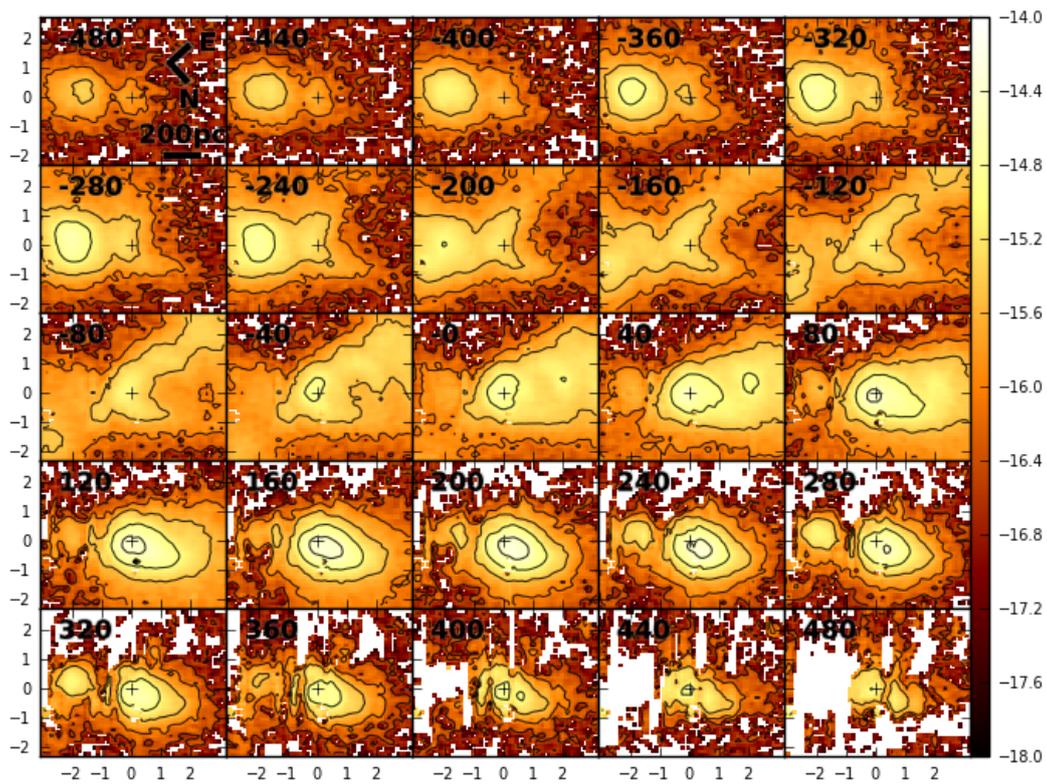


Figura 4.2: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC5728. Esses *channel maps* mostram uma geometria similar aos *channel maps* do [O III] (4.1) com uma estrutura em *blueshift* mais para oeste e uma estrutura em *redshift* mais para leste. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-16.5, -16.0, -15.5, -15.0, -14.5].

4.2 NGC5899

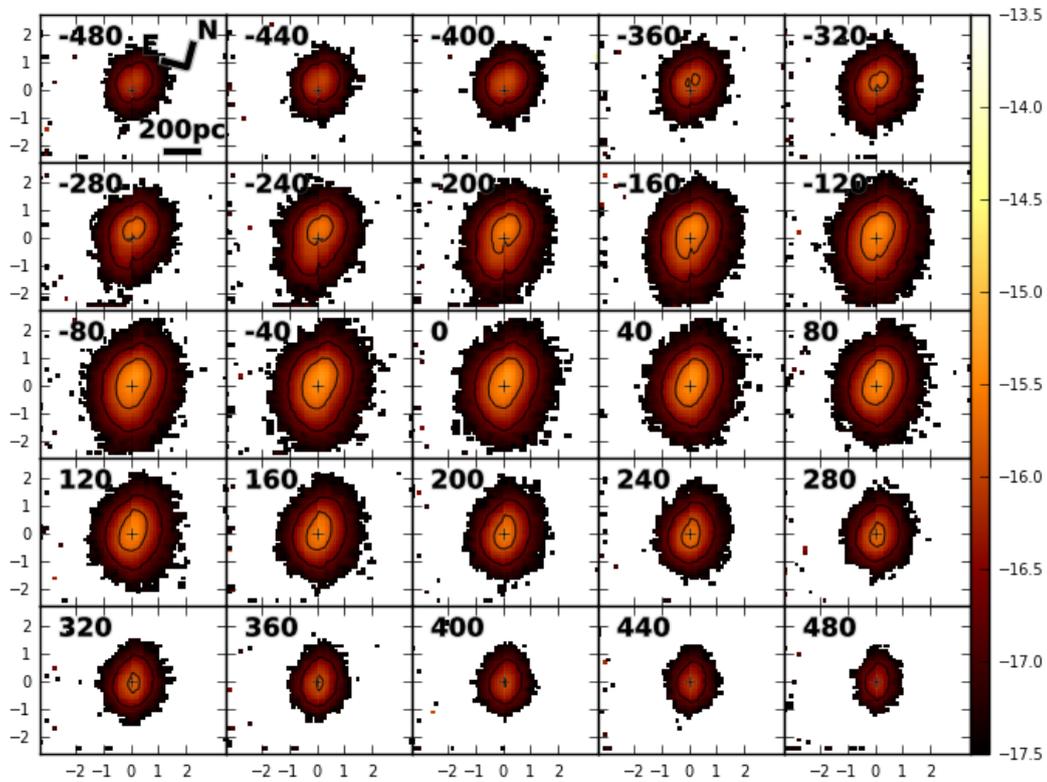


Figura 4.3: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC5899. Esses *channel maps* mostram uma estrutura mais compacta ao centro com uma geometria mais esférica. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.5, -16.7, -15.9, -15.1, -14.3, -13.5].

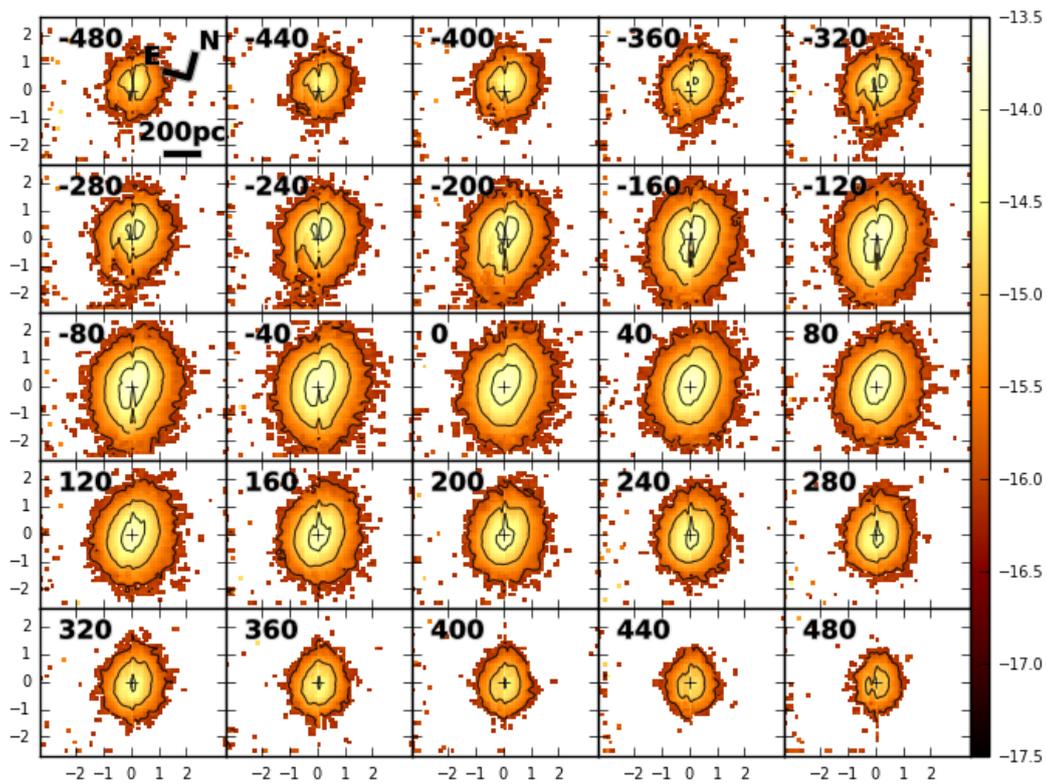


Figura 4.4: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC5899. Esses *channel maps* mostram uma estrutura compacta ao centro com uma geometria esférica, similar aos *channel maps* do [O III] (4.3). As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.5, -16.7, -15.9, -15.1, -14.3, -13.5].

