

Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Matemática, Estatística e Física
Programa de Pós-Graduação em Física

Lara Maria Gatto

**Estudo Espectroscópico no Óptico da
Galáxia Megamasers de OH
IRAS11506-3851: Excitação, Cinemática e
Dinâmica do Gás**

Rio Grande

2020

Lara Maria Gatto

**Estudo Espectroscópico no Óptico da
Galáxia Megamasers de OH
IRAS11506-3851: Excitação, Cinemática e
Dinâmica do Gás**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Rio Grande como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Física.

Área de Concentração: Astronomia extragaláctica
Orientador(a): Dra. Dinalva A. Sales

Rio Grande

2020

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço meus pais por todo o apoio e incentivo que deram a mim nesta fase da minha vida.

Não posso deixar de agradecer a minha orientadora, Professora Doutora Dinalva Aires de Sales, por toda a paciência e empenho que sempre me orientou neste trabalho de mestrado. Agradeço também por ser um grande exemplo de uma mulher que faz pesquisa, ensino e extensão, e por me guiar neste caminho. Obrigada por exercer seu papel de orientadora com punhos firmes.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas do Mestrado em Física, especialmente a Brenda Matoso, Daniele Mesquita, John Welvins, Jeferson Taneo e Walas da Silva, cujo apoio e amizade estiveram presentes em todos os momentos sendo eles alegres ou não. E ao Bruno por me incentivar a terminar a dissertação.

Aos Docentes do programa pelas aulas ministradas por eles.

Aos funcionários da universidade, principalmente aos secretários, e as mulheres da limpeza que são sempre simpáticas.

A Universidade Federal do Rio Grande e ao Instituto de Matemática, Estatística e Física pela oportunidade de concluir o Mestrado em física, e pelo espaço cedido.

A Capes pela bolsa concedida.

“Transmita o que aprendeu. Força, mestria. Mas fraqueza, insensatez, fracasso também.

Sim, fracasso acima de tudo. O maior professor, o fracasso é.”

Mestre Yoda - personagem de Star Wars

Resumo

A emissão do megamaser de OH (OHM) é uma característica importante das galáxias [ultra] luminosas no infravermelho ([U]LIRGs) até agora não muito explorada. A presença dessa emissão pode ser um claro sinal não apenas de atividade nuclear térmica em uma galáxia, mas também da existência de um disco de gás circum-nuclear, similar ao toro hipotetizado pelo modelo unificado de galáxias ativas (AGN). As galáxias que emitem OHM parecem estar em um estágio crítico da evolução das [U]LIRGs, onde este disco de gás circum-nuclear foi formado recentemente. Este disco pode ser a fonte de alimentação de um AGN e as OHMGs podem ser traçadoras da fase final de evolução que sinaliza o momento imediatamente antes do surgimento do AGN. Entretanto, existe um debate na literatura sobre qual é o tipo de energia dominante desses objetos, energia térmica ou não. Assim, neste trabalho realizamos um estudo sobre a galáxia megamaser de OH (OHMG) IRAS11506-3851 utilizando dados espectroscópicos no óptico obtidos com o GMOS/GEMINI e também, imagens da banda i (F814W) obtidas pelo telescópio espacial Hubble. De acordo com o estudo do diagrama de diagnóstico BPT concluímos que a IRAS 11506-3851 possui em seu centro uma região composta entre formação e estelar e um AGN, e nas regiões externas somente formação estelar. Por outro lado, estudos do diagrama WHAN indicam que na região central temos um AGN e nas regiões externas temos uma transição entre AGN e formação estelar. Além do mais, neste trabalho estudamos a cinemática e dinâmica da IRAS 11506-3851 onde concluímos que há outflow de matéria na região central da galáxia (~ -0.46 Kpc leste). Também foi possível derivar a massa dinâmica da OHMG IRAS11506-3851 através da modelagem da curva de rotação realizada através do software GalRoTPy e encontramos os valores a matéria luminosa e escura que são $2,14 \times 10^{10} M_{\odot}$ e $3,1 \times 10^{10} M_{\odot}$ respectivamente, sendo um total de $M_{total} = 1,2 \times 10^{11} M_{\odot}$.

Abstract

The emission of the OH megamaser (OHM) is an important feature of the [ultra] luminous infrared galaxies ([U]LIRGS) not much explored. The presence of this emission may be a clear sign not only of thermal nuclear activity in a galaxy, but also the existence of a circum-nuclear gas disk, similar to the torus hypothesized by the unified model of active galaxies nuclei (AGN). OHM-emitting galaxies appear to be at a critical stage in the evolution of [U] LIRGs, where this disk of circum-nuclear gas was formed recently. This disk can be the power supply for an AGN and OHMGs can trace the final phase of evolution that signals the moment immediately before the appearance of AGN. However, there is a debate in the literature about what type of energy dominates these objects, thermal energy or not. Thus, in this work we conducted a study on the megamaser galaxy of OH (OHMG) IRAS11506-3851 using spectroscopic optical data obtained with GMOS/GEMINI and also images of the i band (F814W) obtained by the Hubble space telescope. According to the study of the BPT diagnostic diagram, we concluded that IRAS 11506-3851 has at its center a region composed of formation and star and an AGN, and in the external regions only star formation. On the other hand, studying the WHAN diagram we conclude that in the central region we have an AGN and in the external regions we have a transition between AGN and star formation, since the points are in the area of division between AGN and star formation in the diagram. Furthermore, in this work we study the kinematics and dynamics of IRAS 11506-3851 where we conclude that there is an outflow of matter in the central region of the galaxy (sin -0.46 Kpc east). It was also possible to derive the dynamic mass of the OHMG IRAS11506-3851 by modeling the rotation curve performed using the GalRoTPy software and we found the values for light and dark matter which are $2,14 \times 10^{10} M_{\odot}$ and $3,1 \times 10^{10} M_{\odot}$ respectively, with a total of $M_{total} = 1,2 \times 10^{11} M_{\odot}$.

Lista de Figuras

1.1	Distribuição de [U	18
1.2	Diagrama ilustrando a cenário de evolução de [U	19
1.3	Diagrama da Luminosidade no infravermelho versus a razão das luminosidades das linhas de HCN e CO de galáxias que possuem propriedades de OH e que também foram detectado linhas de HCN.	21
1.4	Imagens reproduzidas a partir de P01 mostrando observações da emissão do maser de OH e contínuo em EVN+MERLIN Resolução	22
1.5	Modelo da emissão maser na galáxia IIZw35.	23
1.6	Espectros no ópticos típicos de galáxias NGC 1358 (AGNs), NGC 1052 (LINER) e NGC 7714 (Starburst).	24
1.7	SEDs de galáxia normal, galáxia ativa radio-loud e radio-quiet.	26
1.8	Exemplos de espectros no óptico de galáxias Seyferts.	27
1.9	Imagem ilustrando o modelo unificado de AGNs.	29
1.10	Diagnósticos de razões de linhas de emissão onde podemos distinguir galáxias Starburst (regiões HII), liners, objetos de transição e Seyferts.	30
1.11	Diagrama BPT de linhas de emissão para distinguir AGNs de regiões HII .	30
1.12	Diagrama WHAN, usado para distinguir AGNs de regiões HII	31
2.1	Imagem na banda i da OHMG IRAS11506-3851 obtida pelo HST.	34
2.2	Imagem na banda i da OHMG IRAS11506-3851 obtida pelo HST aplicando um zoom no centro da galáxia.	35
2.3	Imagens do Telescópio Gemini	35
2.4	Imagem na banda i da IRAS11506-3851 mostrando as três posições das fendas observadas com GMOS.	37

2.5	Espectro do "hot spots" 1 da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através do PA 261°	39
2.6	Espectro do "hot spots" 1 da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através do PA 261°	40
2.7	Espectro central da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através da fenda ao próxima ao eixo maior (PA 158°).	40
2.8	Espectro central da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através da fenda ao próxima ao eixo menor (PA 239°).	41
3.1	Diagrama de diagnóstico WHAN do centro da galáxia IRAS 11506-3851. .	44
3.2	Diagrama de diagnóstico BPT do centro da galáxia IRAS 11506-3851. . . .	45
3.3	Imagem na banda i da IRAS11506-3851. A posição da fenda próxima ao eixo maior é mostrada, assim como as extrações espectrais.	46
3.4	Diagrama de diagnóstico WHAN ao longo da galáxia IRAS 11506-3851. No gráfico o ponto verde representa a região central, os triângulos azuis correspondem os espectros extraídos na direção NW e os vermelhos na direção SE. As regiões estão identificadas e delimitadas na gráfico.	46
3.5	Diagrama de diagnóstico BPT ao longo da galáxia IRAS 11506-3851. . . .	47
4.1	Espectros com comprimento de onda não corrigidos da fenda posicionada próxima ao eixo maior da galáxia na região das linhas de emissão de H_{α} . .	50
4.2	Configuração usada para derivar a curva de rotação de observações.	51
4.3	Curva de rotação obtida ao longo do eixo que contém os "hot spots" (PA=261°) utilizando a linha de emissão H_{α} da galáxia IRAS 11506-3851.	55
4.4	Representação das aberturas utilizadas para a extração dos espectros e das velocidades radiais ao longo da fenda de PA=261°.	55
4.5	Curva de rotação obtida ao longo da fenda próxima ao eixo maior (PA=158°) utilizando a linha de emissão H_{α} da galáxia IRAS 11506-3851.	59
4.6	Curva de rotação obtida ao longo da fenda próxima ao eixo menor (PA=239°) utilizando a linha de emissão H_{α} da galáxia IRAS 11506-3851.	59
5.1	Ajuste da curva de rotação da fenda próxima ao eixo maior (PA=158°) utilizando 4 componentes.	65

Lista de Tabelas

2.1	Propriedades gerais da IRAS 11506-3851.	33
2.2	Informações sobre dados espectroscópico da IRAS11506-3851.	36
4.1	Propriedade físicas das linhas de emissão de H_α observadas na galáxia IRAS11506-3851.	52
4.2	Velocidade observada e rotacional determinadas através da linha de $H\alpha$ ao longo da fenda dos "hot spot" ($PA=261^\circ$).	56
4.3	Velocidade observada e rotacional determinadas usando a linha de $H\alpha$ através da fenda próxima ao eixo maior da galáxia ($PA=158^\circ$).	56
4.4	Velocidade observada e rotacional determinadas usando a linha de $H\alpha$ através da fenda próxima ao eixo menor da galáxia ($PA=239^\circ$).	57
5.1	Propriedades dinâmicas derivada pelo GalRotpy para eixo de 158° , próximo ao eixo maior da IRAS 11506-3851.	63
6.1	Tabela contendo as quantidades de matéria luminosa e escura em cada posição de fenda da IRAS 11506-3851.	68

Sumário

1. Introdução	17
1.1 Galáxias [Ultra] Luminosas no Infravermelho	17
1.2 Galáxias Megamasers	19
1.2.1 Emissão Maser	19
1.2.2 Galáxias Megamasers de OH	20
1.3 Galáxias Starburst	23
1.4 Galáxias com Núcleos Ativos	24
1.4.1 Galáxias LINERs	25
1.4.2 Galáxias Seyfert	26
1.4.3 Modelo Unificado de AGNs	28
1.5 Diagramas de Diagnóstico no Óptico	29
1.6 Objetivos	31
2. Observação e Tratamento dos Dados	33
2.1 Caracterização da OHMG IRAS 11506-3851	33
2.2 Obervação dos Dados	34
2.3 Tratamento dos Dados	37
2.3.1 Espectros ao longo das regiões "hot spots" da IRAS 11506-3851 . . .	39
2.3.2 Espectro da fenda próxima ao eixo maior da galáxia IRAS 11506-3851	39
2.3.3 Espectro da fenda próxima ao eixo menor da galáxia IRAS 11506-3851	41
3. Mecanismo de Excitação da IRAS 11506-3851	43
3.1 Mecanismo de excitação nuclear da IRAS 11506-3851	43
3.2 Mecanismo de excitação ao longo da galáxia IRAS 11506-3851	45

4. <i>Cinemática da OHMG IRAS 11506-3851</i>	49
4.1 Derivação da curva de rotação	49
4.1.1 Incerteza no cálculo da velocidade rotacional	52
4.1.2 Propriedades físicas da linha de emissão de $H\alpha$ da IRAS 11506-3851	52
4.2 Curvas de Rotação da OHMG IRAS 11506-3851	54
4.2.1 Curva de Rotação ao longo dos 'hot spots'	54
4.2.2 Curva de Rotação através da fenda próxima ao eixo maior	56
4.2.3 Curva de Rotação através da fenda próxima ao eixo menor	57
5. <i>Dinâmica da OHMG IRAS 11506-3851</i>	61
5.1 Estrutura do algoritmo GalRotPy	61
5.2 Propriedades dinâmicas da OHMG IRAS 11506-3851	63
6. <i>Conclusões e Perspectivas</i>	67
6.1 Conclusões	67
6.2 Perspectivas	68
<i>Referências</i>	71

Introdução

1.1 Galáxias [Ultra] Luminosas no Infravermelho

Entre os objetos mais luminosos do Universo, estão as galáxias [Ultra] Luminosas no Infravermelho ([U]LIRGs, do inglês, *[Ultra] Luminous Infra-red Galaxies*), que recebem esse nome por apresentarem uma luminosidade no comprimento de onda do infravermelho que ultrapassa $10^{11}L_{\odot}$ e $10^{12}L_{\odot}$ respectivamente. Descobertas com o lançamento do satélite IRAS (Infra-Red Astronomy Sattelite) em janeiro de 1983, esta classe de galáxia tem a propriedade da qual a luminosidade emitida no infravermelho é aproximadamente equivalente a luminosidade bolométrica (luminosidade total da galáxia considerando as emissões em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético), e também, a razão $\frac{L_{ir}}{L_{opt}}$ possui um valor alto ($\frac{L_{ir}}{L_{opt}} > 50$, para ULIRGs), onde L_{ir} representa a luminosidade em comprimento de onda do infravermelho, e L_{opt} representa a luminosidade em comprimento de onda do óptico (Soifer et al., 1987).

[U]LIRGs vem sendo um objeto de estudo de muito interesse para os astrofísicos, pois observações demonstraram que as [U]LIRGs são centenas de vezes mais numerosas em redshift maior que um ($z > 1$) do que eles são localmente (ver Figura 1.1). Isto sugere que elas desempenham um papel muito importante na formação e evolução das galáxias, e assim compreendê-las torna-se de primordial importância (Lonsdale et al., 2006).

Estudos indicam que grande parte das [U]LIRGs são encontradas em processo de interação ou fusão, e suas regiões nucleares abrigam grandes massas de gás e poeira. De acordo com Lonsdale et al. (2006), a fonte de energia por trás da emissão do infravermelho (IR, do inglês *InfraRed*) das [U]LIRGs é uma combinação de uma grande população de estrelas jovem e quentes (um starburst) ou um buraco negro super massivo (SMBH,

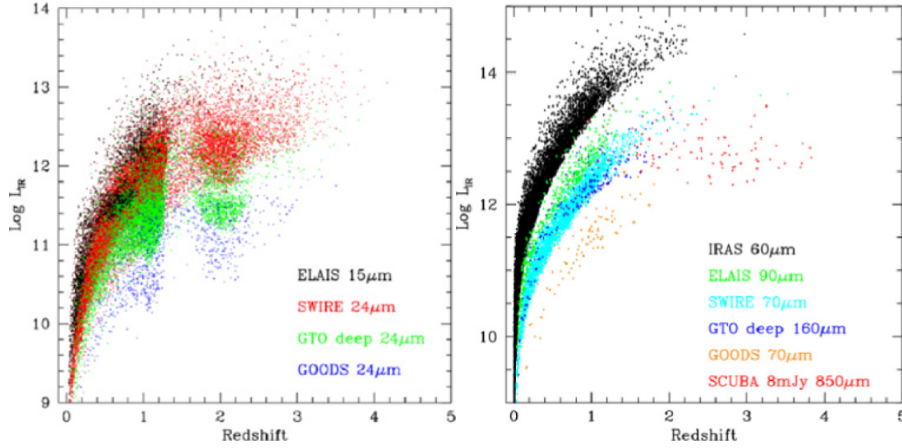


Figura 1.1: L

IRGs no Universo local e distante utilizando levantamentos em comprimento de onda do infravermelho.] Distribuição de [U]LIRGs no Universo local, e distante, utilizando levantamentos em comprimento de onda do infravermelho curto (a esquerda) e longos (a direita). Plot de 1/5 dos objetos dentro da área e profundidade de cada levantamento: ISO ELAIS 15 μm ; SWIRE 24 e 70 μm ; Spitzer Garantido Observador de Tempo em profundidade de 24 μm ; PRODUTOS 24 μm ; IRAS 60 μm ; SCUBA 850 μm ; PRODUTOS 70 μm ; Spitzer GTO deep 160 μm . Imagem extraída de (Lonsdale et al., 2006).

do inglês *Supermassive Black-Hole*), onde a taxa de acreção da matéria é muito alta, ou seja, temos neste caso uma galáxia com núcleo ativo (AGN, do inglês *Active Galactic Nucleus*). Isto foi sustentado pela percepção de que os sistemas mais luminosos tendiam a estar nos estágios de fusão mais avançados como mostra a figura 1.2, onde a fusão de duas galáxias espaciais ricas em gás tem como resultado uma LIRG, que conseqüentemente evolui para uma [U]LIRG, em seguida para um Quasar e, eventualmente, uma galáxia elíptica. Embora esta distinção entre a fonte de energia responsável pela grande emissão no infravermelho, inicialmente (e até agora) tenha se mostrado difícil, acredita-se que pelo menos no universo local, as [U]LIRGs são alimentadas especialmente por uma explosão estelar (energia térmica), mas frequentemente com uma contribuição significativa de AGNs (energia não térmica).