4.3 NGC4180

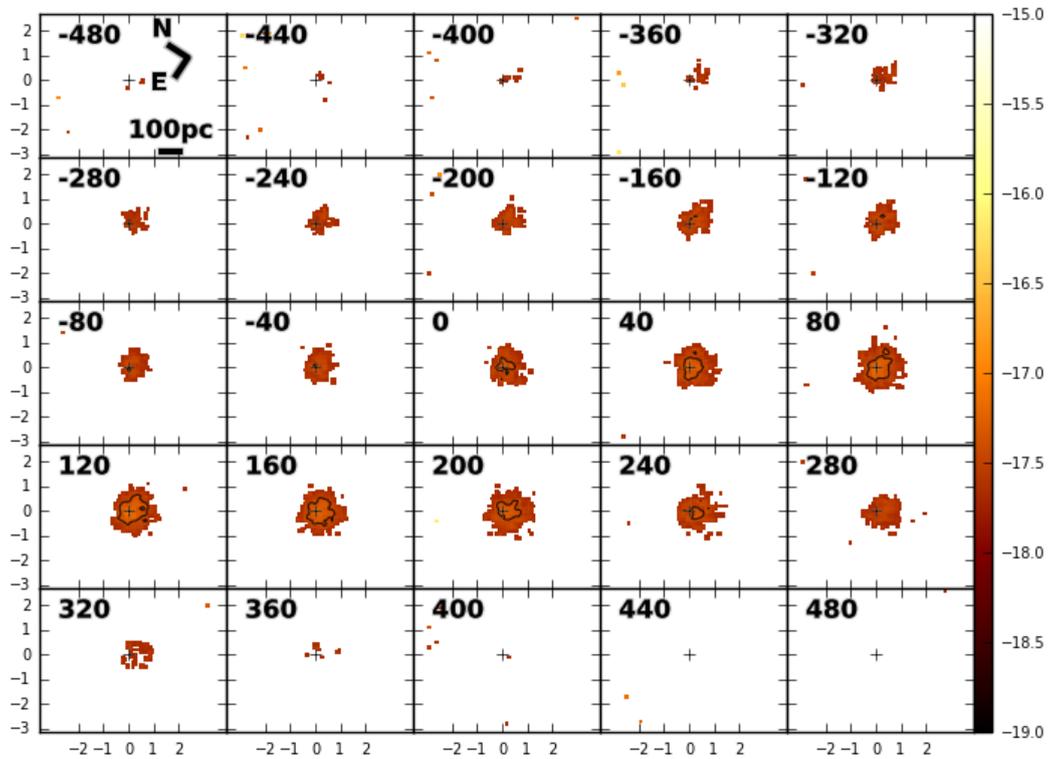


Figura 4.5: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC4180. Esses *channel maps* mostram uma pequena estrutura bem ao centro com uma simetria esférica. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-19.0, -18.2, -17.4, -16.6, -15.8, -15.0].

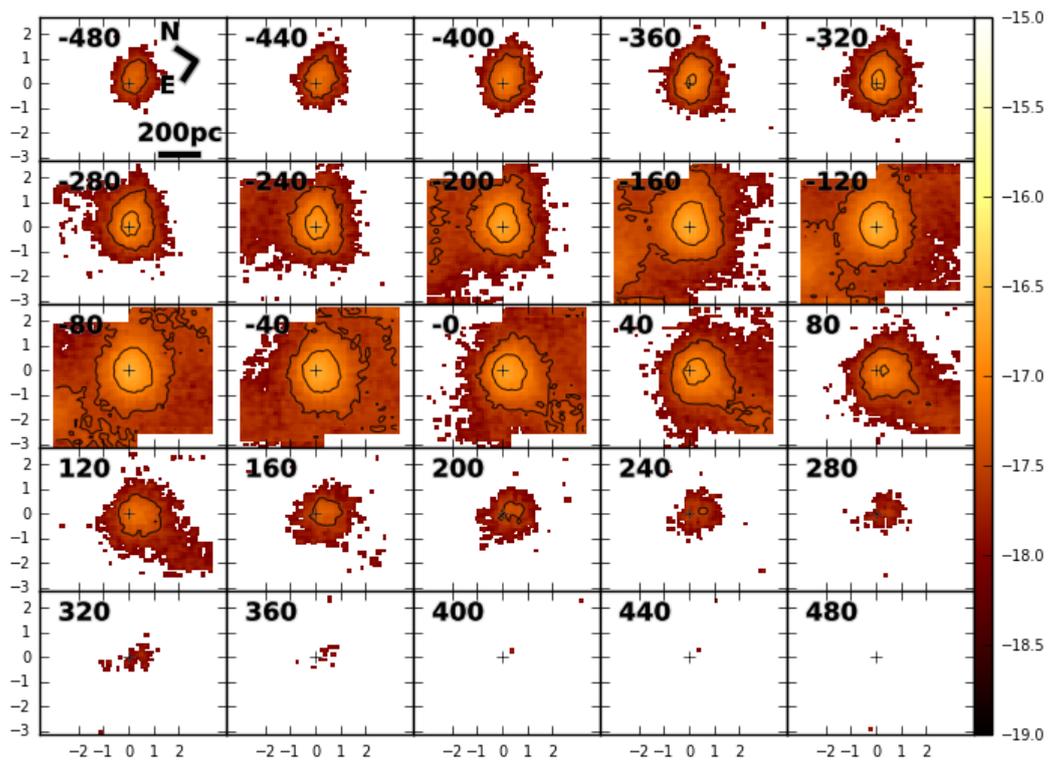


Figura 4.6: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC4180. Esses *channel maps* mostram uma estrutura ao centro com uma simetria esférica, porém um pouco mais espalhada do que nos *channel maps* do [O III] (4.5). As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-19.0, -18.2, -17.4, -16.6, -15.8, -15.0].

4.4 NGC6814

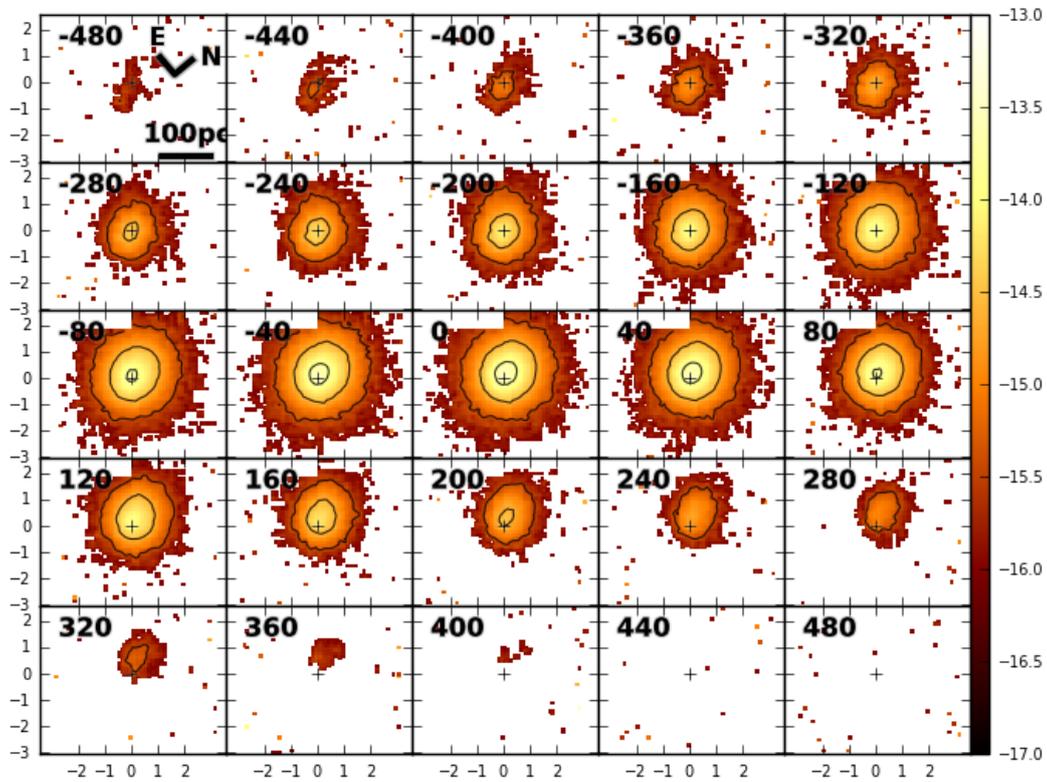


Figura 4.7: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC6814. Esses *channel maps* mostram uma estrutura com geometria esférica ao centro. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0].

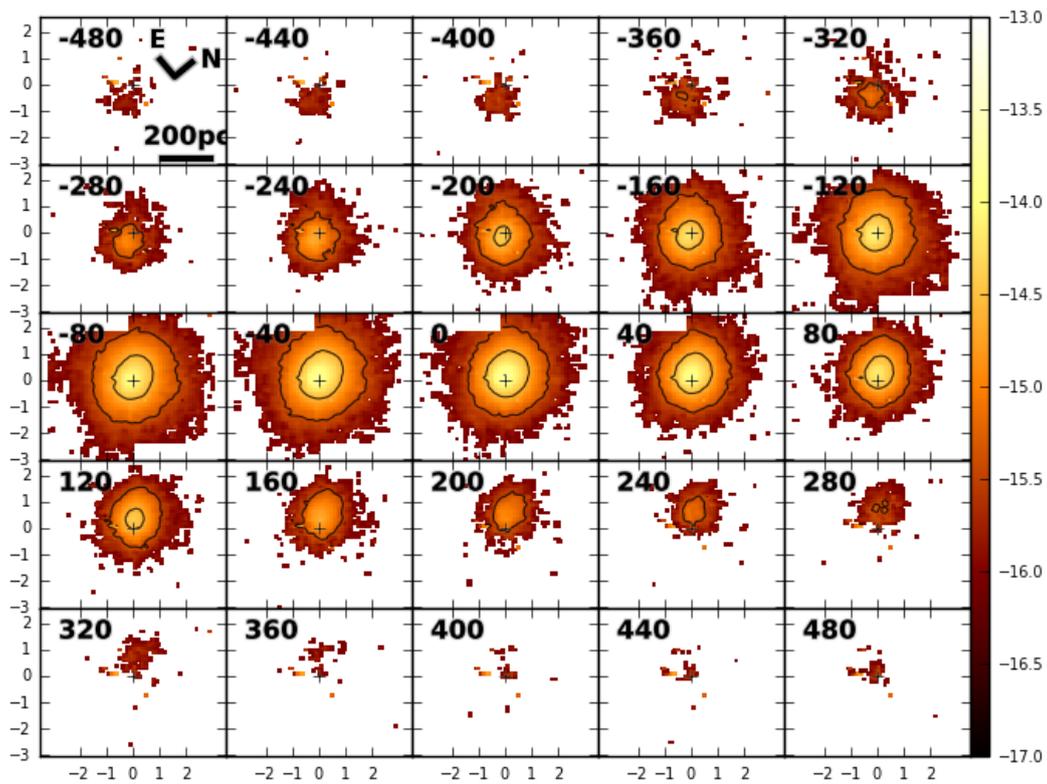


Figura 4.8: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC6814. Esses *channel maps* também mostram uma estrutura com geometria esférica ao centro, assim como nos *channel maps* do [O III] (4.7). As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

4.5 NGC3227

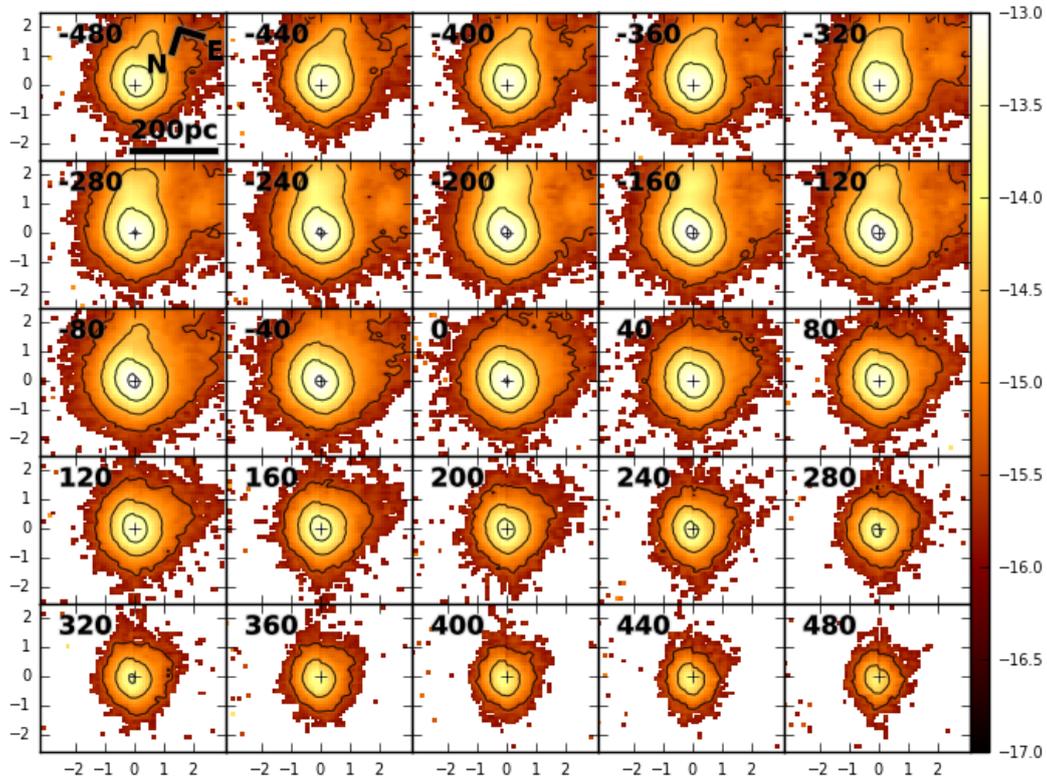


Figura 4.9: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC3227. Esses *channel maps* possuem uma geometria esférica ao centro e também mostram uma estrutura alongada na direção sul em *blueshift*. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

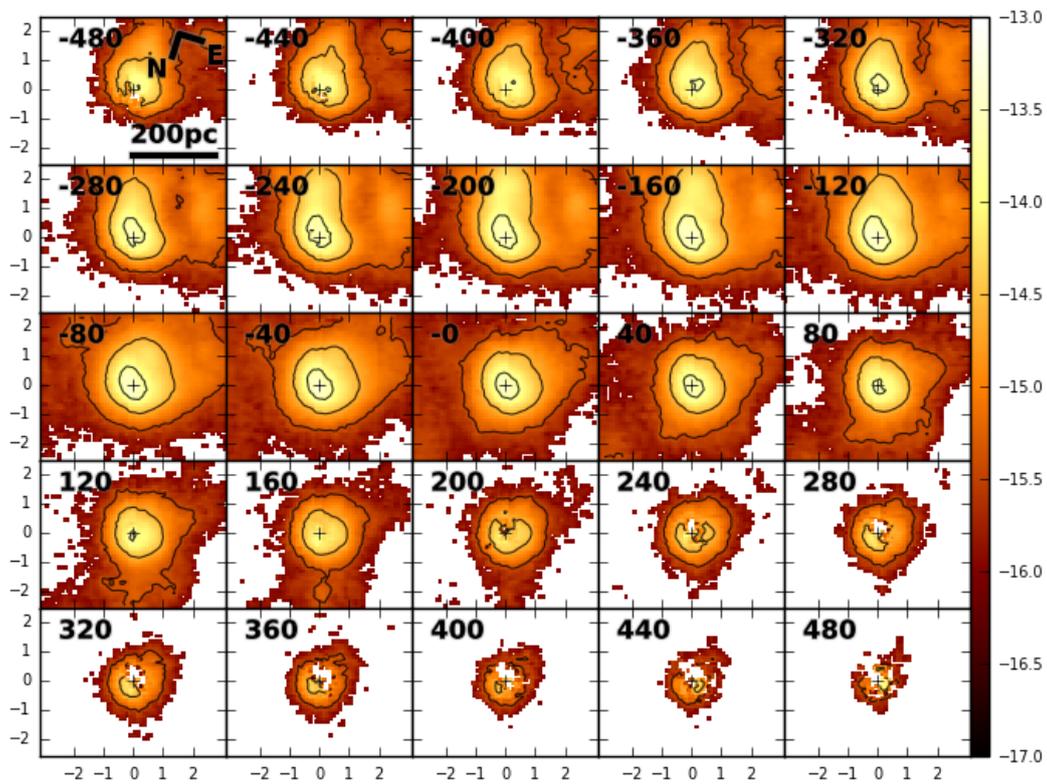


Figura 4.10: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC3227. Esses *channel maps* são similares aos da linha do [O III] (4.9), no entanto a estrutura ao sul que encontra-se em *blueshift* está mais alargada. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

4.6 NGC4593

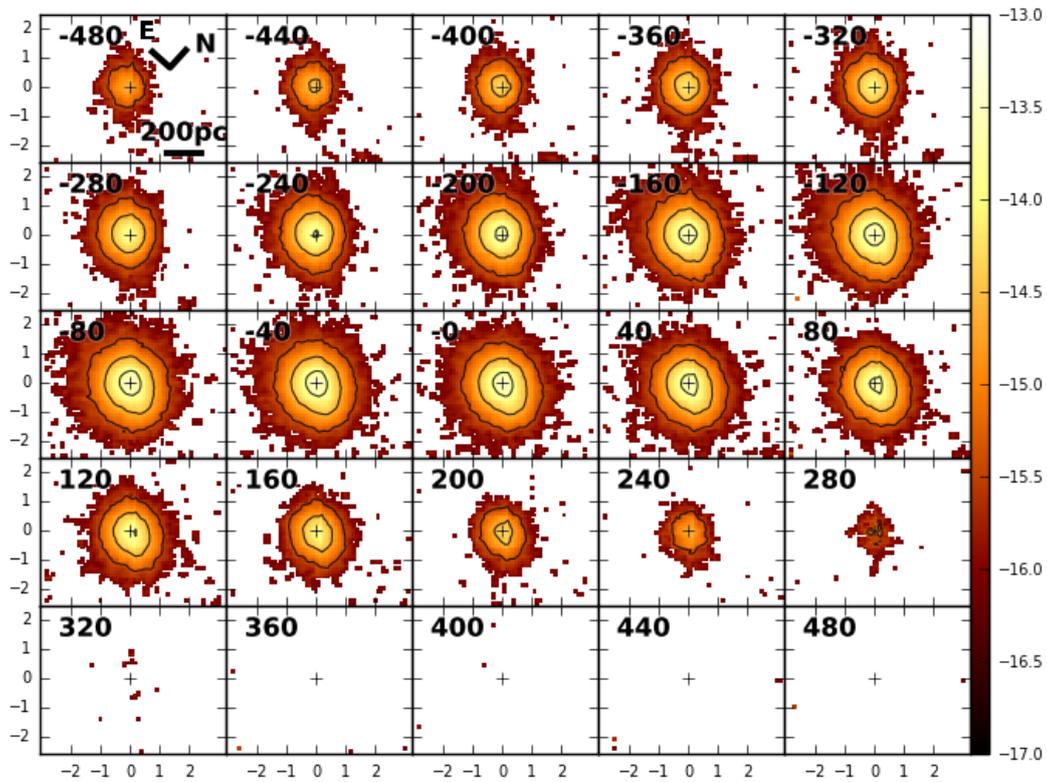


Figura 4.11: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC4593. Esses *channel maps* mostram, ao centro, uma estrutura com geometria esférica. Essa é observada em *blueshift* mas não aparece em *redshift*. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