Em outras palavras, de acordo com Sanders et al. (1988) temos que as [U]LIRGS representam um papel fundamental no processo de evolução de galáxias, em que processos de interação gravitacional entre galáxias desencadeiam a ativação do núcleo da galáxia, por meio do aumento da poeira sendo levado ao núcleo, surgindo assim um AGN (Sales et al., 2015; Hekatelyne et al., 2018; Sales et al., 2019).

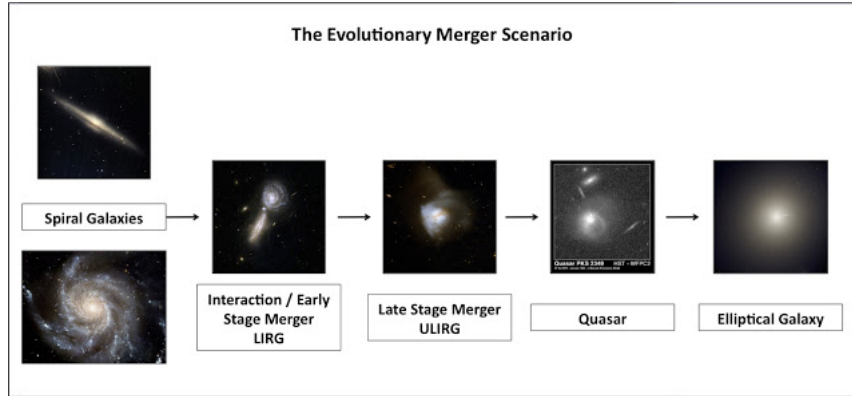


Figura 1.2: L

IRGs através de fusões de galáxias.]Diagrama ilustrando o cenário de fusão de duas galáxias espirais ricas em gás, formando uma LIRG, que evolui para uma ULIRG, depois para um Quasar e, eventualmente, uma galáxia elíptica. Imagem retirada do site: <http://candels-collaboration.blogspot.com/2012/07/luminous-infrared-galaxies.html>.

Este grande acúmulo de gás e poeira no núcleo galáctico resulta em regiões de alta densidade ($n(\text{H}_2) = 10^{3-4} \text{ cm}^{-3}$), ou seja, um ambiente com propriedades físicas propícia para ocorrer a emissão de megamasers de OH, nas linhas de 1667 e 1665 MHz. Alguns autores especulam que uma das componentes da emissão do megamaser pode estar associada com outflows de matéria com baixa densidade, mas à altas velocidades (Baan et al., 1989; Lonsdale et al., 1998).

1.2 Galáxias Megamasers

1.2.1 Emissão Maser

Um maser significa *Microwave Amplification by Stimulation Emission of Radiation* (em português, Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação). O princípio físico fundamental que descreve o maser é o conceito de emissão estimulada, onde um fóton com comprimento de onda λ é absorvido por um átomo já em seu estado de alta energia, consequência de uma absorção anterior. Em seguida, este mesmo átomo emite rapidamente dois fótons para retornar ao seu estado de energia mais baixo, seu estado fundamental. De acordo com a mecânica quântica, ambos os fótons recém-emitidos possuem o mesmo comprimento de onda λ . Um maser é produzido através da emissão estimulada, mas como neste caso temos um maser de hidroxila que é uma molécula, ao invés de pensarmos em átomos, usamos o mesmo conceito para moléculas.

A primeira evidência de um maser astrofísico foi em 1963 com [S.Weinreb \(1963\)](#), onde foi detectado uma absorção do radical de hidroxila (OH) na direção de Cassiopeia A. A segunda espécie molecular detectada como maser foi a de vapor de água (H₂O), descoberto por Cheung, na transição em comprimento de onda de rádio entre dois estados rotacionais excitados com energias muito próximas ([Cheung, 1969](#)). No meio interestelar, a emissão do maser ocorre naturalmente, originando-se em regiões de alta densidade ($n(\text{H}_2) \geq 10^7 \text{ cm}^{-3}$) e perto de uma fonte de excitação ([Lo, 2005](#)).

Os masers de OH e H₂O são comumente encontrados em galáxias e essas linhas emitem com comprimentos de onda de λ igual a 18cm ($\nu = 1,6 \text{ GHz}$) e λ igual a 1,358cm ($\nu = 22,2 \text{ GHz}$) respectivamente. No meio galáctico a emissão do maser de OH é relacionada a regiões HII ultracompactas, por outro lado, a emissão do maser de H₂O é associada a proto estrelas ([Lo, 2005](#)).

1.2.2 Galáxias Megamasers de OH

Os primeiros megamasers extragalácticos de OH foram detectados na galáxia espiral NGC253 ([Whiteoak e Gardner, 1973](#); [Gardner e Whiteoak, 1975](#)) e logo em seguida em M82 ([Nguyen-Q-Rieu et al., 1976](#)), em uma frequência de 1667 MHz e com uma largura de linha de $\sim 10 \text{ km s}^{-1}$. Em contraste com os masers galácticos de OH, a emissão do maser nos objetos NGC253 e M82 é 10 vezes mais intensa e não polarizada, ademais, também foi detectado que a linha de 1667 MHz é mais forte que a de 1665 MHz. Para explicar essa amplificação da emissão do maser, foi proposto que para existir este tipo de emissão deve existir um contínuo em rádio entre a região do maser e o observador ([Whiteoak e Gardner, 1973](#); [Nguyen-Q-Rieu et al., 1976](#); [Lo, 2005](#)).

Megamasers de hidroxila, com luminosidade de até $10^4 L_{\odot}$ ou mais, são encontrados apenas em LIRGs. Existe uma boa correlação entre a luminosidade de OH e a luminosidade do IR, que é de $L_{\text{OH}} \propto L^{1.2}_{\text{FIR}}$, embora 80% dos LIRGs pesquisadas não apresentem emissão de megamaser OH ([Lo, 2005](#)). Observações com alta resolução espacial mostraram que a emissão de megamaser OH está concentrada em uma região com tamanho de 10pc até 100pc e, além disso, a extensão espacial da região de emissão de 100pc é primariamente responsável pela grande densidade de fluxo observada do maser de OH, sendo que a região de 10pc é responsável pela ambiente mais próximo do centro e mais compacto.

De acordo com [Darling \(2007\)](#) as linhas de HCN e CO fornecem uma nova visão sobre o

fenômeno do megamaser de OH, sendo essas linhas um indicativo de gás denso o suficiente para ocorrer a emissão do megamaser de OH. Com o este trabalho foram identificados três propriedades físicas que diferenciam galáxias que hospedam um megamaser de OH de galáxias Starbursts, são as seguintes (Darling, 2007):

1. OHMs têm as maiores taxas de densidades médias de gases moleculares;
2. Quase todas as OHMGs possuem uma densidade molecular de $\bar{n}(\text{H}_2) = 10^3 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$, onde nuvens que emitem a linha de OH provavelmente abrigam uma densidade de $(\text{H}_2) > 10^4 \text{ cm}^{-3}$;
3. OHMGs possuem uma população distinta na parte não-linear da relação IR-CO;
4. As galáxias hospedeiras de OHM possuem frações de gás molecular excepcionalmente altas, em torno de $\text{LHCN} / \text{LCO} > 0,07$, como mostra a figura 1.3, e compreendem aproximadamente metade dessa população incomum.

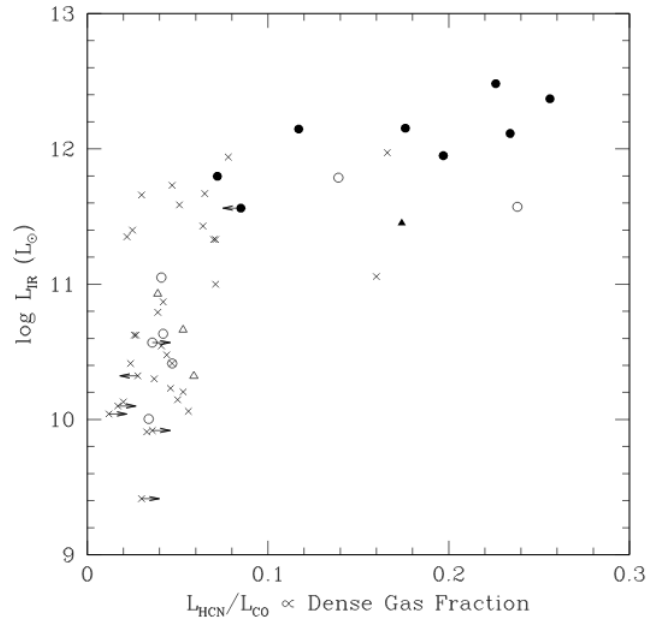


Figura 1.3: Diagrama da Luminosidade no infravermelho (LIR) verso a razão das luminosidades das linhas de HCN e CO (LHCN/LCO) de galáxias que possuem propriedades de OH e que também foram detectado linhas de HCN, da amostra GS04. No gráfico: os círculos pretos preenchidos representam os OHM; triângulos preto preenchido representa OHK; os círculos vazios representam objetos com absorção de OH; os triângulos vazios representam objetos com absorção de Oh na ordem de kilo; e os 'x' representam objetos que não apresentam emissão de OH. Figura extraída de Darling (2007).

Parra et al. (2005) propuseram um modelo para a emissão do maser de OH para a galáxia IIIZw35. A galáxia IIIZw35 é uma LIRG a uma distância de 110 Mpc e através de

estudo espectroscópico no óptico foi classificada uma galáxia que está entre uma LINER e Seyfert 2. A galáxia segue a correlação entre a emissão em rádio e infravermelho distante, além do mais sua emissão no rádio e infravermelho indicam que a III Zw35 é alimentada por uma Starburst com uma taxa de formação estelar de $\sim 19M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (P01). Mapas de resolução espacial intermediária da emissão do maser de OH foram observados pela população estelar 1 (P01) combinando os dados de EVN e MERLIN e são mostrados na figura 1.4. A escala de cinza na figura 1.4.a mostra que, nesta resolução, a emissão de maser não está presente em seu centro e possui duas regiões brilhantes para o Norte e Sul. Também podem ser vistas duas regiões de emissão difusa que conectam as regiões brilhantes. A figura 1.4.b mostra o gradiente de velocidade Norte-Sul obtido a partir do mapa de momento maser. Este gradiente e a distribuição do brilho maser são consistentes com um anel rotativo cujo eixo está inclinado por $i \sim 60^{\circ}$ na direção do observador.

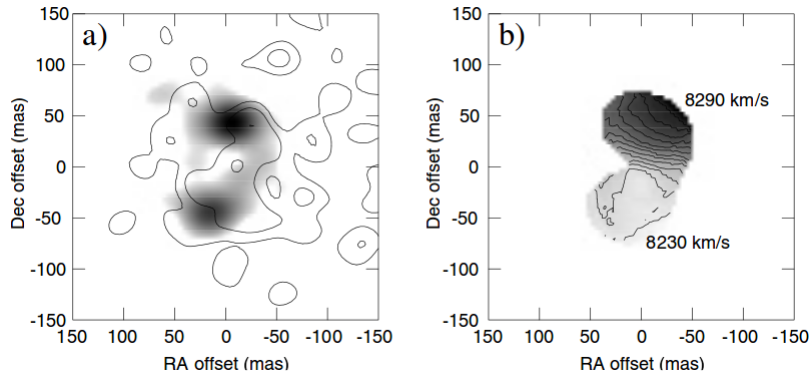


Figura 1.4: Imagens reproduzidas a partir de P01 mostrando observações da emissão do maser de OH e contínuo em EVN+MERLIN. a) a escala de cinza mostra a velocidade de emissão integrada de OH em uma resolução de 34×29 mas. Os contornos mostram a emissão contínua na mesma resolução. b) Corresponde ao campo de velocidade do centroide da emissão do OH. Extraído de Parra et al. (2005).

A figura 1.5 mostra o modelo assimétrico inclinado ajustado através das observações da III Zw35, no qual as nuvens OH e a emissão contínua coexistem dentro de anéis circunucleares. O modelo é composto por um anel vermelho que representa a região das nuvens de maser de OH, um anel cinza representa uma superfície isossuperficial da emissividade contínua distribuída suavemente. O modelo também inclui um bi-cone de absorção livre-livre, fisicamente, o cone absorvente livre-livre pode ser a base de um super vento que flui, o que é frequentemente observado em explosões de estrelas energéticas. No modelo representado na figura 1.5 o raio interno do anel do maser é igual a $R_{in} = 22 \text{ cpc}$, a espessura

radial do anel do maser $\Delta R = 3\text{pc}$, a altura do anel do maser $\Delta H = 6\text{pc}$, e a velocidade de rotação do anel do maser é igual a $v_{\text{rot}} = 57 \text{ km s}^{-1}$.

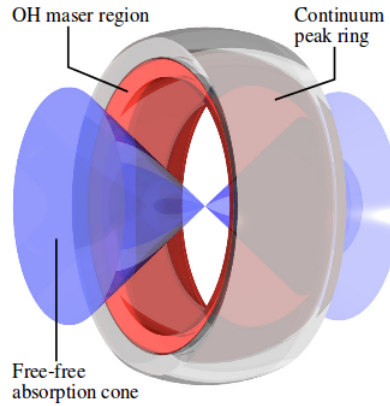


Figura 1.5: Modelo da emissão maser na galáxia IIIZw35. O anel vermelho interno representa a região onde as nuvens de maser de OH estão confinadas. O anel cinza claro externo retrata uma superfície isossuperficial da emissividade contínua distribuída suavemente. E um cone de absorção livre-livre. Extraído de [Parra et al. \(2005\)](#).

1.3 Galáxias Starburst

Diferente das galáxias classificadas como normais, como por exemplo a Via Láctea, que possuem uma taxa de formação estelar em torno de $\sim 2M_{\odot}/\text{ano}$, as galáxias Starbursts são discernidas por apresentarem uma alta taxa de formação de estrelas, na ordem de $\sim 10 - 300 M_{\odot}/\text{ano}$ [Schneider \(2015\)](#).

O fenômeno Starburst ainda não é bem compreendido. Sabemos esses intensos episódios de formação estelar acontecem na região central da galáxia ($r < 1\text{kpc}$) e possuem uma duração relativamente curta ($\sim 10 - 100 \times 10^6$ anos), pois o gás da galáxia é rapidamente consumido para a formação estelar em seu núcleo, resultando em seu espectro eletromagnético linhas de emissão intensas e estreitas (ver figura 1.6).