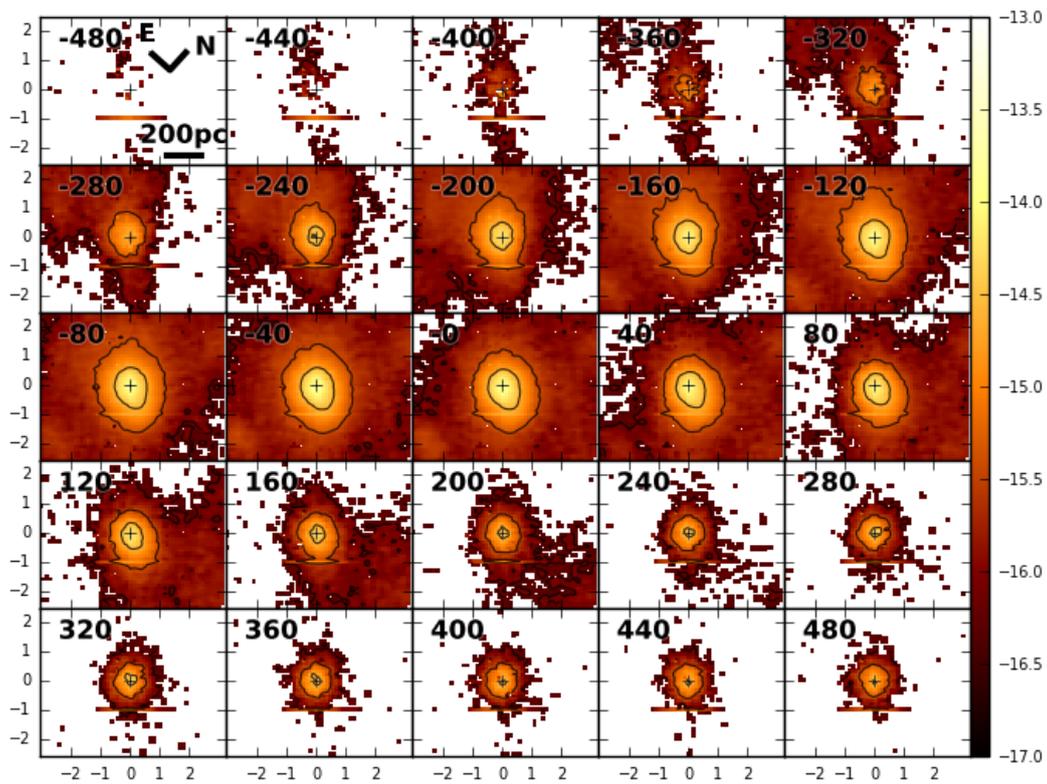


Figura 4.12: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC4593. Esses *channel maps* mostram, na região central, uma estrutura com geometria esférica similar a que aparece em [O III] (figura 4.11). Entretanto, não é observada a estrutura em *blueshift* mas sim em *redshift*. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

4.7 NGC3786

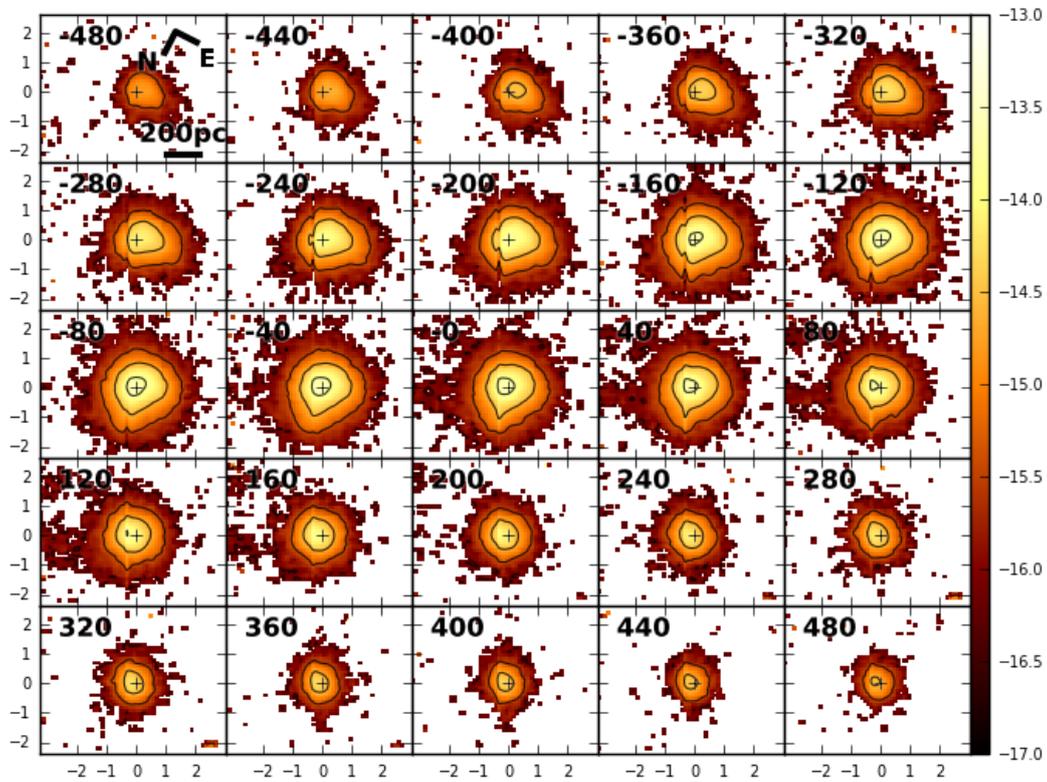


Figura 4.13: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC3786. Esses *channel maps* mostram uma estrutura com geometria esférica na região central. Além disso, é observada uma distorção dessa estrutura na direção norte em baixas velocidades. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

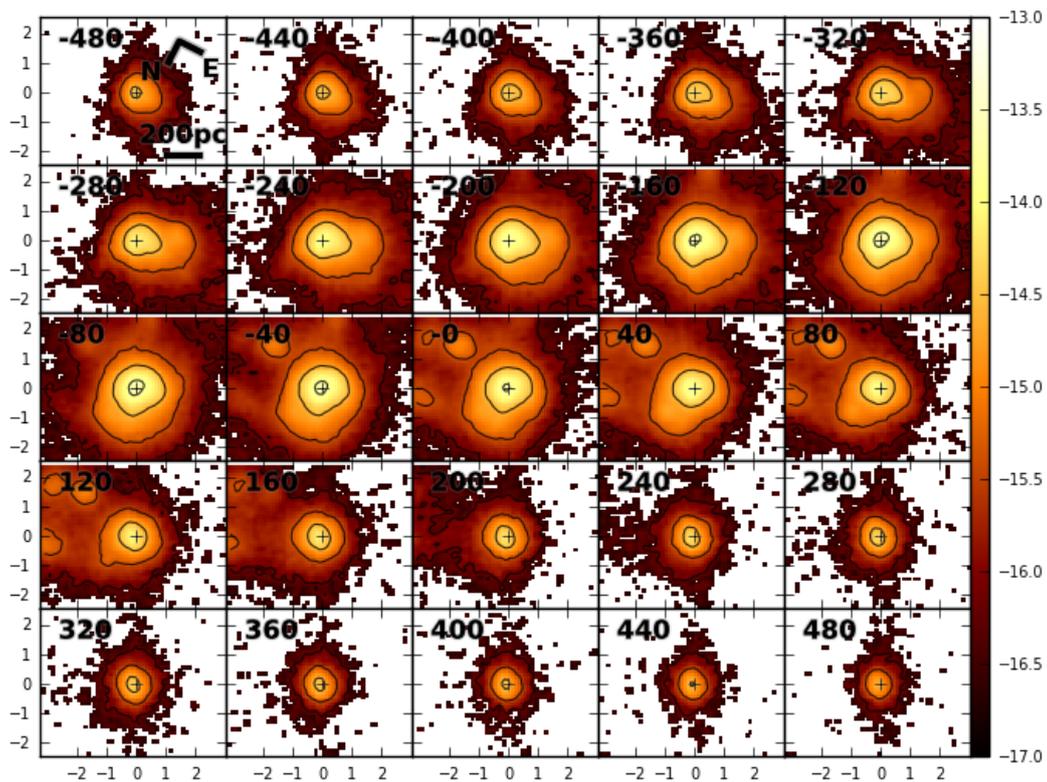


Figura 4.14: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC3786. Esses *channel maps* mostram uma estrutura com geometria esférica na região central como nos *channel maps* do [O III] (figura 4.13). No entanto, a estrutura observada é mais espalhada do que no [O III]. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