Tipicamente Starbursts são galáxias perturbadas, e muitos são observados em sistemas em interação, ou fusão. Os locais onde ocorre a formação de estrelas dentro da galáxia são geralmente marcados por estrelas azuis de alta massa e altamente luminosas, estatisticamente raras. A distribuição espectral de energia (SED) de uma Starbursts é caracterizada pelo contínuo estelar integrado de estrelas, sendo assim, em geral sua SED é o resultado da superposição de estrelas. Também, é possível que todas as galáxias passam por uma

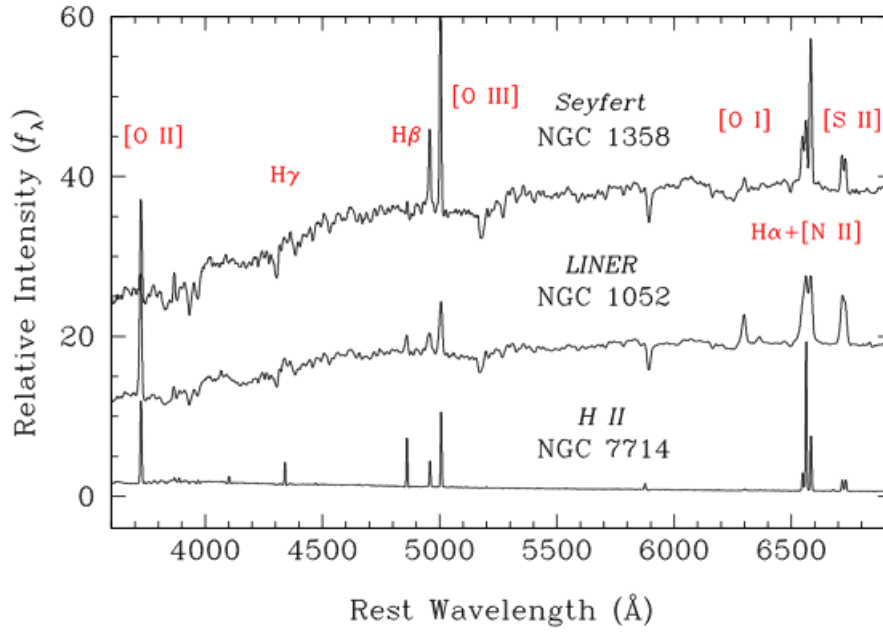


Figura 1.6: Espectros no ópticos típicos de galáxias NGC 1358 (AGNs), NGC 1052 (LINER) e NGC 7714 (Starburst). Note as diferentes larguras e intensidades das linhas espectrais e características do contínuo. Figura extraída de [Ho \(2008\)](#).

fase de formação estelar intensa em algum momento de sua vida ([Gallego et al., 1995](#); [Conselice, 2000](#)).

Para galáxias em alto redshift, o mecanismo que dispara o Starburst é provavelmente processos de interação entre galáxias, onde colisões podem levar à fusão das galáxias, ou a formação de caudas de maré. Podemos dizer, também, que o encontro entre duas galáxias ricas em gás, desencadeia choque de gases, criando as condições propícias de formação estelar ([Conselice, 2000](#)).

1.4 Galáxias com Núcleos Ativos

Galáxia Ativa é definida como uma galáxia que SMBH ativo e massivo ($M_{BH} > 10^5 M_{\odot}$) em seu centro ([Netzer, 2015](#)). Em AGNs temos que a relação de Eddington excede o limite de $L_{AGN}/L_{Edd} = 10^{-5}$, onde L_{AGN} é a luminosidade bolométrica do AGN e $L_{Edd} = 1,5 \times 10^{38} M_{BH}/M_{\odot} \text{ erg s}^{-1}$ é a luminosidade de Eddington (representa a maior luminosidade que uma estrela com certa massa pode ter e ainda estar em equilíbrio hidrostático) para um gás que compõe uma estrela ([Netzer, 2015](#)).

A primeira evidência de um AGN foi através do trabalho de Fath (1909), no qual foram identificadas linhas de emissão intensas de H_β , $[\text{OII}] \ 3727 \text{ \AA}$, $[\text{NIII}] \ 3869 \text{ \AA}$, $[\text{OIII}] \ 4363, 4959 \text{ e } 5007 \text{ \AA}$ na galáxia espiral NGC 1068 (M77), evento que não é observado em galáxias normais. Em 1943, Seyfert afirmou que uma fração das galáxias espirais, aquelas que tinham núcleos brilhantes, possuíam também linhas de hidrogênio alargadas (Seyfert, 1943).

Hoje sabemos que AGNs estão associadas a presença de linhas de recombinação do hidrogênio intensas e alargadas em seu espectro de emissão devido a energia emitida pelo seu núcleo, e a uma luminosidade bolométrica que varia entre $-9 < M_B < -30$ e $10^{38} < L_X < 10^{48} \text{ ergs}^{-1}$.

Uma das características dos AGNs é que ao contrário das galáxias normais que possuem suas SEDs descritas por contínuos estelares que se estende a uma pequena faixa ($\sim 4000 - 20000 \text{ \AA}$) suas SEDs possuem emissão em todo intervalo espectral com uma maior contribuição em comprimentos de ondas mais azuis. Acredita-se que essa intensa emissão de energia nos centros das GNs seja gerada através da acreção de matéria pelo seu SMBH (Antonucci e Miller, 1985; Salpeter, 1964). De fato, o contínuo dos AGNs é dominado por emissão não térmica e o excesso de emissão no azul e ultravioleta, conhecido como *big blue bump*, pode ser interpretado como uma evidência observacional do disco de acreção (Shields, 1978; Malkan e Sargent, 1982; Audibert, 2000).

De acordo com a literatura, podemos classificar as AGNs em duas classes de acordo com a sua luminosidade em comprimentos de onda de rádio, propriedades espectrais, variabilidade e o contraste de brilho entre o núcleo e a galáxia hospedeira, em: (i) *radio-loud* que possuem intensa emissão no comprimento de onda do rádio, como por exemplo, os quasares, blasares, galáxias Fanaroff-Riley; e (ii) *radio-quiet* que apresentam uma emissão mais tênue no comprimento de onda do rádio, como por exemplo, as Galáxias Seyferts, [U]LIRGS e LINERs (Audibert, 2000).

1.4.1 Galáxias LINERs

A sigla LINER vem do inglês Low Ionization Nuclear Emission line Region, em tradução livre, Região de Linha de Emissão Nuclear de Ionização Baixa. LINERs são AGNs de linhas estreitas e de baixa luminosidade. Em 1980, Heckman define pela primeira vez esta classe de objetos pelas razões de intensidade $[\text{OII}] \ \lambda \ 3727 / [\text{OIII}] \ \lambda \ 5007 \geq 1$ e $[\text{OI}] \ \lambda 6300 / [\text{OIII}]$

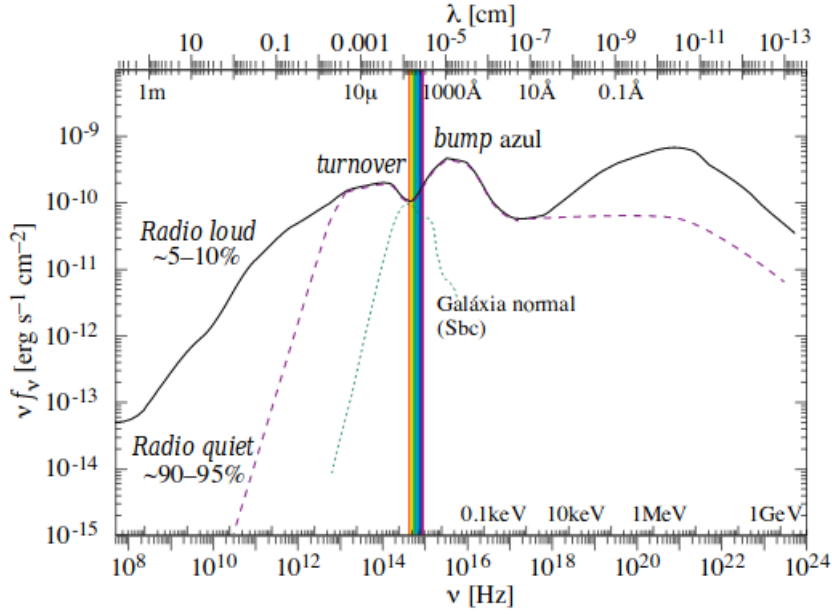


Figura 1.7: SEDs de galáxia normal (Sbc, linha pontilhada), galáxia ativa radio-loud (linha contínua) e radio-quiet (linha tracejada). Regiões do turnover e bump azul estão identificadas. Imagem retirada das notas de aula no endereço <http://www.astro.iag.usp.br/gastao/Extragal.html>.

$\lambda_{5007} \geq 1/3$. Além disso, as LINERs também podem ser definidos pelas razões $[\text{NII}]/\text{H}_\alpha > 0,6$ e $[\text{OIII}]/\text{H}_\beta < 3$.

Estudos estatísticos mostraram que LINERs são encontrados em aproximadamente 80% de galáxias espirais do tipo S_a e S_b e, em uma proporção menor, em galáxias S_c e Elípticas. Existe um debate na literatura sobre a origem da fonte ionizante dos LINERs. Alguns trabalhos descrevem que LINERs seriam o final fraco da função de luminosidade de AGNs; ou teriam formação estelar intensa no centro galáctico, ou seja, LINERs seriam como regiões Hii no centro de galáxias. Na figura 1.6 temos um exemplo de espectro da galáxia LINER NGC 1052.

1.4.2 Galáxias Seyfert

As galáxias Seyfert são galáxias espirais que possuem núcleos extremamente pequenos e muito luminosos, contribuindo com metade da luminosidade total da galáxia na faixa do visível. As galáxias Seyfert somam aproximadamente 0,1% das galáxias de campo e, pelo menos 90% delas são espirais de tipo S_b ou SB_b . Muitas apresentam vizinhos que podem estar em interação gravitacional.

O primeiro espectro óptico obtido de uma galáxia ativa foi por Fath (1909) onde observou-se a presença de linhas de emissão fortes na galáxia NGC 1068. Seyfert (1943)

foi o primeiro a perceber que existem várias galáxias que apresentam linhas de emissão intensas e que elas podem ser classificadas em dois tipos: (i) as Seyferts 1 que apresentam linhas largas (até 8500 km s^{-1} , e (ii) as Seyferts 2 onde as linhas de hidrogênio às vezes são mais amplas que as outras linhas.

Khachikian e Weedman (1971) aprimoraram a classificação de Seyfert baseados na larguras das linhas de emissão da seguinte forma:

- **Seyfert 1:** Linhas de emissão permitidas alargadas (p.ex. H I, He I, He II; $1000 - 5000 \text{ km/s}$); linhas proibidas estreitas (p.ex. [O III], [N V]; aproximadamente 500 km/s).
- **Seyfert 2:** Tanto as linhas permitidas como as proibidas são estreitas ($\sim 500 \text{ km/s}$, i.e., 10Å no visível). O contínuo das Seyferts 2 é sistematicamente mais fraco que o das Seyferts 1. Quando observado em luz polarizada, as Seyfert 2 também apresentam linhas permitidas largas (Miller e Antonucci, 1983).

A figura 1.6 ilustra o espectro da galáxia Seyfert 2 NGC 1358. A figura 1.8 mostra a diferença das linhas de emissão entre as galáxias Seyfert do tipo 1 (NGC5548) e 2 (NGC1667).

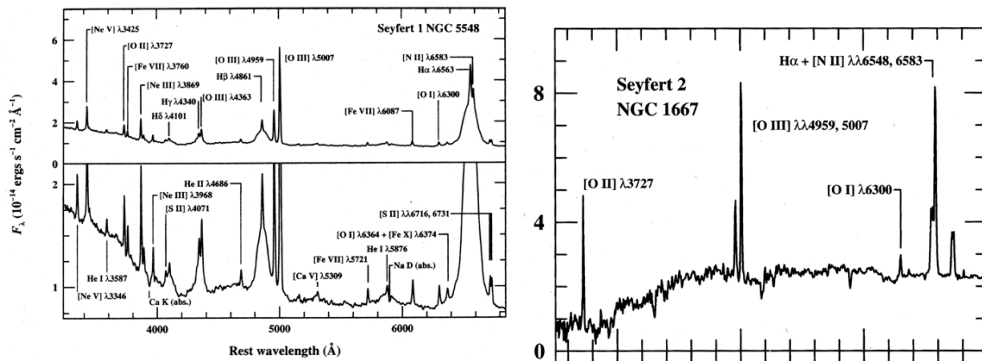


Figura 1.8: Exemplo de espectros no óptico de galáxias Seyfert 1 e 2. À direita: galáxia Seyfert 1 NGC 5548, onde vemos linhas de emissão proeminentes, largas e estreitas, como também linhas de absorção do espectro da galáxia hospedeira. À esquerda: galáxia Seyfert 2 NGC 1667, onde identificamos linhas estreitas, e algumas linhas de absorção intensas oriundas da galáxia hospedeira. As unidades são: comprimento de onda em Å no eixo x, e flux em $\text{ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Å}^{-1}$ no eixo y. Dados cedidos por A. V. Filippenko de acordo com a fonte. Imagem extraída de Peterson (1997).

Osterbrock (1981) três novas subclasses de Seyfert baseadas puramente na aparência do espectro óptico, são elas:

- **Seyfert 1.9:** onde a única linha de emissão alargada é a de H_α , e não nas linhas de Balmer de ordem superior.

- **Seyfert 1.8:** as linhas largas são fracas mas detectáveis tanto em H_α quanto em H_β .
- **Seyfert 1.5:** a intensidade das linhas largas e estreitas de H_{β} são comparáveis. Deve-se ter cuidado ao usar esta subclassificação dos espectros Seyfert 1.

1.4.3 Modelo Unificado de AGNs

O modelo unificado de AGNs se baseia em três suposições básicas:

1. Alguns objetos são intrinsecamente mais brilhantes;
2. Alguns objetos produzem jatos de partículas relativísticas;
3. A orientação dos objetos é aleatória e, dependendo do ponto de vista do observador, regiões diferentes do núcleo são observadas, i.e., os núcleos ativos são anisotrópicos ([Barthel, 1989](#)).

De acordo com o modelo unificado de AGNs, no centro da galáxia se encontra um SMBH ativo (onde sua dimensão é menor que o valor dada pelo raio de Schwarzschild, $r_s \equiv 2GM/c^2$), com um disco de acreção em sua volta, onde é produzido jatos de partículas relativísticas. A figura [1.9](#) ilustra o modelo unificado de AGN.

O modelo unificado de AGNs prevê que entre $\sim 0,1$ e ~ 30 parsec existem nuvens de gás responsáveis pela emissão das linhas permitidas alargadas que é classificada como região de linhas largas (BLR, Broad Line Region). Estas nuvens são responsáveis pela emissão permitidas de linhas largas, com até 5000 km/s.

Na borda da região de linhas largas, existe um toro molecular, com uma dimensão de unidades até centenas de parsecs. Esta região é composta de gás e poeira e é opticamente espessa. Quando o AGN é observada de perfil, a região de linhas largas e o disco de acreção são obscurecidos, dando origem a morfologia espectral observadas nas galáxias Seyfert 2, enquanto, se observarmos através do toros de poeira observaremos as assinaturas espectrais tanto das linhas largas quando linhas estreitas o que corresponde a galáxias Seyfert 1.

Uma evidência observacional que corrobora com o modelo unificado de AGNs foi realizado por [Miller e Antonucci \(1983\)](#) onde observou uma galáxia Seyfert tipo 2 em luz polarizada. O espectro produzido na região central devido a BLR, emitida perpendicularmente ao toro é espalhada e uma fração da radiação pode chegar a nós. Esta luz pode ser espalhada e seu espectro polarizado apresenta características de AGNs de tipo 1.

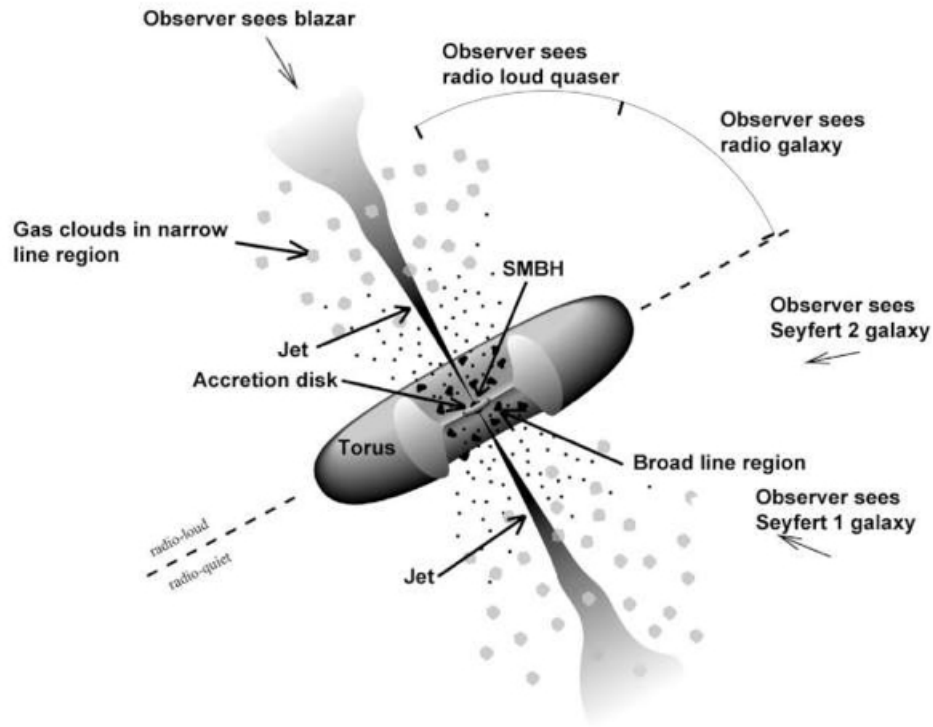


Figura 1.9: Modelo unificado de AGNs (fora de escala). No centro está o disco de acreção e o SMBH. Dependendo da posição do observador, o AGN é classificado de maneira diferente. Em geral, se a região central pode ser observada temos uma AGN tipo 1; se a região central está escondida, temos uma AGN tipo 2.

Na região de aproximadamente 1 kpc, além do toro molecular, encontra-se a região de linhas estreitas. Esta região é formada por nuvens de gás dinamicamente mais frias e de baixa densidade, e portanto, as linhas são mais estreitas.

1.5 Diagramas de Diagnóstico no Óptico

As galáxias com formação estelar intensa e os AGNs possuem características espectrais diferentes, pois as regiões de formação estelar são aquecidas por estrelas jovens (tipo OB) devido a energia térmica, e nos AGNs a energia vem da região central (oriundo de um contínuo produzido pelo disco de acreção próximo do SMBH), emitindo uma energia de origem não térmica. Assim, diagramas de diagnósticos baseado nas intensidades relativas de linhas espectrais de $[\text{OIII}]\lambda 5007 / \text{H}\beta$, $[\text{NII}]\lambda 6583 / \text{H}\alpha$, $[\text{SII}]\lambda 6716, \lambda 6731 / \text{H}\alpha$ e $[\text{OI}]\lambda 6300 / \text{H}\alpha$ foram propostas para distinguir AGNs de galáxias com surto de formação estelar (Baldwin et al., 1981; Veilleux e Osterbrock, 1987).

Figura 1.10 e 1.11 mostram exemplos de diagramas de diagnósticos dividindo regiões

onde são populadas por galáxias do tipo Seyfert, LINERs, HII e objetos de transição.

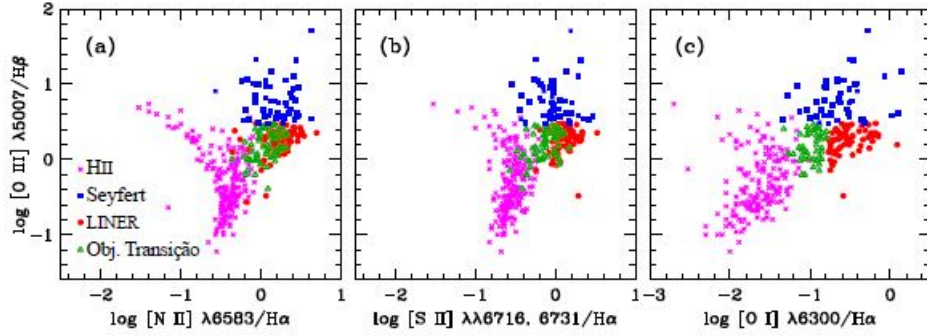


Figura 1.10: Diagnósticos de razões de linhas de emissão onde podemos distinguir galáxias Starburst (regiões HII), liners, “objetos de transição” e Seyferts. Imagem retirada de [Ho \(2008\)](#).

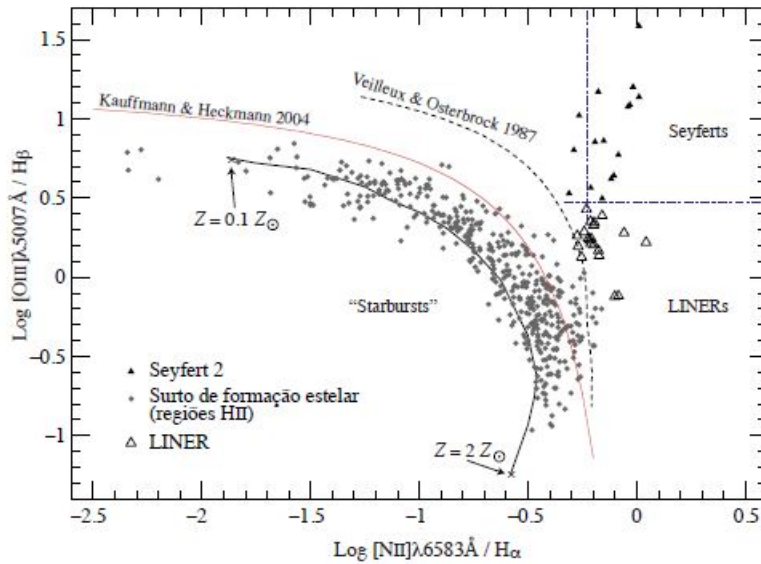


Figura 1.11: Diagrama BPT de linhas de emissão para distinguir AGNs de regiões HII (formação estelar intensa). A linha contínua representa regiões HII de diferentes metalicidades segundo [\(Dopita e Evans, 1986\)](#). A linha tracejada separa AGNs de regiões de formação estelar segundo [Veilleux e Osterbrock \(1987\)](#).

[Cid Fernandes et al. \(2011\)](#), propuseram um diagrama de diagnóstico mais econômico, pois utilizam apenas informações das linhas de emissão de H_α e do $[NII]$, atualmente conhecido por **diagrama WHAN**. Este diagrama combina a largura equivalente de H_α (WH_α) e a relação de linha $[NII]/H_\alpha$ para classificar a(s) fonte(s) de ionização em galáxias. De acordo com [Cid Fernandes et al. \(2011\)](#), quatro classes de galáxias podem ser identificadas usando o diagrama WHAN (figura 1.12):

1. Galáxias Starburst (SF): $\log([\text{NII}]/\text{H}\alpha) < -0.4$ e $W \text{ H}\alpha > 0.5 \text{ \AA}$;
2. AGNs fortes (sAGN): $\log([\text{NII}]/\text{H}\alpha) > -0.4$ e $W \text{ H}\alpha > 0.8 \text{ \AA}$;
3. AGNs fracos (wAGN): $\log([\text{NII}]/\text{H}\alpha) > -0.4$ e $0.5 \text{ \AA} < W \text{ H}\alpha < 0.8 \text{ \AA}$;
4. LINERs (galáxias aposentadas)(RG): $W \text{ H}\alpha < 0.5 \text{ \AA}$.

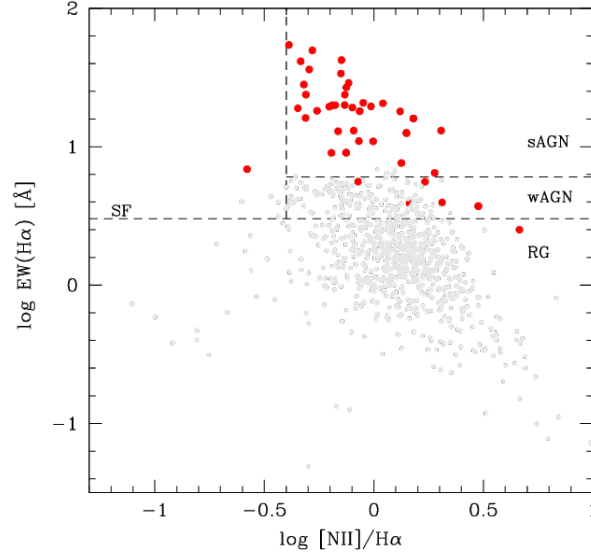


Figura 1.12: Diagrama WHAN, usado para distinguir AGNs de regiões HII, onde os pontos vermelhos e cinzas são amostras de U(LIRGs) do SDSS. No gráfico temos que SF representa Starburst, sAGN e wAGN representam AGN forte e fraco respectivamente e RG LINERs. Extraído de [Melnick et al. \(2015\)](#).

1.6 Objetivos

A emissão do OHM é uma característica importante das [U]LIRGs até agora não muito explorada. A presença dessa emissão pode ser um claro sinal não apenas de atividade nuclear térmica em uma galáxia, mas também da existência de um disco de gás circum-nuclear, similar ao toro hipotetizado pelo modelo unificado de AGN. As galáxias que emitem OHM parecem estar em um estágio crítico da evolução das [U]LIRGs, onde este disco de gás circum-nuclear foi formado recentemente. Este disco pode ser a fonte de alimentação de um AGN e as OHMGs podem ser traçadoras da fase final de evolução que sinaliza o momento imediatamente antes do surgimento do AGN. Porém, como essas galáxias são pouco estudadas elas não possuem dados de alta resolução espacial disponíveis para possibilitar a

classificação do mecanismo de excitação, AGN ou Starburst. Entretanto, ainda existe um grande debate na literatura sobre qual o tipo de atividade de fato domina a emissão nuclear de energia desses objetos. Muito dessa polemica existe porque a maioria das galáxias são [U]LIRGs e possuem uma grande densidade de material absorvedor (gás/poeira) circundando a fonte nuclear ionizante, impossibilitando a detecção de assinaturas claras da emissão não térmica do núcleo ativo em todos os comprimentos de onda, inclusive em raios-X. Também, a maioria das galáxias são sistemas em interação e as observações espectroscópicas integram a luz dos múltiplos núcleos, impossibilitando a classificação de cada galáxia individualmente. Assim, objetivamos com este trabalho:

1. Tratar os dados espectroscópico da OHMG IRAS 11506-3851 observados pelo Telescópio Gemini com o espectrógrafo GMOS em modo de fenda longa.
2. Derivar a contribuição relativa da atividade AGN e/ou Starburst do núcleo e ao longo da galáxia utilizando o diagrama de diagnóstico BPT e WHAN para fins comparativos.
3. Estudar a cinemática e dinâmica da OHMG IRAS11506-3851 através da curva de rotação determinada através da fenda de observação próxima ao eixo maior da galáxia.

Observação e Tratamento dos Dados

2.1 Caracterização da OHMG IRAS 11506-3851

A galáxia IRAS 11506-3851 também conhecida como ESO 320-G030, é uma galáxia luminosa no IR e morfologicamente classificada como uma espiral barrada com um anel interno e externo, ou seja, uma (R)SBa(r). Suas principais características estão descritas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Propriedades gerais da IRAS 11506-3851.

Propriedade	Valor	Referência
Redshift (z)	0.01078	(de Vaucouleurs et al., 1991)
D_L [Mpc]	46.6 ^a	-
Escala espacial [pc/arcsec]	221 ^a	-
Eixo maior	133 ± 2^2	(Pereira-Santaella et al., 2016)
$\log(LIR(L_\odot))$	11.3	(Moshir et al., 1992)
$\log(LAGN)$ (erg/s)	≤ 41.09	(Fluetsch et al., 2019)
SFR [$M_\odot/\text{yr}^{-1}$]	34 ^b	(Rodríguez-Zaurín et al., 2011)
M_{dyn} [$M_\odot$]	$(5 \pm 1) \times 10^{10}$	(Bellocchi et al., 2013)
Inclinação da galáxia	$(37 \pm 3)^\circ$	(Bellocchi et al., 2013)
Tipo espectral nuclear	Galáxia HII	(van den Broek et al., 1991)

Notas – ^a Distância de luminosidade e escala obtidas presumindo uma cosmologia CDM com $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_M = 0,3$ e $\Omega_\Lambda = 0.7$. ^b Taxa de formação estelar.

A IRAS 11506-3851 hospeda um megamaser OH (Norris et al., 1986), que são associados com Starbursts compactos na maioria das vezes (Baan e Klöckner, 2006; Zhang et al., 2014). Dados espectroscópicos no óptico da OHMG IRAS 11506-3851 mostram que essa galáxia hospeda um núcleo HII e também não existe evidência de AGN em observações no IR e X-ray (van den Broek et al., 1991; Pereira-Santaella et al., 2011, 2010).

Além disso, observações com alta resolução angular (~ 60) da molécula CO(2–1) utilizando o ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) concluiu que esta galáxia possui massivos ($\sim 10^7 M_{\odot}$) outflows moleculares originados na região central da galáxia, porém não foi encontrado evidências de gás ionizado nesses outflows (Pereira-Santaella et al., 2016). Esses autores não encontraram evidência de AGNs no centro desta galáxia e atribuíram a presença dos outflows nucleares à choques devido a explosões de super-novas do Starburst nuclear.

Imagem na banda i observada com o telescópio espacial Hubble (PI: Robinson) da OHMG IRAS 11506-3851 é mostrada na figura 2.1. A imagem mostra que essa galáxia possui um núcleo brilhante com braços tênues e é isolada com um campo de velocidade ordenada (Bellocchi et al., 2013) que apresenta uma forte explosão estelar (Alonso-Herrero et al., 2006). A figura 2.2 mostra a região nuclear da IRAS 11506-3851 ressaltando a morfologia do núcleo e duas regiões compactas que nomearemos de "hot spots" nucleares. Também é possível ver na figura 2.2 poeira na região circunnuclear da galáxia.

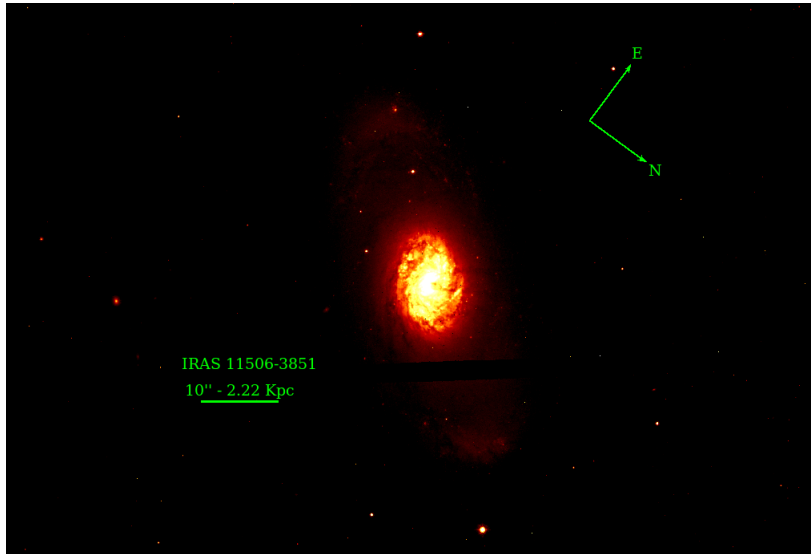


Figura 2.1: Imagem na banda i da OHMG IRAS11506-3851 obtida pelo HST.

2.2 Obervação dos Dados

Os dados espectroscópicos utilizados neste projeto foram obtidos pelo Observatório Gemini (figura 2.3), composto por dois telescópios idênticos, sendo o Gemini Norte (GN) localizado no Havaí e o Gemini Sul (GS) localizado no Chile. Os telescópios Gemini

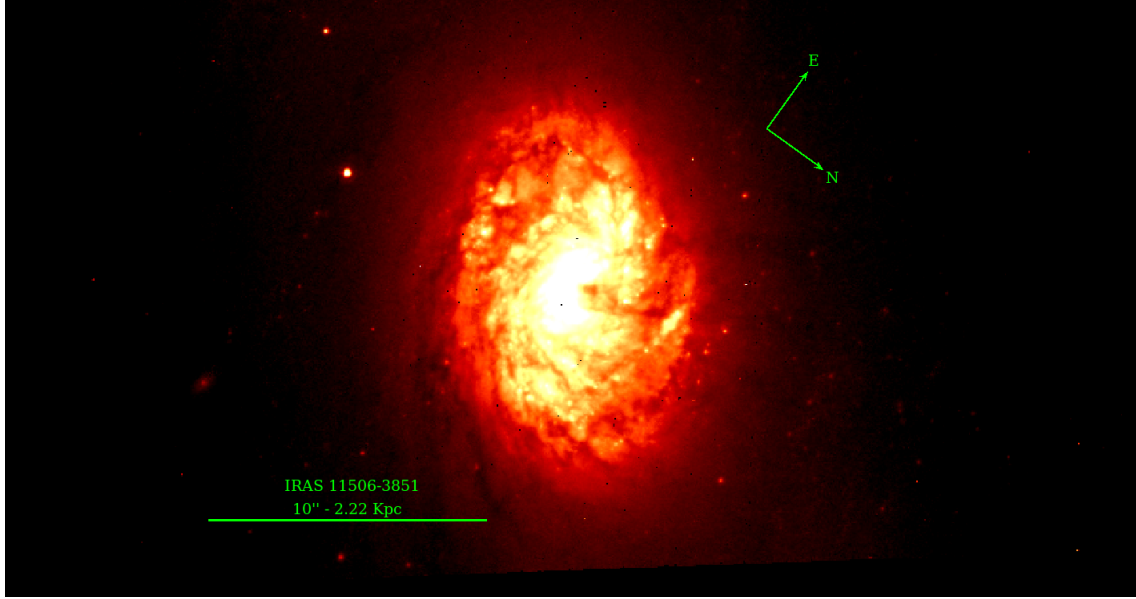


Figura 2.2: Imagem na banda i da OHMG IRAS11506-3851 obtida pelo HST aplicando um zoom no centro da galáxia.

operam no intervalo espectral desde o óptico até o IR e possuem espelhos principais com 8,1 metros de diâmetro. O Gemini foi construído e é operado por um consórcio de 7 países, sendo eles os Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Austrália, Brasil e Argentina, onde o Brasil tem direito a apenas $\approx 5\%$ do tempo de telescópio destinado a observações científicas.