4.8 NGC3516

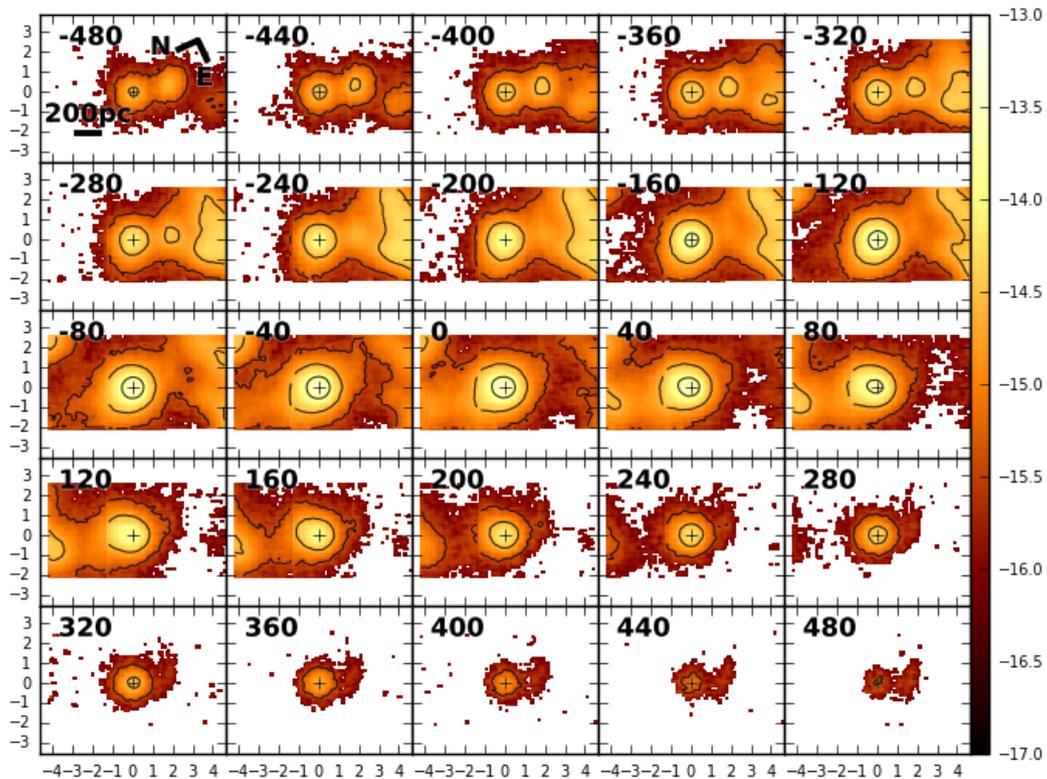


Figura 4.15: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] para a galáxia NGC3516. Esses *channel maps* mostram uma estrutura bicônica com *blueshifts* mais ao sul e *redshifts* mais ao norte. As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

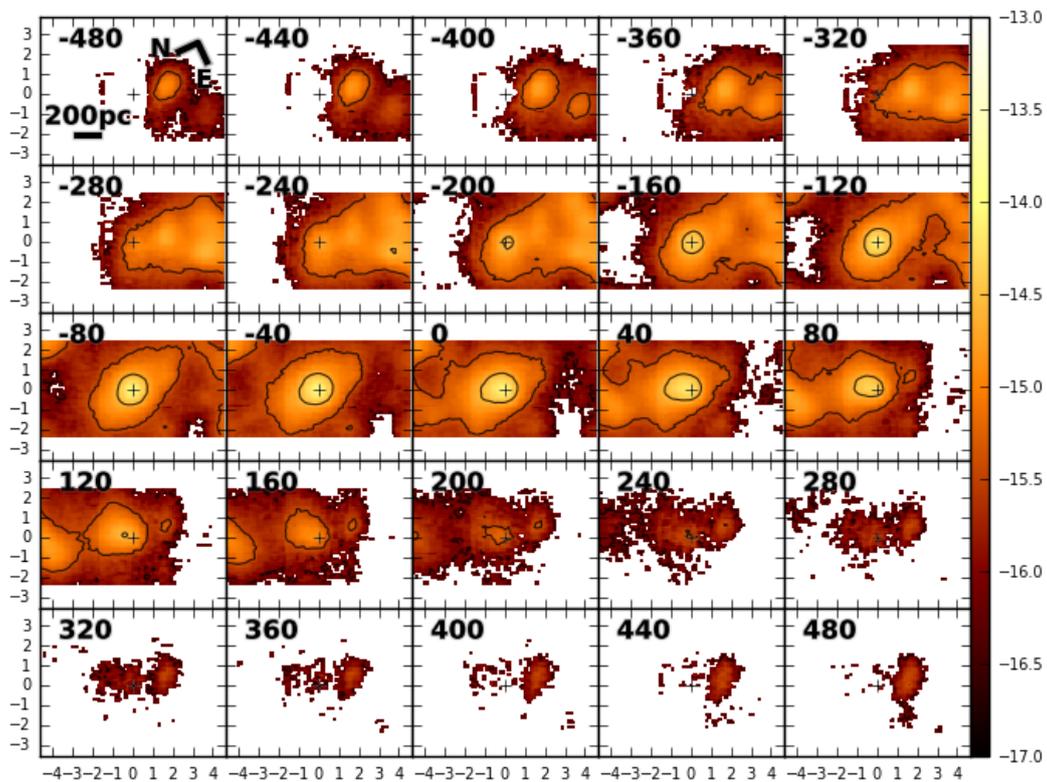


Figura 4.16: *Channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] para a galáxia NGC3516. Esses *channel maps* mostram uma estrutura bicônica com *blueshifts* mais ao sul e *redshifts* mais ao norte como é visto nos *channel maps* do [O III] (figura 4.15). As velocidades no topo dos painéis estão em unidades de km/s e as unidades de fluxo são $\log(F)$ com F em unidades de $\text{erg/s/cm}^2/\text{spaxel}$. A cruz marca o pico do contínuo e os níveis dos contornos utilizados foram [-17.0, -16.2, -15.4, -14.6, -13.8, -13.0]

4.9 MASSAS, TAXA DE EJEÇÃO DE MASSA E POTÊNCIA CINÉTICA

Utilizando o método descrito no capítulo 3 foi calculada a massa total de gás, a massa de gás em *outflow*, o raio do *outflow*, o tempo dinâmico, a taxa de massa e a potência cinética. Essas quantidades físicas encontram-se na tabela 4.1

Tabela 4.1: Valores estimados para a massa total de gás, a massa de gás em *outflow*, o raio do *outflow*, o tempo dinâmico, a taxa de ejeção de massa e a potência cinética, bem como as luminosidades bolométricas calculadas a partir de Raios X retiradas do NED.

Galáxia	$M_{tot}(M_{\odot})$	$M_{out}(M_{\odot})$	r(pc)	t(anos)	$\dot{M}(M_{\odot}/\text{ano})$	P(erg/s)	$L_{Bol_{Rx}}$ (erg/s)
NGC5728	4.83e9	2.32e9	546.0	1.58e8	14.68	5.35e39	8.02e42[9]
NGC5899	4.80e9	1.95e9	178.0	5.11e7	38.16	1.28e40	2.46e42[9]
NGC4180	7.64e6	2.11e6	93.8	2.70e8	0.0078	2.84e36	3.53e42[10]
NGC6814	9.63e6	1.23e6	111.0	3.20e7	0.0384	1.40e37	1.14e42[9]
NGC3227	1.79e9	8.79e8	180.0	5.17e7	17.0	6.18e39	4.26e42[11]
NGC4593	4.90e9	1.31e9	172.0	4.95e7	26.46	9.59e39	1.08e43[9]
NGC3786	6.64e9	2.55e9	265.5	7.64e8	3.34	1.21e39	4.90e42[9]
NGC3516	6.67e7	2.71e7	736.0	2.12e8	0.1278	4.65e31	3.14e43[9]

Capítulo 5

Discussão

5.1 NGC5728

Analisando a figura 4.1 notamos a presença de uma estrutura bicônica com *blueshifts* mais para o oeste e *redshifts* mais para leste. A presença dessa estrutura em altas velocidades nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] é um indício de que isso seja um *outflow* bicônico. Analisando a figura 4.2 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] são muito similares aos do [O III], de forma que, nesse caso, o gás de baixa ionização também parece estar mapeando o *feedback*.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $2.39e9M_{\odot}$, sendo que esta representa 49.5% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (637pc x 910pc). A razão $P/L_{Bol_{Rx}}$ é 0.00067, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.2 NGC5899

Analisando a figura 4.3 notamos a presença de uma estrutura esférica em todo o intervalo de velocidades, tanto em *blueshifts* quanto em *redshifts*. A presença dessa estrutura em altas velocidades nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] é um indício de que isso seja um *outflow* que pode estar orientado de maneira que observamos ele de frente. Analisando a figura 4.4 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] são muito similares aos do [O III], de forma que, nesse caso, o gás de baixa ionização também parece estar mapeando o *feedback*.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $1.95e9M_{\odot}$, sendo que esta representa 40.6% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (623pc x 890pc). A razão $P/L_{Bol_{Rx}}$ é 0.0052, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.3 NGC4180

Analisando a figura 4.5 notamos a presença de uma pequena estrutura aproximadamente esférica, no entanto, esta só é visível em baixas velocidades (até velocidades da ordem 280km/s). A ausência de estruturas em velocidades mais altas nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] é um indício de que essa galáxia não possui *outflow*, ou este é muito fraco. Analisando a figura 4.6 que os *channel maps* ao longo da linha do [N II] possuem uma estrutura mais distribuída, principalmente para velocidades mais baixas do que ~ 200 km/s. Essa estrutura se estende na direção noroeste nas velocidades mais baixas em *blueshift*. Conforme a velocidade diminui essa extensão vai para o lado oposto, de forma que em baixas velocidades em *redshift* ela encontra-se na direção sudoeste. Isso sugere que temos gás em rotação no plano da galáxia. Além disso, essa estrutura que aparece nos *channel maps* ao longo do [N II], é observada indo até altas velocidades em *blueshift*.