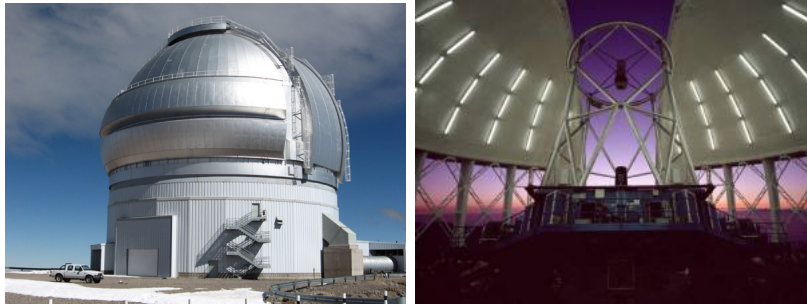


Figura 2.3: Imagens do Telescópio Gemini. À esquerda vista exterior, e à direita, vista do interior.

Os dados espectroscópicos da galáxia megamaser de OH IRAS 11506-3851 utilizados neste projeto foram obtidos usando o espectrógrafo GMOS (Gemini Multi-Object Spectrograph) acoplado ao GS. Os dados foram obtidos no modo de fenda-longa (longslit) na região espectral do visível, com uma largura de fenda de $1''.0$ e $0.75''$, através dos projetos e GS-2013B-Q-90 (PI: Dinalva A. Sales) e GS-2019A-Q-307 (PI: Andrew Robson), intitulados de “The Gas kinematics and Optical Classification of OH Megamaser Galaxies”.

Maiores detalhes sobre as observações se encontram na tabela 2.2.

A configuração instrumental utilizadas nas observações dos dados obtidos através do projeto GS-2013B-Q-90 é a seguinte: espectrógrafo GMOS-S EEV no modo fenda-longa com uma largura de fenda de 1", com rede de dispersão de B600±G5323 que fornece uma cobertura espectral de $\sim 2760 \text{ \AA}$, uma resolução espectral $R \approx 1688 (\sim 177 \text{ km s}^{-1})$ e uma dispersão de $0,045 \text{ nm/pixel}$. Já a configuração utilizada nas observações do projeto GS-2019A-Q-307 foi a seguinte: espectrógrafo GMOS-S Hamamatsu no modo fenda-longa com uma largura de fenda de 0,75", com rede de dispersão de B600±G5323 que fornece uma cobertura espectral de $\sim 2760 \text{ \AA}$, uma resolução espectral $R \approx 1688 (\sim 177 \text{ km s}^{-1})$ e uma dispersão de $0,05 \text{ nm/pixel}$.

Tabela 2.2 - Informações sobre dados espectroscópico da IRAS11506-3851.

Objeto	Projeto	Data Obs.	λ Central (nm)	Fenda (arcsec)	PA (deg)
IRAS 11506-3851	GS-2013B-Q-90	2014/03/14	485	1	261
IRAS 11506-3851	GS-2013B-Q-90	2014/03/14	569	1	261
IRAS 11506-3851	GS-2019A-Q-307	2019/02/09	575	0.75	158
IRAS 11506-3851	GS-2019A-Q-307	2019/02/14	575	0.75	239
IRAS 11506-3851	GS-2019A-Q-307	2019/02/17	575	0.75	239

A figura 2.4 ilustra as três fendas utilizadas nas observações. Cada observação de um espectro da IRAS 11506-3851, chamado dados do objeto, obtido pelo GMOS em diferentes comprimentos de onda e PAs vem acompanhado dos chamamos de dados de calibração, os bias, flats, espectros de CuAr e estrelas padrões. Dados da calibração são utilizados para remoção de imperfeições no CCD do GMOS (bias e flats), calibração em comprimento de onda e fluxo dos dados dos objetos (lâmpada de CuAr e estrela padrão). Descreveremos detalhadamente a seguir os tipos de dados.

- **Dados do Objeto:** é o espectro do objeto que está sendo estudado, neste trabalho é a galáxia IRAS 11506-3851.
- **Bias:** é a reposta do CCD perante a uma exposição de zero segundos com a doma do telescópio fechada. O bias é a variação de valores de pixel-a-pixel do CCD. O bias deve ser subtraído de todos os dados.

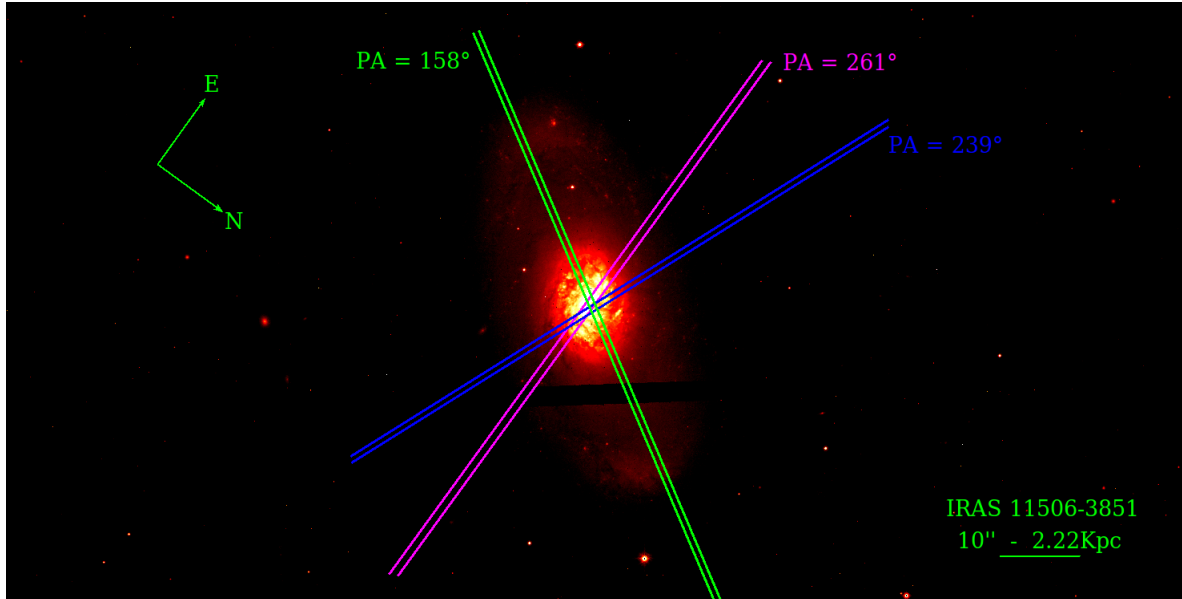


Figura 2.4: Imagem na banda i da IRAS11506-3851 mostrando as três posições das fendas observadas com GMOS. Fendas na cor verde, azul e rosa observaram o eixo maior (PA 158°) e menor (PA 239°) galáxia e "hot spots" centrais (PA 261°), respectivamente.

- **Flat:** é a reposta do CCD perante a exposição do mesmo a uma superfície uniformemente iluminada por uma lâmpada. Teoricamente a imagem resultante seria uniforme, com todos os pixels possuindo o mesmo valor, mas não obtemos este resultado. O flat resultante possui franjas pois alguns pixels são mais sensíveis do que outros. Todos os dados devem ser divididos pelo flat.
- **Lâmpada de CuAr:** o espectro da lâmpada de CuAr é utilizada para a calibração em comprimento de onda do espectro do objeto. Como o espectro do CuAr é conhecido e todas suas linhas de emissão são tabeladas conseguimos através dele criar uma função que associa um determinado pixel a um comprimento de onda. Através desta função calibramos o espectro do objeto em comprimento de onda.
- **Estrela Padrão:** o espectro da estrela padrão é utilizado para a calibração em fluxo do espectro do objeto.

2.3 Tratamento dos Dados

O processo de redução dos dados espectroscópicos foi realizado utilizando o software livre IRAF e PyRAF, junto com os pacotes desenvolvidos para a redução dos dados do instrumento GMOS do telescópio Gemini. Os passos de redução dos dados segue o padrão

utilizado para redução de dados de fenda longslit do GMOS.

O tratamento dos dados seguiu os seguintes passos:

1. Preparar os dados GMOS brutos para as reduções colocando informação nos headers e associando a máscara (MDF-mask definition file), que define a fenda usada (neste projeto temos de 1" e 0.75"). A tarefa utilizada foi **gprepare**.
2. Processar e combinar os dados do bias com o **gbias**.
3. Derivar o flatfield para espectros GMOS, com base nas exposições da lâmpada GCAL, com **gsflat**.
4. Subtrair o overscan e bias, dividir pelo flat, encontrar e corrigir raios cósmicos, cortar as bordas, e multiplicar pelo ganho. A tarefa utilizada foi **gsreduce** e foi aplicada nos dados da galáxia, nas lâmpadas de CuAr e nos dados da estrela padrão.
5. determinar uma função de calibração em comprimentos de onda do espectro da lâmpada de CuAr, baseada na informação do header das imagens utilizando a tarefa **gsappwave**.
6. Estabelecer uma calibração em comprimento de onda para espectros GMOS utilizando a tarefa **gswavelength**. Essa tarefa cria uma função que transforma cada pixel em seu comprimento de onda, usando um espectro de uma lâmpada de CuAr que já é conhecido as linhas de emissão.
7. Calibrar o espectro da galáxia em comprimento de onda usando **gstransform**.
8. Combinar as imagens.
9. Subtrair o céu dos espectros GMOS usando **gsskysub**.
10. Extrair o espectro 1D dos espectros GMOS (longslit), escolhendo as aberturas desejadas com a tarefa **gsextract**.
11. Estabelecer uma calibração em fluxo no espectro da galáxia, utilizando o espectro de uma estrela padrão com a tarefa **gsstandard**.
12. Calibrar o espectro da galáxia em fluxo relativo usando **gscalibrate**.

Neste trabalho não aplicaremos uma calibração relativa do fluxo pelo motivo que as observações das estrelas padrões não foram feitas nos mesmos dias que as observações das galáxias.

2.3.1 Espectros ao longo das regiões "hot spots" da IRAS 11506-3851

Após realizarmos o processo de redução descrito acima para a posição de fenda de 261° com $1''$ de largura, extraímos 14 espectros ao longo da fenda para o estudo a cinemática e dinâmica da galáxia. A figura 2.4 ilustra a posição da fenda. Esta posição de fenda pode detectar dois "hot spots" nuclear brilhantes na imagem da banda i do HST. Os espectros dessas regiões estão mostrado na figura 2.5 e 2.6, respectivamente.

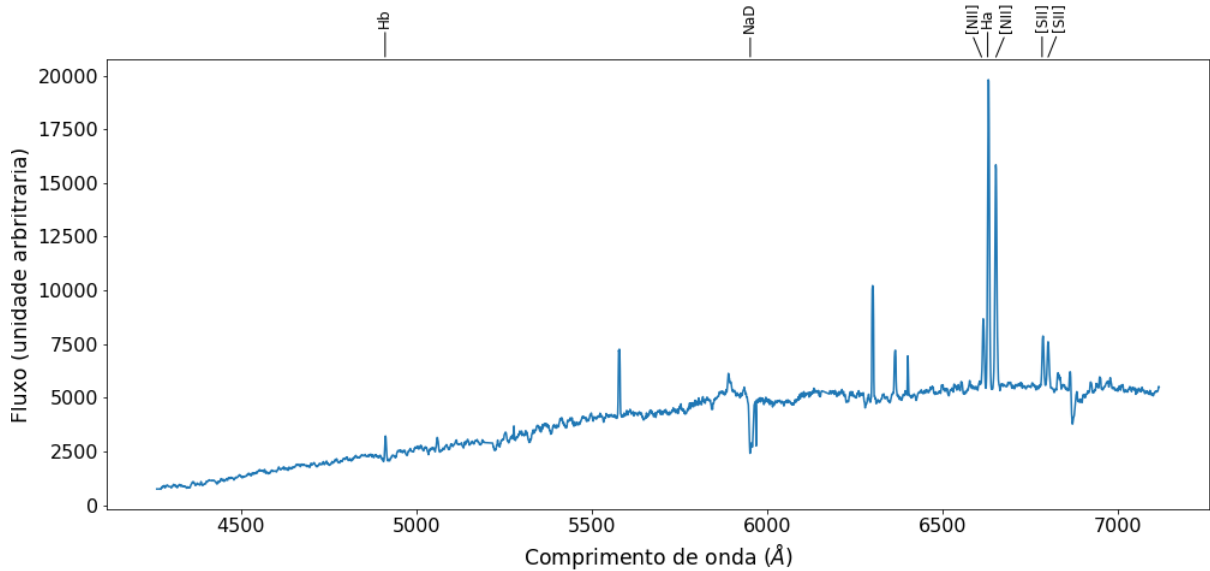


Figura 2.5: Espectro do "hot spots"1 da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através do PA 261° , ver identificação na figura 2.4.

Comparando os espectros é possível perceber que o "hot spot 1" é cerca de duas vezes mais tênue que o "hot spot 2". É notório a presença da linha de absorção NaD no comprimento de onda de 5892,938 Å nos espectros dos dois "hot spots" indicando a presença de população estelar nessa região.

2.3.2 Espectro da fenda próxima ao eixo maior da galáxia IRAS 11506-3851

Um das fendas foi colocada próxima ao eixo maior da OHMG IRAS11506-3851 com largura de $0,75''$ (ver imagem 2.4). Foi extraído 21 espectros ao longo da fenda, cada

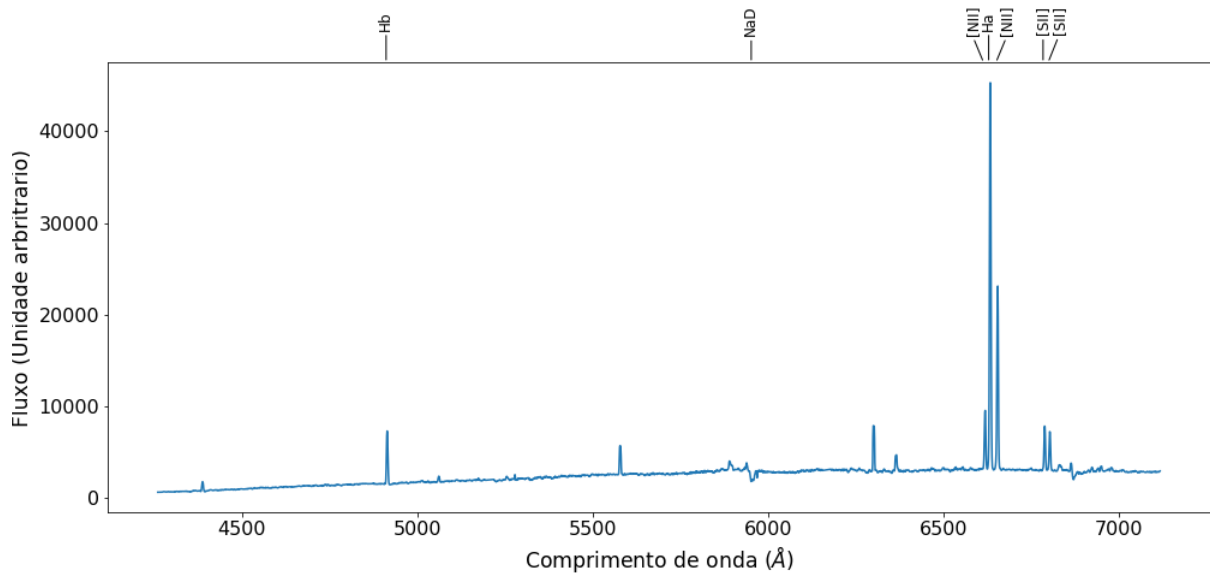


Figura 2.6: Espectro do "hot spots"2 da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através do PA 261°, ver identificação na figura 2.4.

abertura utilizada foi de 0.75". A figura 2.7 mostra o espectro da região mais brilhante dessa fenda.

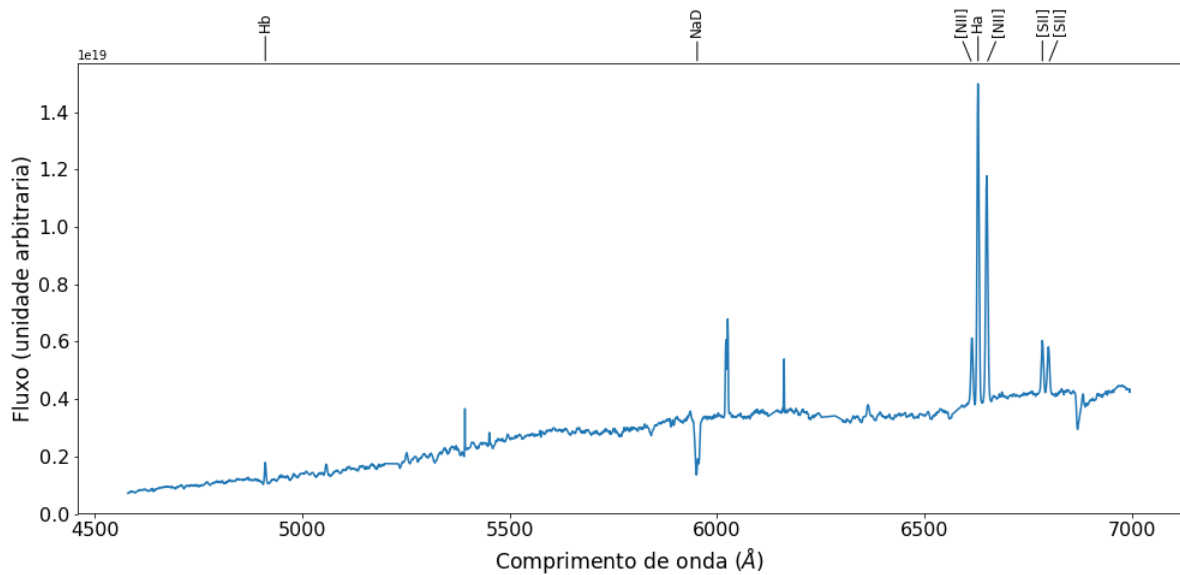


Figura 2.7: Espectro central da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através da fenda ao próxima ao eixo maior (PA 158°).

2.3.3 Espectro da fenda próxima ao eixo menor da galáxia IRAS 11506-3851

Um das fendas foi colocada próxima ao eixo menor da OHMG IRAS11506-3851 com largura de $0,75''$ (ver imagem 2.4). Foi extraído 19 espectros ao longo da fenda, cada abertura utilizada foi de $0.75''$. A figura 2.8 mostra o espectro da região mais brilhante dessa fenda.

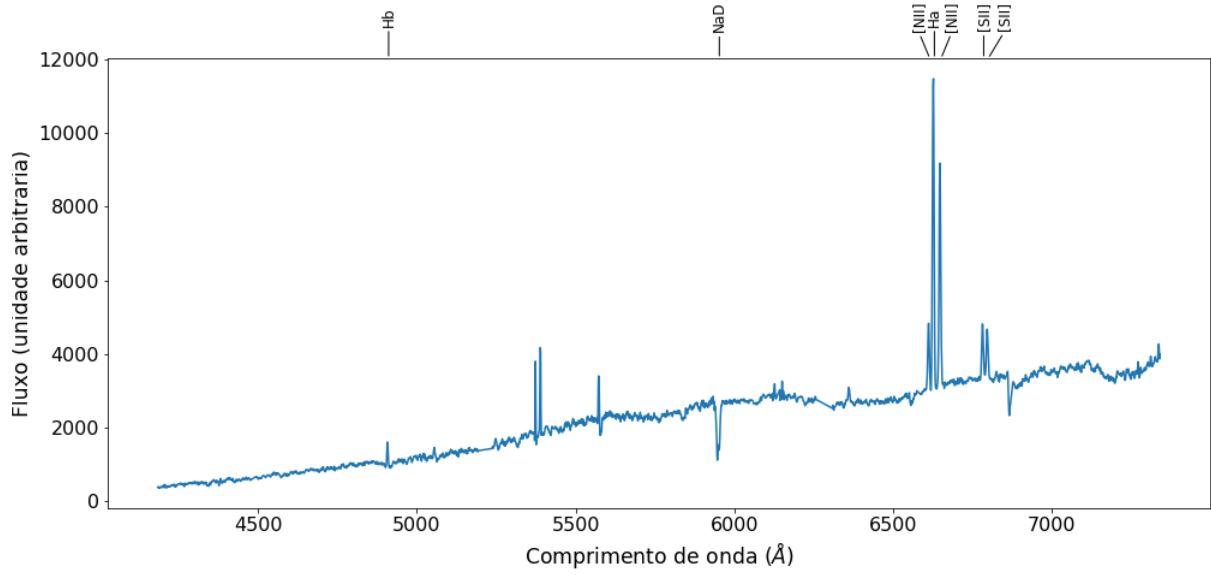


Figura 2.8: Espectro central da galáxia IRAS 11506-3851 obtido através da fenda ao próxima ao eixo menor (PA 239°).

Mecanismo de Excitação da IRAS 11506-3851

Para derivar a contribuição relativa da atividade AGN e/ou Starburst da IRAS 11506-3851 analisamos os diagramas de diagnóstico BPT e WHAN na região central da galáxia e ao longo da fenda próxima ao eixo maior.

3.1 Mecanismo de excitação nuclear da IRAS 11506-3851

Para estudar o mecanismo de excitação no núcleo da IRAS 11506-3851 foi utilizado os dados das três fendas em seus maiores picos de emissão, correspondentes aos espectros apresentados na subseção 2.3. Para as fendas com ângulo de posição de 239° e 158° foram utilizados os dados da abertura central, por outro lado, como na fenda com ângulo de posição de 261° temos dois picos de emissão foi utilizado os dados dos espectros dos nomeados "hot spots" 1 e 2.

A figura 3.1 mostra o diagrama de diagnóstico WHAN da região central da IRAS 11506-3851. Construído através das linhas de emissão de H_α e $[NII]$ o diagrama é dividido em regiões dominadas por AGN intenso (sAGN) e tênue (wAGN), formação de estrelas (SF) e AGN aposentados (RG). Podemos perceber que os pontos representando os "hot spots" estão localizados na região de sAGN, assim como regiões circun-nucleares mais intensas observadas pelas fendas próximas ao eixo maior e menor.

Este resultado demonstra que o núcleo da IRAS 11506-3851 pode está hospedando um sAGN e/ou choques devido a explosões de super-novas que imita a razão dos fluxos das linhas de sAGN no diagrama WHAN. Sendo choques de ventos de super-novas do Starburst central nosso resultado indica que presença de outflows de gás ionizado semelhante ao outflows molecular encontrado por [Pereira-Santaella et al. \(2016\)](#).

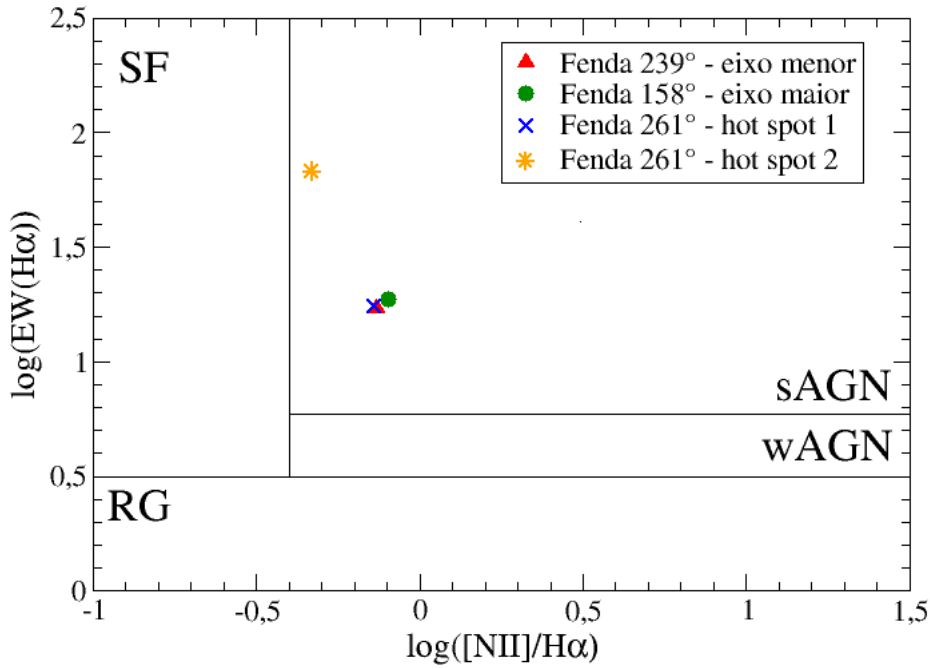


Figura 3.1: Diagrama de diagnóstico WHAN do centro da galáxia IRAS 11506-3851. No gráfico o triângulo vermelho representa o ponto central da fenda próxima ao eixo maior, o círculo verde o ponto central da fenda próxima ao eixo menor, o X azul o "hot spot 1" e a estrela amarela o "hot spot 2". Regiões de sAGN, wAGN, SF e RG são delimitadas e identificadas na imagem.

Além do resultado acima, utilizando os dados das linhas de emissão de $\text{H}\alpha$, $[\text{NII}]$, $\text{H}\beta$ e $[\text{OIII}]$ obtidos dos mesmos espectros construímos o diagrama de diagnóstico BPT representado na figura 3.2. Este diagrama é dividido em regiões denominadas de formação estelar (star forming), composta (Comp), AGN e LINER. Diferente do diagrama WHAN, o BPT possui a região composta que descreve objetos em uma fase de transição entre AGN e formação estelar.

Investigando o diagrama BPT da região central da IRAS 11506-3851 representado na figura 3.2 concluímos que, os pontos referentes aos centros das fendas com $\text{PA}=158^\circ$ e 239° juntamente com o "hot spot 1" estão localizados na região composta do diagrama, já o ponto relacionado ao "hot spot 2" é pertencente a região de formação estelar.

Comparando os dois diagramas percebemos que, coincidentemente os pontos que retratam o "hot spot 2" estão afastados dos demais três que sempre permanecem próximos. Ademais, no diagrama WHAN o ponto do "hot spot 2" encontra-se perto da região de formação estelar, mesmo estando na região de AGN, e no BPT ele se encontra na região

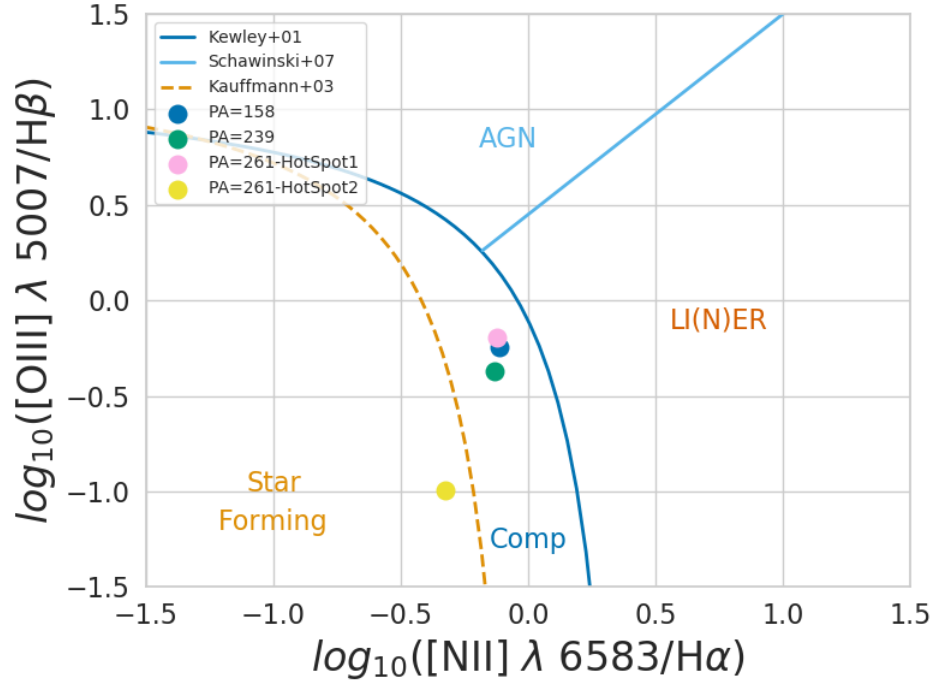


Figura 3.2: Diagrama de diagnóstico BPT do centro da galáxia IRAS 11506-3851. No gráfico o círculo azul representa o ponto central da fenda próxima ao eixo maior, o verde p ponto central da fenda próxima ao eixo menor, o rosa o "hot spot 1" e o amarelo o "hot spot 2". As regiões estão identificadas na figura.

de formação estelar.

3.2 Mecanismo de excitação ao longo da galáxia IRAS 11506-3851

Para estudarmos o mecanismo de excitação ao longo da galáxia hospedeira IRAS 11506-3851 utilizamos dados de 11 extrações ao longo da fenda próxima ao eixo maior ($\text{PA}=158^\circ$), sendo uma dessas o núcleo brilhante da IRAS 11506-3851 e 5 extrações ao longo da direção nordeste (NW) e 5 no lado sudeste (SE) da galáxia. A figura 3.3 ilustra as aberturas utilizadas.

Utilizando das informações das linhas de $\text{H}\alpha$ e $[\text{NII}]$ dos espectros ao longo da fenda construímos o diagrama de diagnóstico WHAN representado na figura 3.4. No diagrama da figura 3.4 o ponto verde representa a região central (o mesmo ponto no diagrama da figura 3.1), os triângulos azuis correspondem os espectros extraídos na direção NW e os vermelhos na direção SE.

Analisando o diagrama WHAN notamos que o centro dessa galáxia possui um sAGN e fortes ventos similar a explosões de super novas que pode ser originado por outflows do AGNs ou Starburst central. Além disso, podemos ver que as regiões externas da galáxia

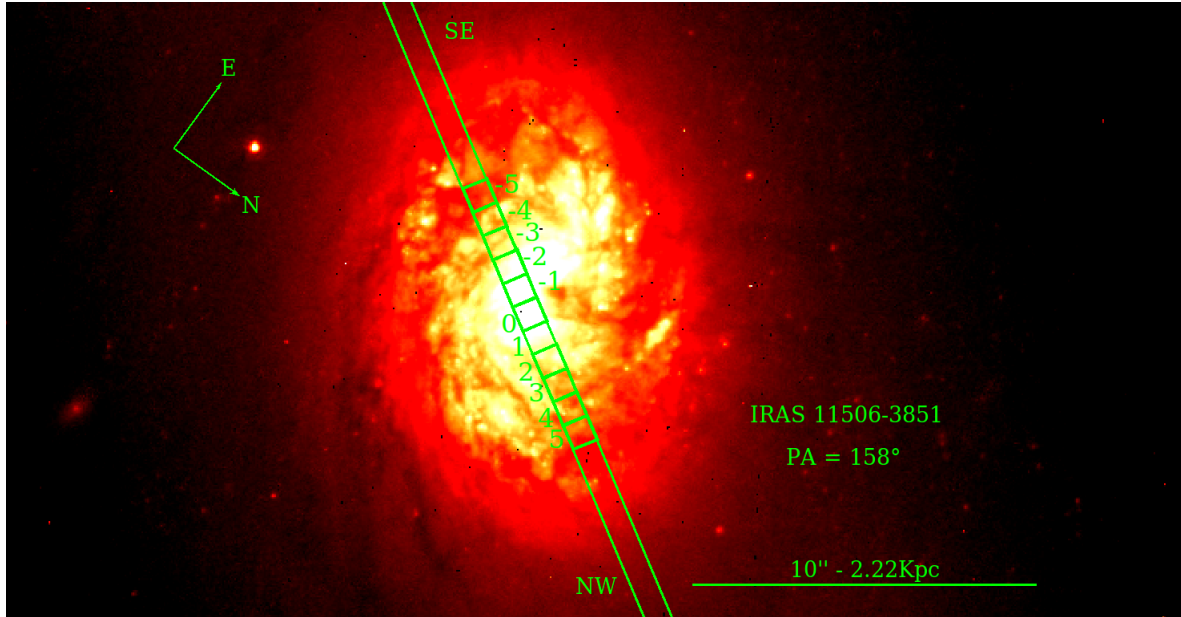


Figura 3.3: Imagem na banda i da IRAS11506-3851. A posição da fenda próxima ao eixo maior é mostrada, assim como as extrações espectrais.