Para caracterizar essa estrutura como sendo um *outflow* ela também deveria aparecer nos *channel maps* de alta excitação, o que não é o caso, logo sabemos que não é um *outflow*. Observando o espectro dessa galáxias (figura 2.7) percebemos que a linha de emissão do [N II] possui uma asa azul. Comparando com linhas semelhantes, como o [S II] e o [O I], notamos que essas também possuem uma asa azul, logo isso não é uma falha na subtração da linha larga dessa galáxia. No entanto, como o [O III] é muito fraco essa asa azul não aparece nos *channel maps* ao longo do [O III].

A massa em *outflow* dessa galáxia é $2.11e6M_{\odot}$, sendo que esta representa 27.6% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (469pc x 670pc). A razão $P/L_{Bol\ Rx}$ é $8.04e-7$, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.4 NGC6814

Analisando a figura 4.7 notamos a presença de uma estrutura esférica que se estende até altas velocidades em *blueshift*, mas somente até velocidades da ordem de 320km/s em *redshift*. Também é possível perceber que em *blueshift* essa estrutura encontra-se deslocada do centro na direção sul, enquanto que em *redshift* ela encontra-se levemente deslocada na direção norte. Observando a figura 4.8 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] são muito similares aos do [O III], exceto que as estruturas presentes em *blueshift* em altas velocidades no [O III] são maiores do que as observadas em [N II].

Como o gás de alta excitação deve mapear o *feedback*, a presença dessas estruturas em alta velocidade nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] devem ser *outflows*. Como a estrutura aparece deslocada do centro e só está em altas velocidades em *blueshift* o que devemos ter é um *outflow* bicônico no qual um dos cones encontra-se obscurecido por poeira.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $1.23e6M_{\odot}$, sendo que esta representa 12.8% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (388.5pc x 555pc). A razão $P/L_{Bol_{Rx}}$ é $1.23e-5$, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.5 NGC3227

Analisando a figura 4.9 notamos a presença de uma estrutura parcialmente esférica em todo intervalo de velocidades, sendo que essa contém uma componente alongada na direção sul. Também é possível perceber que em *blueshift* essa estrutura encontra-se levemente deslocada ao sul, enquanto que em *redshift* ela encontra-se deslocada na direção norte. Observando a figura 4.10 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] são muito similares aos do [O III], exceto que em baixas velocidades (-80km/s - 80km/s) a estrutura é mais distribuída ao longo de todo campo observado.

Como o gás de alta excitação deve mapear o *feedback*, a presença dessas estruturas em altas velocidades nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] devem ser *outflows*. A estrutura estar deslocada em direções opostas em *blueshift* e em *redshift* e ser mais alongada em uma direção indica que devemos ter um *outflow* bicônico, no qual um dos lados encontra-se obscurecido por poeira ou um dos lados possui uma densidade variável, fazendo com que esse fique mais estendido. Devido a semelhança entre os *channel maps* do [O III] e do [N II] parece que, em altas velocidade, o gás de baixa ionização está mapeando o *outflow*, enquanto que, em baixas velocidades, ele deve estar mapeando o gás presente em rotação no plano da galáxia.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $8.79e8M_{\odot}$, sendo que esta representa 49.1% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (252pc x 360pc). A razão $P/L_{Bol Rx}$ é 0.0015, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.6 NGC4593

Analisando a figura 4.11 notamos a presença de uma estrutura esférica que se estende até altas velocidades em *blueshift*, mas somente até velocidades da ordem de 280km/s em *redshift*. Observando a figura 4.12 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] também possuem uma estrutura esférica, no entanto essa é mais distribuída ao longo de todo campo observado. Além disso, a estrutura que aparecia apenas em *blueshift* no [O III] não é visível no [N II], porém notamos a presença de uma estrutura em altas velocidades em *redshift* em [N II] que não está presente no [O III].

Analisando o espectro dessa galáxia (figura 2.13) percebemos que a linha de emissão do [N II] possui uma asa vermelha, entretanto, se compararmos com linhas semelhantes, como o [S II] e o [O I], não vemos uma asa vermelha nessas linhas. Sabemos que a linha larga nessa galáxia é muito assimétrica (foram ajustadas 4 gaussianas) fazendo com que a sua subtração não fosse perfeita, sobrando assim, uma asa vermelha no [N II].

Além disso, a linha de emissão do [O III] possui contaminação pela linha larga do He I e pelos multipletos do Fe II. Dessa forma, a estrutura que se estende até altas velocidades em *blueshift* nos *channel maps* do [O III] deve ser um *outflow*, no entanto este deve ser menos intenso do que parece, uma vez que temos a contribuição da linha larga do He I ($\lambda 5015\text{\AA}$) e dos multipletos do Fe II [14]. A estrutura mais distribuída observada em [N II] se estende na direção leste em *blueshifts* e na direção oeste em *redshift*, o que sugere movimento de rotação no plano da galáxia.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $1.31e9M_{\odot}$, sendo que esta representa 26.7% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (602pc x 860pc). A razão $P/L_{Bol_{Rx}}$ é 0.00089, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.7 NGC3786

Analisando a figura 4.13 notamos a presença de uma estrutura esférica em todo intervalo de velocidades, tanto em *blueshift* quanto em *redshift*. Também é possível perceber que em *blueshift* essa estrutura encontra-se deslocada do centro na direção leste, enquanto que em *redshift* ela encontra-se levemente na direção oeste. Observando a figura 4.14 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] também possuem uma estrutura mais distribuída ao longo do campo, principalmente para as velocidades mais baixas do que $\sim 200\text{km/s}$. Essa estrutura mostra *blueshifts* mais para o leste e *redshifts* mais para oeste, que podem ser atribuídos a gás em rotação no plano da galáxia. Como os *channel maps* em [N II] são muito similares aos do [O III], podemos dizer que nesse caso o gás de baixa ionização, em altas velocidades, também parece estar mapeando o *feedback*. A presença dessa estrutura em altas velocidades nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] são um indício de que isso seja um *outflow* bicônico no qual um dos cones encontra-se obscurecido por poeira.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $2.55e9M_{\odot}$, sendo que esta representa 38.4% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (619.5pc x 885pc). A razão $P/L_{Bol_{Rx}}$ é 0.00025, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.8 NGC3516

Analisando a figura 4.15 notamos a presença de uma estrutura bicônica com *blueshifts* mais para o sul e *redshifts* mais para o norte. A presença dessa estrutura nos *channel maps* ao longo da linha de emissão do [O III] é um indício de que isso seja um *outflow* bicônico. Observando a figura 4.16 percebemos que os *channel maps* ao longo da linha de emissão do [N II] são muito similares aos do [O III], apresentando uma estrutura bicônica muito parecida em altas velocidades. Dessa forma, podemos dizer que, nessa galáxia, o gás de baixa ionização também parece estar mapeando o *feedback*. Assim, podemos verificar a presença de um *outflow* bicônico nessa galáxia.

A massa em *outflow* dessa galáxia é $2.71e7M_{\odot}$, sendo que esta representa 40.6% da massa total de gás da galáxia dentro do campo observado (920pc x 1.288pc). A razão $P/L_{Bol_{Rx}}$ é $1.48e-12$, sendo esse inferior a 0.5%, de forma que podemos afirmar que esse *outflow* não terá um impacto relevante na evolução da galáxia hospedeira[13].

5.9 DISCUSSÃO GERAL

A dimensão típica coberta pelas observações varia de 252pc x 360pc até 920pc x 1288pc. Dentro dessas regiões, três galáxias da amostra têm uma massa total de gás da ordem de $10^7 M_{\odot}$, enquanto que as outras cinco têm massas maiores do que $10^9 M_{\odot}$. A massa em *outflow* varia de 12.8% a 49.5% da massa total de gás dentro da região observada. Os raios da região em *outflow* variam de 90pc a 800pc. As taxas de *outflow* variam de valores muito baixos, com $0.0078 M_{\odot}/\text{ano}$ (caso da NGC4180), até valores de $38.16 M_{\odot}/\text{ano}$ (caso da NGC5899). A potência em termos da $L_{Bol\ Rx}$ é bem pequena variando de $8.04e-5\%$ a 0.5% . Essa potência cinética é mais baixa do que $0.5\% L_{Bol\ Rx}$ [13] em sete das galáxias analisadas, de forma que somente em uma das galáxias mais luminosas o *feedback* é forte o suficiente para influenciar sua evolução. Os valores encontrados para as massas em *outflow* estão de acordo com trabalhos anteriores, nos casos da NGC3516, NGC4180 e NGC6814 e são maiores nos casos de NGC3227, NGC3786, NGC4593, NGC5728, NGC5899 [15], [16], [17] e [18]. Estes encontraram taxas de ejeção de massa da ordem de $\sim 3.5 M_{\odot}/\text{ano}$ e potência cinética da ordem de $\sim 10^{40} \text{ergs}^{-1}$, de forma que nossos valores encontram-se de acordo com trabalhos anteriores do grupo.