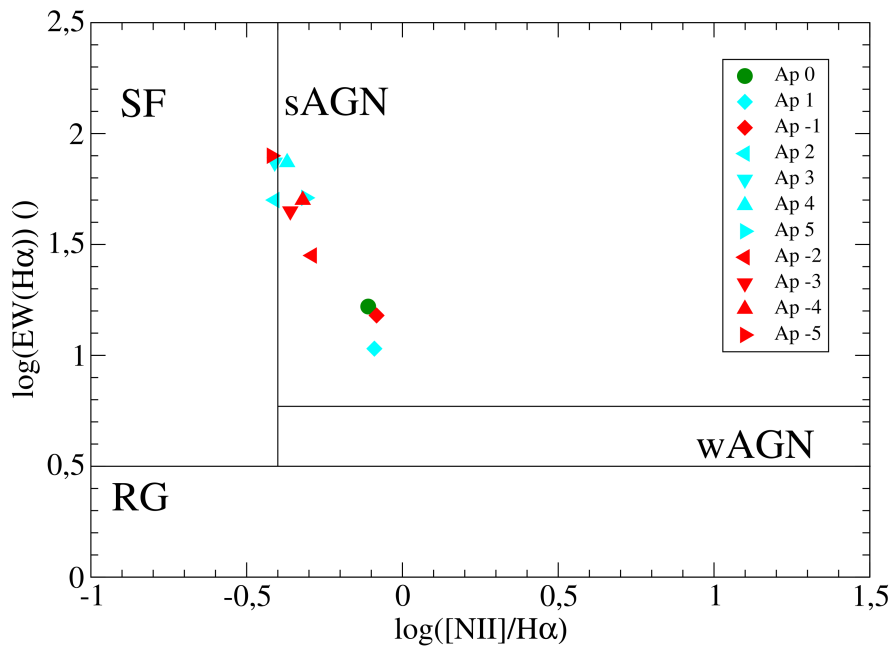


Figura 3.4: Diagrama de diagnóstico WHAN ao longo da galáxia IRAS 11506-3851. No gráfico o ponto verde representa a região central, os triângulos azuis correspondem os espectros extraídos na direção NW e os vermelhos na direção SE. As regiões estão identificadas e delimitadas na gráfico.

hospedeira estão se aproximando no diagrama da região de formação estelar, mas ainda em uma localização de transição entre sAGN e SF no diagrama.

Por outro lado, empregando as informação das linhas de emissão de H_α , $[NII]$, H_β e $[OIII]$

dos 11 espectros extraídos ao longo da fenda próxima ao eixo maior obtemos o diagrama BPT evidenciado na figura 3.5. Na figura o círculo cinza representa a região central, os rosas representam os espectros extraídos na direção NW da fenda e os azuis na direção SE.

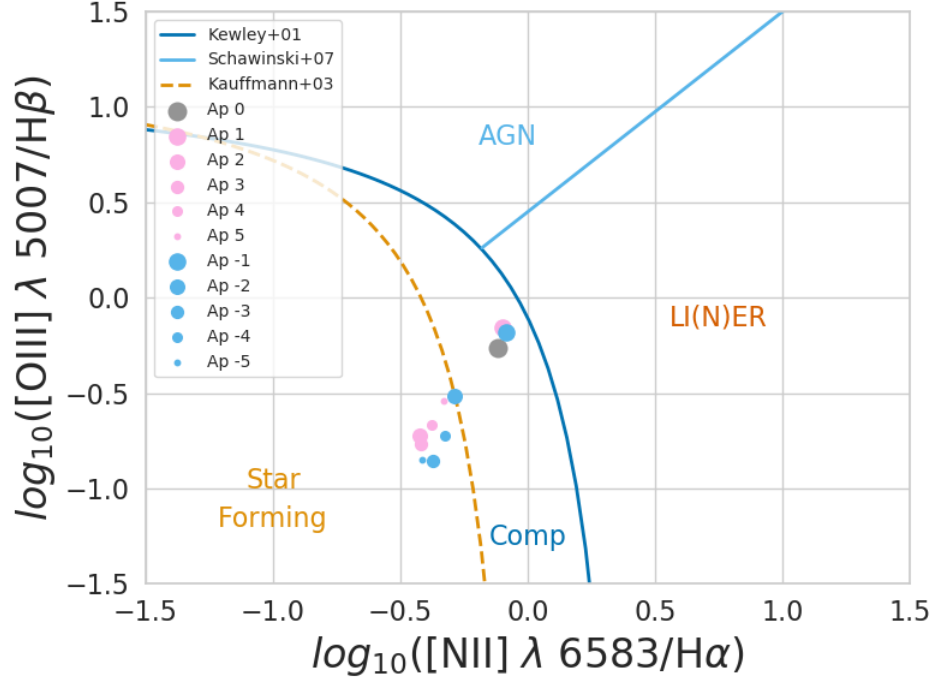


Figura 3.5: Diagrama de diagnóstico BPT ao longo da galáxia IRAS 11506-3851. No gráfico o círculo cinza representa o ponto central da fenda próxima ao eixo maior, os rosas os espectros extraídos na direção NW e os azuis na direção SE do centro da galáxia. As regiões estão identificadas e delimitadas no gráfico.

Examinando o diagrama BPT ao longo da fenda próxima ao eixo maior da IRAS 11568-3851 percebemos que o ponto central da fenda e seus vizinhos próximos estão na região composta, enquanto que os outros pontos que representam regiões mais afastadas do núcleo estão na região de formação estelar.

Comparando os dois diagramas de diagnóstico ao longo da galáxia, notamos que os pontos 'caminham' no diagrama, onde que a região central está na região/próxima de AGN e os pontos referentes a regiões externas estão na região/próximo de formação estelar.

Cinemática da OHMG IRAS 11506-3851

Este capítulo descreverá as propriedades cinemáticas observadas com os dados espectroscópico no óptico obtido pelo Gemini GMOS da OHMG IRAS 11506-3851. Para a construção da curva de rotação foram utilizadas a linha de emissão do gás ionizado, H_α , pois essa foi a linha mais brilhante em comprimento de onda do óptico.

4.1 Derivação da curva de rotação

A curva de rotação é o gráfico da velocidade rotacional pelo raio de uma galáxia. Neste trabalho a velocidade observada da galáxia foi derivada através do efeito Doppler. O efeito Doppler calcula quanto o comprimento de onda muda em relação ao deslocamento da fonte emissora e o observador. Se o comprimento de onda observado é maior que o seu valor medido em laboratório (λ_0) a fonte de radiação está se afastando do observador, assim a linha de emissão apresentará um deslocamento para o vermelho conhecido como "redshift" e utilizamos a notação da velocidade como positiva. Entretanto, se o comprimento de onda observado é menor que o seu λ_0 a fonte está se aproximando do observador, neste caso temos um deslocamento para o azul (blueshift) e convencionou-se a velocidade radial como negativa.

A figura 4.1 ilustra o deslocamento da linha de H_α ao longo da fenda próxima do eixo maior da IRAS 11506-3851 ($PA = 158^\circ$). Na figura 4.1 o espectro verde representa o centro da galáxia, os espectros vermelhos extraídos na direção sudeste da fenda, e os espectros azuis extraídos na direção noroeste da fenda. A variação relativa em comprimento de onda dos espectros noroeste e sudeste comparados com o espectro do núcleo da galáxia é claramente demonstrado na figura 4.1, o que leva a concluir que o gás na direção noroeste

está se afastando do centro enquanto o gás na região sudeste está se aproximando do centro. Portanto, é possível inferir que ao longo do eixo maior a OHMG IRAS 11506-3851 possui um padrão de rotação simétrico.

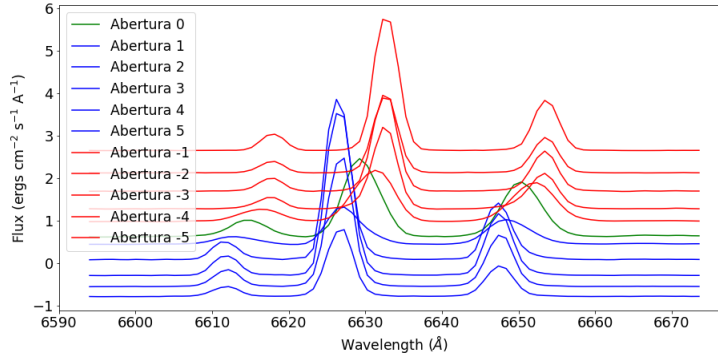


Figura 4.1: Espectros com comprimento de onda não corrigidos da fenda posicionada próxima ao eixo maior da galáxia na região das linhas de emissão H_α e $[N_{II}]$. Espectro verde é referente ao centro da IRAS 11506-3851, os vermelhos foram extraídos em direção sudeste, e os espectros azuis em direção a noroeste da galáxia.

A velocidade do gás observado na linha de visada do observador é obtida diretamente a partir da expressão do deslocamento Doppler relativístico, cuja equação é dado por

$$V_{obs} = c \frac{\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2 + 1}. \quad (4.1)$$

Na equação c corresponde a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda observado e λ_0 é o comprimento de onda obtido em laboratório.

Para derivarmos a velocidade radial e rotacional do gás ao longo da galáxia devemos realizar algumas projeções, onde levamos em conta a inclinação da galáxia e a posição das fendas. Para realizar essa tarefa, definimos dois sistemas de coordenadas, cada um deles em relação a um determinado plano: um deles é perpendicular à linha de visada, enquanto o outro é perpendicular ao eixo polar da galáxia de modo que o ângulo de inclinação entre esses planos seja o ângulo de inclinação da galáxia (ver ângulo i na figura 4.2). Assim, se definirmos esses sistemas de coordenadas de forma que o eixo x e $\bar{x}$ sejam paralelos e coincidam com o eixo principal da galáxia, conforme visto pelo observador, podemos relacionar a posição de uma estrela sobre o plano da galáxia e o plano do observador.

Considerando um ponto no plano da galáxia (como por exemplo uma estrela), com a posição R e θ (ver figura 4.2) e cuja velocidade nessa base de coordenadas é

$$V_*(R, \theta) = (V_R \cos \theta - V_{rot} \sin \theta) \hat{x} + (V_R \sin \theta + V_{rot} \cos \theta) \hat{y} \quad (4.2)$$

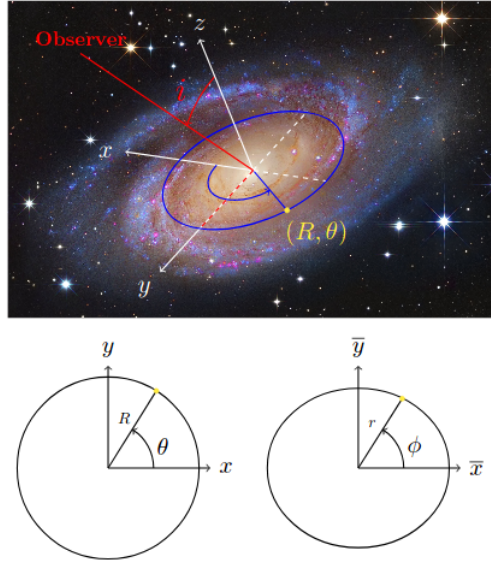


Figura 4.2: Configuração usada para derivar a curva de rotação de observações. No topo, temos a trajetória (curva azul) seguida por uma estrela (ponto amarelo) com coordenadas polares (R, Θ) , com relação ao sistema de coordenadas da galáxia. Podemos ver que a galáxia está inclinada em relação à linha de visão do observador (vermelha) por um ângulo. Na parte inferior, temos a representação de uma trajetória, como é visto no plano da galáxia (esquerda) e no plano do observador (direita), com suas respectivas coordenadas polares, onde foi considerado que o eixo x é paralelo ao longo do eixo maior da galáxia $\bar{x}$. A galáxia usada nesta ilustração (acima) corresponde à galáxia espiral M81, créditos: <https://apod.nasa.gov/apod/ap141119.html>

Neste caso, o observador é capaz de medir apenas a componente da velocidade ao longo de sua linha de visão, ou seja, $\bar{z}$, que é dada por $\hat{z}V_*$. Portanto, levando em conta que, a partir de nossa configuração, as relações $\bar{x} = \hat{x}$, e $y = \cos i \hat{y} + \sin i \hat{z}$ são satisfeitas, a velocidade medida pelo observador é dada pela seguinte equação

$$V_{obs} = V_{sys} + V_{rot} \sin i \cos \theta + V_R \sin i \sin \theta. \quad (4.3)$$

Onda V_{sys} é um termo aditivo e corresponde à velocidade do centro da galáxia e V_R e V_{rot} representa a velocidade na direção radial e tangencial (rotacional), respectivamente. Assumido que V_R pode ser negligenciado, portando, da equação 4.3 temos que a velocidade rotacional é descrita como:

$$V_{rot} = \frac{V_{obs} - V_{sys}}{\sin i \cos \theta}, \quad (4.4)$$

onde θ é o ângulo entre o eixo maior da galáxia e o ângulo da posição de fenda, i é o ângulo de inclinação da galáxia ($37 \pm 3^\circ$ (Bellocchi et al., 2013)). Portanto, quando a V_{obs}

for igual a V_{sys} notoriamente a V_{cir} será nula correspondendo ao centro da galáxia.

4.1.1 Incerteza no cálculo da velocidade rotacional

Para determinar a incerteza no valor da velocidade rotacional da IRAS 11506-3851 foi adotado a fórmula empírica introduzida por Keel (1996) utilizada nos trabalhos de Schmidt et al. (2019), Peters e Kuzio de Naray (2017) e Hernandez-Jimenez et al. (2013).

De acordo com Keel (1996) para uma linha de emissão observada com um comprimento de onda λ (Å), uma FWHM $\Delta\lambda$ e uma intensidade I (em contagens), sobreposto a um contínuo com ruído σ_{cont} (em ADU) o erro da velocidade radial é escrito como

$$\sigma = \frac{0.8\sigma_{cont}c(\Delta\lambda)^{1.5}}{I\lambda d^{0.5}}, \quad (4.5)$$

onde c é a velocidade da luz e d é a dispersão espectral (Å/pixel).

4.1.2 Propriedades físicas da linha de emissão de $H\alpha$ da IRAS 11506-3851

As velocidades rotacionais foram derivadas a partir da medida do centroides das curvas Gaussianas ajustadas aos perfis da linha de emissão mais intensa $H\alpha$ ($\lambda 6563$) através da tarefa *splot* do *iraf*.

As propriedades físicas como largura equivalente (EQW, do inglês *equivalent width*), largura a meia altura (FWHM, do inglês *full width at half maximum*) e fluxo integrado da linha de emissão de $H\alpha$ estão demonstradas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Propriedade físicas das linhas de emissão de $H\alpha$ observadas na galáxia IRAS11506-3851.

Abertura (1)	R (2)	$\lambda_{obs} H\alpha$ (3)	Fluxo $H\alpha$ (4)	EQW $H\alpha$ (5)	FWHM $H\alpha$ (6)
Fenda ao longo dos "hot spots" (PA = 261°)					
1	0	6631.93	87917	-16.09	5.577
2	0.32	6633.73	53389	-12.98	5.052
3	0.46	6634.04	112000	-33.16	4.366
4	0.69	6633.96	204952	-64.3	4.364
5	0.92	6633.97	203305	-67.57	4.377
6	1.15	6634.05	60228	-56.4	4.54
7	1.32	6633.78	21035	-15.84	5.096
8	1.61	6633.57	15387 -10.85	5.534	
Continua na próxima página...					