5.10 RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS FÍSICOS

A partir das quantidades físicas estimadas, que encontram-se na tabela 4.1, foram plotados gráficos relacionando esses parâmetros com a luminosidade bolométrica calculada a partir de raios X, que foi obtida no NED.

Analisando as figuras 5.1, 5.2 e 5.3 percebemos que as quantidades físicas variam muito na nossa amostra, dificultando assim a evidência de alguma relação entre os parâmetros. No entanto, quando plotamos a razão entre a massa em *outflow* e a massa total de gás dentro do campo observado em função de $L_{Bol\ Rx}$ percebemos que conforme a luminosidade cresce, a razão M_{out}/M_{tot} também cresce, evidenciando que quanto maior a taxa de acreção, maior a energia emitida e mais poderoso é o *outflow*.

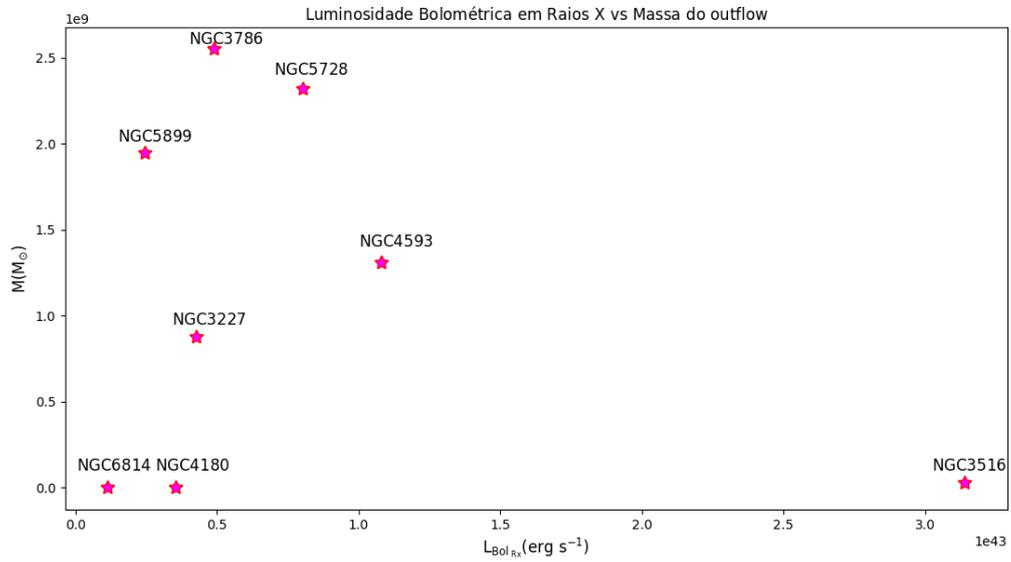


Figura 5.1: Massa do *outflow* em função da luminosidade bolométrica do AGN calculada a partir de raios X.

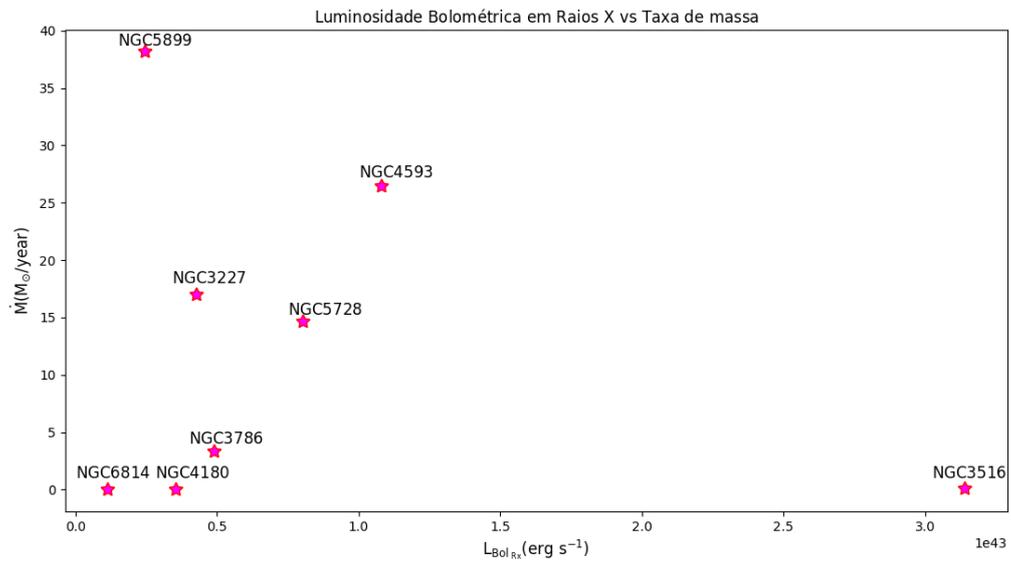


Figura 5.2: Taxa de ejeção de massa em função da luminosidade bolométrica do AGN calculada a partir de raios X.

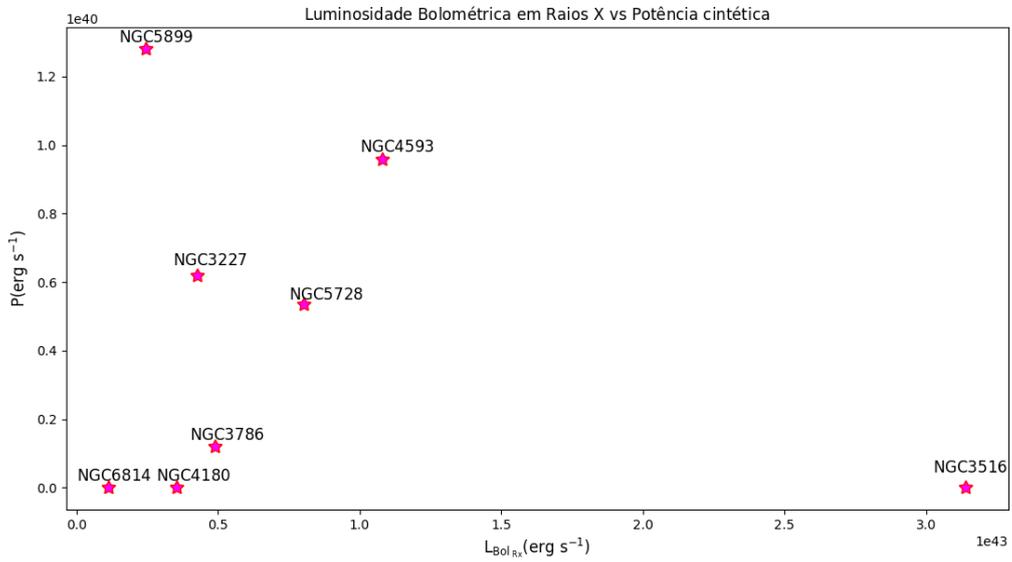


Figura 5.3: Potência cinética em função da luminosidade bolométrica do AGN calculada a partir de raios X.

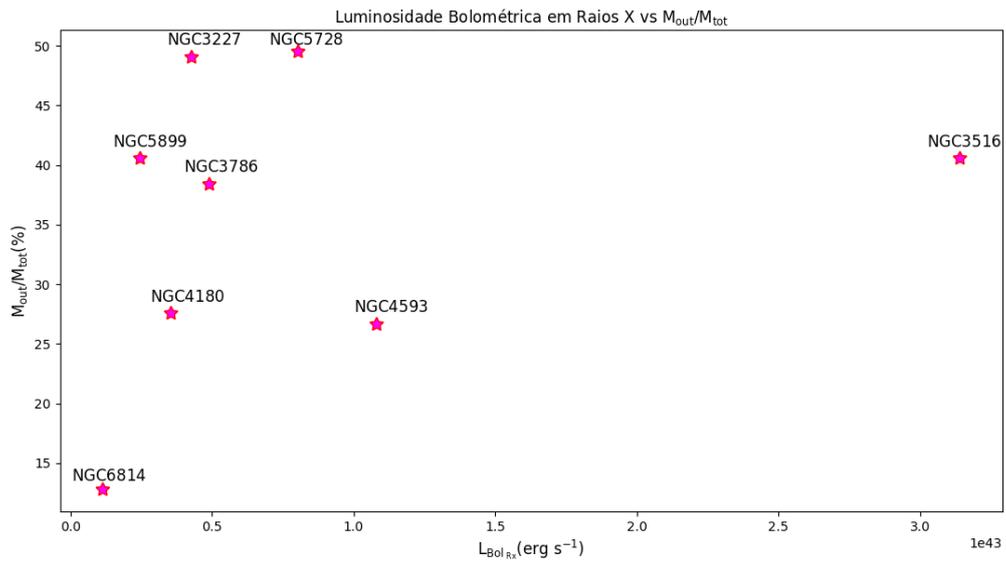


Figura 5.4: Razão entre a massa do *outflow* e a massa total de gás em função da luminosidade bolométrica do AGN calculada a partir de raios X.

Capítulo 6

Conclusão

O objetivo da realização deste trabalho foi comparar a cinemática do gás de alta e baixa excitação na região interior ao 1kpc central de oito galáxias ativas do universo local ($z < 0.01$). Analisando as galáxias da amostra, foram encontrados dois comportamentos: em 4 galáxias da amostra tanto o gás de alta e quanto o de baixa ionização parecem estar mapeando o *feedback* (NGC5728, NGC5899, NGC6814 e NGC3516), enquanto que, nas outras 4 galáxias, o gás de alta ionização parece estar mapeando o *feedback* enquanto que o gás de baixa ionização parece estar mapeando o gás em rotação no plano do disco da galáxia.

Outra finalidade era analisar e quantificar o impacto do *feedback* na galáxia hospedeira. Dentro das regiões observadas, três galáxias possuem uma massa em *outflow* de no máximo $10^7 M_{\odot}$ enquanto que as outras cinco possuem massas da ordem de $10^9 M_{\odot}$. Essas massas em *outflow* representam entre 12.8% e 49.5% da massa total de gás interior a região observada. As taxas de massa variam entre $0.0078 M_{\odot}/\text{ano}$ (NGC4180) e $38.16 M_{\odot}/\text{ano}$ (NGC5899). As massas em *outflow* são da ordem das massas encontradas em trabalhos anteriores para as galáxias NGC3516, NGC4180, NGC6814, sendo bem maiores nos casos de NGC3227, NGC3786, NGC4593, NGC5728 e NGC5899. As taxas de ejeção massa são da ordem de valores encontrados em trabalhos anteriores [15], [16], [17] e [18].

Luminosidades maiores implicam em uma maior taxa de acreção pelo buraco negro, resultando assim, em uma maior quantidade de energia emitida. Dessa forma, há mais energia no disco de acreção para empurrar o gás, bem como maior quantidade de gás acelerada. Este gás ejetado do disco de acreção é que empurra o gás do entorno do núcleo da galáxia, e é este que observamos e que produz o *feedback*. A partir da energia cinética é possível quantificar o impacto do *outflow*. Se a razão $P/L_{Bol\ Rx}$ for inferior a 0.5% [13] então, em termos energéticos, o *outflow* não terá um grande impacto na galáxia hospedeira. As razões $P/L_{Bol\ Rx}$ calculadas são bem pequenas variando de $8.04e5\%$ e 0.5%. Essa potência

cinética é menor do que $0.5\%L_{Bol\ Rx}$ em sete das galáxias analisadas, de forma que somente em uma das galáxias mais luminosas o *feedback* é forte o suficiente para influenciar sua evolução.

Referências Bibliográficas

- [1] I. Strateva, Ž. Ivezić, G. R. Knapp, V. K. Narayanan, M. A. Strauss, J. E. Gunn, R. H. Lupton, D. Schlegel, N. A. Bahcall, J. Brinkmann, R. J. Brunner, T. Budavári, I. Csabai, F. J. Castander, M. Doi, M. Fukugita, Z. Győry, M. Hamabe, G. Hennessy, T. Ichikawa, P. Z. Kunszt, D. Q. Lamb, T. A. McKay, S. Okamura, J. Racusin, M. Sekiguchi, D. P. Schneider, K. Shimasaku, and D. York. Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data. , 122:1861–1874, October 2001.
- [2] K. Schawinski. The Galazy Zoo. In *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, volume 228 of *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, page 115.01, June 2016.
- [3] H. Mo, F. C. van den Bosch, and S. White. *Galaxy Formation and Evolution*. May 2010.
- [4] A. Borch, K. Meisenheimer, E. F. Bell, H.-W. Rix, C. Wolf, S. Dye, M. Kleinheinrich, Z. Kovacs, and L. Wisotzki. The stellar masses of 25 000 galaxies at $0.2 \leq z \leq 1.0$ estimated by the COMBO-17 survey., 453 : 869 – –881, July 2006.
- [5] Y.-j. Peng, S. J. Lilly, K. Kovač, M. Bolzonella, L. Pozzetti, A. Renzini, G. Zamorani, O. Ilbert, C. Knobel, A. Iovino, C. Maier, O. Cucciati, L. Tasca, C. M. Carollo, J. Silverman, P. Kampczyk, L. de Ravel, D. Sanders, N. Scoville, T. Contini, V. Mainieri, M. Scodeggio, J.-P. Kneib, O. Le Fèvre, S. Bardelli, A. Bongiorno, K. Caputi, G. Coppia, S. de la Torre, P. Franzetti, B. Garilli, F. Lamareille, J.-F. Le Borgne, V. Le Brun, M. Mignoli, E. Perez Montero, R. Pello, E. Ricciardelli, M. Tanaka, L. Tresse, D. Vergani, N. Welikala, E. Zucca, P. Oesch, U. Abbas, L. Barnes, R. Bordoloi, D. Bottini, A. Cappi, P. Cassata, A. Cimatti, M. Fumana, G. Hasinger, A. Koekemoer, A. Leauthaud, D. Maccagni, C. Marinoni, H. McCracken, P. Memeo, B. Meneux, P. Nair, C. Porciani, V. Presotto, and R. Scaramella. Mass and Environment as Drivers of Galaxy Evolution in SDSS and zCOSMOS and the Origin of the Schechter Function. , 721:193–221, September 2010.
- [6] L. Ferrarese and H. Ford. Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei: Past, Present and Future Research. , 116:523–624, February 2005.

- [7] A. Schnorr-Müller, T. Storchi-Bergmann, N. M. Nagar, and F. Ferrari. Gas inflows towards the nucleus of the active galaxy NGC 7213. , 438:3322–3331, March 2014.
- [8] R. Bacon, G. Adam, A. Baranne, G. Courtes, D. Dubet, J. P. Dubois, E. Emsellem, P. Ferruit, Y. Georgelin, G. Monnet, E. Pecontal, A. Rousset, and F. Say. 3D spectrography at high spatial resolution. I. Concept and realization of the integral field spectrograph TIGER. , 113:347, October 1995.
- [9] G. Cusumano, V. La Parola, A. Segreto, C. Ferrigno, A. Maselli, B. Sbarufatti, P. Romano, G. Chincarini, P. Giommi, N. Masetti, A. Moretti, P. Parisi, and G. Tagliaferri. The Palermo Swift-BAT hard X-ray catalogue. III. Results after 54 months of sky survey. , 524:A64, December 2010.
- [10] V. Beckmann, S. Soldi, C. Ricci, J. Alfonso-Garzón, T. J.-L. Courvoisier, A. Domingo, N. Gehrels, P. Lubiński, J. M. Mas-Hesse, and A. A. Zdziarski. The second INTEGRAL AGN catalogue. , 505:417–439, October 2009.
- [11] Y. Fukazawa, K. Hiragi, M. Mizuno, S. Nishino, K. Hayashi, T. Yamasaki, H. Shirai, H. Takahashi, and M. Ohno. Fe-K Line Probing of Material Around the Active Galactic Nucleus Central Engine with Suzaku. , 727:19, January 2011.
- [12] <https://github.com/danielrd6/ifscube/>.
- [13] K. Zubovas. *Accretion and Feedback Processes in Supermassive Black Holes*. PhD thesis, University of Leicester (United Kingdom, 2012).
- [14] A. Schnorr-Müller, R. I. Davies, K. T. Korista, L. Burtscher, D. Rosario, T. Storchi-Bergmann, A. Contursi, R. Genzel, J. Graciá-Carpio, E. K. S. Hicks, A. Janssen, M. Koss, M.-Y. Lin, D. Lutz, W. Maciejewski, F. Müller-Sánchez, G. Orban de Xivry, R. Riffel, R. A. Riffel, M. Schartmann, A. Sternberg, E. Sturm, L. Tacconi, S. Veilleux, and O. A. Ulrich. Constraints on the broad-line region properties and extinction in local Seyferts. , 462:3570–3590, November 2016.
- [15] R. A. Riffel, T. Storchi-Bergmann, and C. Winge. Feeding versus feedback in AGNs from near-infrared IFU observations: the case of Mrk 79. , 430:2249–2261, April 2013.
- [16] T. Storchi-Bergmann, P. J. McGregor, R. A. Riffel, R. Simões Lopes, T. Beck, and M. Dopita. Feeding versus feedback in NGC4151 probed with Gemini NIFS - I. Excitation. , 394:1148–1166, April 2009.

Referências Bibliográficas

- [17] T. Storchi-Bergmann, R. D. S. Lopes, P. J. McGregor, R. A. Riffel, T. Beck, and P. Martini. Feeding versus feedback in NGC4151 probed with Gemini NIFS - II. Kinematics. , 402:819–835, February 2010.
- [18] F. K. B. Barbosa, T. Storchi-Bergmann, P. McGregor, T. B. Vale, and A. Rogemar Riffel. Modelling the [Fe II] $\lambda 1.644 \mu\text{m}$ outflow and comparison with H₂ and H⁺ kinematics in the inner 200 pc of NGC 1068. , 445:2353–2370, December 2014.