Tabela 4.1 - Continuação

Abertura	R	$\lambda_{obs} \text{ H}\alpha$	Fluxo $\text{H}\alpha$	EQW $\text{H}\alpha$	FWHM $\text{H}\alpha$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
9	-0.32	6631.93	87476	-16.19	5.557
10	-0.46	6630.3	129422	-46.22	4.327
11	-0.69	6630.38	139051	-71.57	4.279
12	-0.92	6630.41	53885	-40.9	4.328
13	-1.15	6630.33	17183	-20.37	4.556
14	-1.38	6630.51	14569	-15.95	4.617
Fenda próxima ao eixo maior (PA=158°)					
0	0	6629.49	63942	-16.66	5.367
1	0.172	6627.3	29612	-10.79	4.828
2	0.344	6626.45	92046	-51.23	3.602
3	0.516	6626.59	97408	-75.82	3.681
4	0.688	6626.72	76044	-74.88	3.731
5	0.86	6626.7	40670	-51.91	3.839
6	1.032	6626.44	31763	-54.5	3.586
7	1.204	6626.38	33154	-61.97	3.466
8	1.376	6626.65	20292	-22.33	3.754
9	1.548	6627.08	14975	-14.03	4.112
10	1.72	6627.28	11869	-14.04	4.026
11	-0.172	6631.15	46895	-15.32	5.61
12	-0.344	6632.52	47516	-28.69	3.726
13	-0.516	6632.56	55545	-44.93	3.602
14	-0.688	6632.63	43367	-50.31	3.576
15	-0.86	6632.73	76259	-77.89	3.554
16	-1.032	6632.72	76010	-77.05	3.552
17	-1.204	6632.97	44215	-73.72	3.542
18	-1.376	6632.93	30330	-20.15	3.683
19	-1.548	6632.71	28749	-12.06	3.85
20	-1.72	6632.59	20536	-6.532	4.03
Fenda próxima ao eixo menor (PA=239°)					
0	0	6625.87	52781	-16.86	5.701
1	0.172	6626.09	39056	-15.42	5.912
2	0.344	6626.32	38003	-19.91	5.228
3	0.516	6626.4	69072	-44.33	4.254
4	0.688	6626.59	100267	-75.08	3.96
5	0.86	6626.77	81061	-86.46	3.933
6	1.032	6626.83	41379	-67.11	4.024
7	1.204	6626.76	17171	-43.18	4.464
8	1.376	6626.54	15585	-21.35	4.99
9	1.548	6626.44	12434	-15.14	5.083
10	1.72	6626.39	10431	-14.13	5.048
11	-0.172	6625.49	58073	-25.62	4.884
12	-0.344	6625.25	73430	-44.89	4.128
13	-0.516	6625.1	65240	-57.9	3.908

Continua na próxima página...

Tabela 4.1 - Continuação

Abertura	R	$\lambda_{obs} \text{ H}\alpha$	Fluxo $\text{H}\alpha$	EQW $\text{H}\alpha$	FWHM $\text{H}\alpha$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
14	-0.688	6625.03	34330	-45.17	4.023
15	-0.86	6625.33	17905	-34.71	4.135
16	-1.032	6625.71	13733	-39.22	3.913
17	-1.204	6625.68	12681	-32.06	4.441
18	-1.376	6625.69	11477	-19.77	5.68

Notas:

- (1) Número da abertura da fenda.
- (2) Distância radial do centro a extremidade da galáxia em unidade de Kpc.
- (3) Comprimento de onda observado de $\text{H}\alpha$ em unidade $\text{\AA}$.
- (4) Fluxo em contagem da linha de $\text{H}\alpha$.
- (5) Largura equivalente da linha de $\text{H}\alpha$.
- (6) Largura a meia altura da linha de $\text{H}\alpha$.

4.2 Curvas de Rotação da OHMG IRAS 11506-3851

Utilizando os dados da linha de emissão de $\text{H}\alpha$ presente em todos os espectros das 3 posições de fendas demonstrados na tabela 4.1, calculamos a velocidade observada e a rotacional da IRAS 11506-3851 e construímos as seguintes curvas de rotação (CR).

4.2.1 Curva de Rotação ao longo dos 'hot spots'

A figura 4.3 apresenta a curva de rotação da IRAS 11506-3851 obtida ao longo da fenda de observação com angulo de posição de $\text{PA}=261^\circ$ e que passa nos "hot spots". A identificação espacial das aberturas utilizadas para a extração dos espectros podem ser vista na figura 4.4. É possível notar que a CR ao longo dessa posição da IRAS 11506-3851 alcança valor máximo de aproximadamente $160 \pm 32 \text{ km/s}$ em "redshift" e $121 \pm 13 \text{ km/s}$ em "blueshift".

A tabela 4.2 mostra os dados da posição, velocidade observada e velocidade rotacional correspondentes a cada abertura que foi usada para construir a curva de rotação mostrada na figura 4.3. Neste caso temos que a $V_{sis} \sim 3140.35 \text{ km/s}$ e foi derivado na centro da galáxia IRAS 11506-3851 onde identificamos o ponto de maior brilho.

Podemos ver na CR ao longo da fenda com os 'hot spots' da IRAS 11506-3851 (figura 4.3) a presença de um excesso de velocidade em "blueshift" com valor de $\sim 121 \pm 13 \text{ km/s}$ em

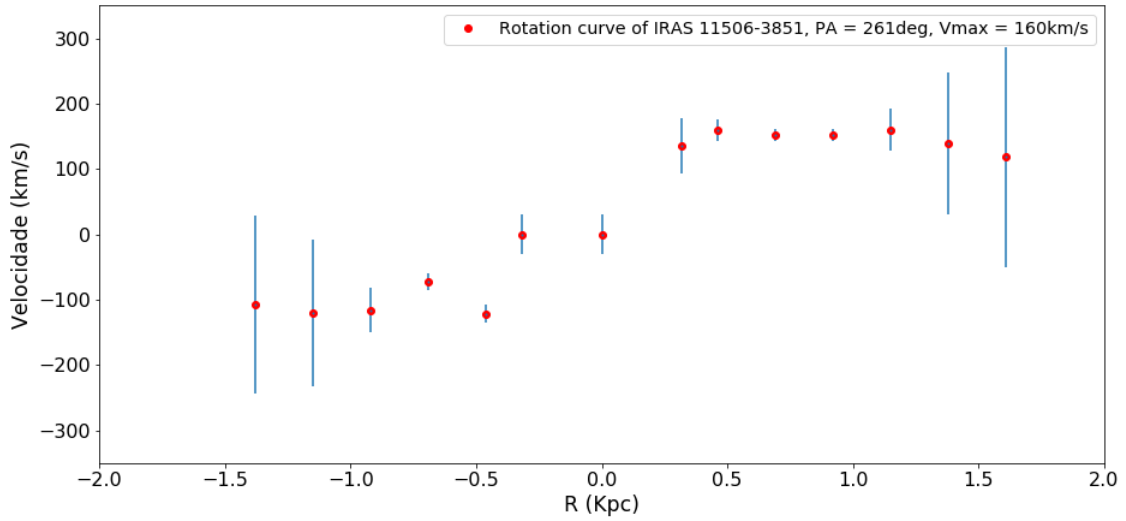


Figura 4.3: Curva de rotação obtida ao longo do eixo que contém os 'hot spots' ($PA=261^\circ$) utilizando a linha de emissão H_α da galáxia IRAS 11506-3851. No lado esquerdo do gráfico temos as velocidades na direção leste (E) da galáxia, no lado direito temos as velocidades na direção oeste (W). A linha sólida mostra a interpolação entre ps pontos observados.

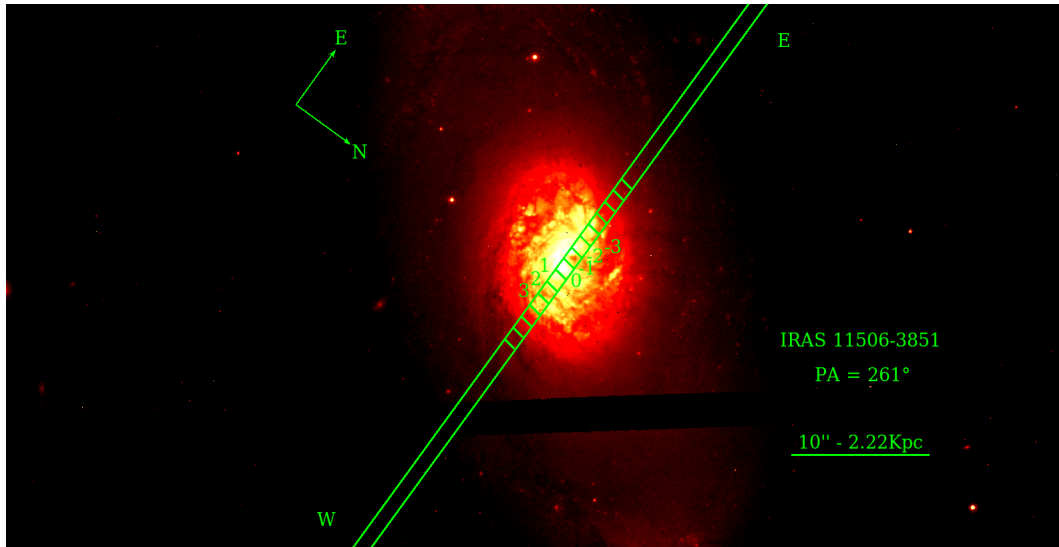


Figura 4.4: Representação das aberturas utilizadas para a extração dos espectros e das velocidades radiais ao longo da fenda de $PA=261^\circ$.

-0.46Kpc. Isto demonstra uma evidência de material que pode ser associado a "outflow" de gás vindo do centro da IRAS 11506-3851. Esse resultado mostra uma correlação espacial com "outflows" de gás molecular observado por [Pereira-Santaella et al. \(2016\)](#) desta galáxia usando mapas de CO detectados pelo interferômetro ALMA.

Tabela 4.2 - Velocidade observada e rotacional determinadas através da linha de $H\alpha$ ao longo da fenda dos "hot spot" (PA=261°).

Abertura	R (Kpc)	Vobs (Km/s)	Vobs-Vsis (Km/s)	Vrot (Km/s)	σ	Vrot $\pm\sigma$ (Km/s)
1	0	3140.35	0	0	29	0 $\pm$ 29
2	0.32	3221.70	81.34	135.85	42	135 $\pm$ 42
3	0.46	3236.16	95.80	160.00	16	160 $\pm$ 16
4	0.69	3231.64	91.28	152.46	9	152 $\pm$ 9
5	0.92	3231.64	91.28	152.46	9	152 $\pm$ 9
6	1.15	3236.16	95.80	160.00	32	160 $\pm$ 32
7	1.38	3223.96	83.60	139.63	109	139 $\pm$ 109
8	1.61	3211.30	70.95	118.50	168	118 $\pm$ 168
9	-0.32	3140.35	0	0	29	0 $\pm$ 29
10	-0.46	3067.57	-72.78	-121.55	13	-121 $\pm$ 13
11	-0.69	3097.41	-42.94	-71.71	12	-71 $\pm$ 12
12	-0.92	3071.19	-69.16	-115.50	33	-115 $\pm$ 33
13	-1.15	3068.47	-71.87	-120.04	112	-120 $\pm$ 112
14	-1.38	3076.61	-63.73	-106.44	135	-106 $\pm$ 135

4.2.2 Curva de Rotação através da fenda próxima ao eixo maior

A figura 4.5 apresenta a curva de rotação da IRAS 11506-3851 obtida ao longo da fenda que está próxima ao eixo principal (PA=158°). A identificação espacial das aberturas utilizadas para a extração dos espectros podem ser vista na figura 3.3.

A tabela 4.3 mostra os dados da posição, velocidade observada e velocidade rotacional correspondentes a cada abertura. Neste caso temos que a $V_{sis} = 3030.04$ km/s.

Tabela 4.3 - Velocidade observada e rotacional determinadas usando a linha de $H\alpha$ através da fenda próxima ao eixo maior da galáxia (PA=158°).

Abertura	R (Kpc)	Vobs (Km/s)	Vobs-Vsis (Km/s)	Vrot (Km/s)	σ	Vrot $\pm\sigma$ (Km/s)
0	0	3030.04	0	0	39	0 $\pm$ 30
1	0.172	2931.00	-99.04	-165.40	73	-165 $\pm$ 73
2	0.344	2898.55	-137.49	-229.62	15	-229 $\pm$ 15
3	0.516	2898.88	-131.15	-219.04	14	-219 $\pm$ 14
4	0.688	2904.76	-125.27	-209.22	19	-209 $\pm$ 19

Continua na próxima página...

Tabela 4.3 - Continuação

Abertura	R (Kpc)	Vobs (Km/s)	Vobs-Vsis (Km/s)	Vrot (Km/s)	σ	Vrot $\pm\sigma$ (Km/s)
5	0.86	2903.86	-126.18	-210.73	37	-210 $\pm$ 37
6	1.032	2898.10	-137.94	-230.37	43	-230 $\pm$ 43
7	1.204	2889.38	-140.65	-234.91	39	-234 $\pm$ 39
8	1.376	2901.60	-128.44	-214.51	73	-214 $\pm$ 73
9	1.548	2921.05	-108.99	-182.02	114	-182 $\pm$ 114
10	1.72	2930.10	-99.94	-66.91	139	-66 $\pm$ 139
11	-0.172	3105.09	75.04	125.34	58	125 $\pm$ 58
12	-0.344	3167.02	136.97	228.76	30	228 $\pm$ 30
13	-0.516	3168.82	138.78	231.77	25	231 $\pm$ 25
14	-0.688	3171.99	141.94	237.06	31	141 $\pm$ 31
15	-0.86	3176.51	146.46	244.61	17	146 $\pm$ 17
16	-1.032	3176.05	146.01	243.85	18	243 $\pm$ 18
17	-1.204	3187.35	157.31	262.72	30	262 $\pm$ 30
18	-1.376	3185.54	155.50	259.70	47	259 $\pm$ 47
19	-1.548	3175.60	145.56	243.10	53	145 $\pm$ 53
20	-1.72	3170.18	140.14	234.04	80	140 $\pm$ 80

A CR construída próxima ao eixo maior da galáxia IRAS 11506-3851 é a que possui as maiores amplitudes de velocidade tanto em "blueshift", com valores de $\sim -234 \pm 39$ km/s, quanto em "redshift" com valores de $\sim 262 \pm 30$ km/s.

4.2.3 Curva de Rotação através da fenda próxima ao eixo menor

A figura 4.6 apresenta a CR da IRAS 11506-3851 obtida ao longo da fenda próxima ao eixo menor com angulo de posição de $PA = 239^\circ$.

A tabela 4.4 mostra os dados da posição, velocidade observada e velocidade rotacional correspondentes a cada abertural. Neste caso temos que a $V_{sis} = 2866,31$ km/s.

Tabela 4.4 - Velocidade observada e rotacional determinadas usando a linha de $H\alpha$ através da fenda próxima ao eixo menor da galáxia ($PA=239^\circ$).

Abertura	R (Kpc)	Vobs (Km/s)	Vobs-Vsis (Km/s)	Vrot (Km/s)	σ	Vrot $\pm\sigma$ (Km/s)
0	0	2866.31	0	0	53	0 $\pm$ 53
1	0.172	2875.81	9.50	15.86	75	15 $\pm$ 75

Continua na próxima página...

Tabela 4.4 - Continuação

Abertura	R (Kpc)	Vobs (Km/s)	Vobs-Vsis (Km/s)	Vrot (Km/s)	σ	Vrot $\pm\sigma$ (Km/s)
2	0.344	2884.86	18.54	30.97	64	30 $\pm$ 64
3	0.516	2890.29	23.97	40.04	26	40 $\pm$ 26
4	0.688	2899.34	33.02	55.15	16	55 $\pm$ 16
5	0.86	2907.03	40.71	67.99	19	67 $\pm$ 19
6	1.032	2910.19	43.88	73.28	39	73 $\pm$ 39
7	1.204	2906.59	40.26	67.24	112	67 $\pm$ 112
8	1.376	2896.62	30.31	50.62	146	50 $\pm$ 146
9	1.548	2891.65	25.33	42.31	188	42 $\pm$ 188
10	1.72	2888.93	22.61	37.77	222	37 $\pm$ 222
11	-0.172	2849.57	-16.73	-27.95	38	-27 $\pm$ 38
12	-0.344	2838.26	-28.05	-46.84	23	-46 $\pm$ 23
13	-0.516	2831.47	-34.83	-58.18	24	-58 $\pm$ 24
14	-0.688	2828.76	-37.55	-62.71	48	-62 $\pm$ 48
15	-0.86	2841.43	-24.88	-41.55	96	-41 $\pm$ 96
16	-1.032	2859.07	-7.23	-12.08	115	-12 $\pm$ 115
17	-1.204	2857.26	-9.04	-15.11	151	-15 $\pm$ 151
18	-1.376	2857.26	-9.05	-14.35	241	-14 $\pm$ 241
19	-1.548	-	-	-	-	-
20	-1.72	-	-	-	-	-

A curva de rotação referente a fenda com $PA = 239^\circ$ é a que menos possui variação de velocidade ao longo da fenda, isto se deve ao fato da fenda estar próxima ao eixo menor da galáxia. A curva é aproximadamente simétrica, onde a velocidade possui um aumento lento e constante até seu pico de 73 km/s em 1.03 Kpc. Esta curva não possui um crescimento rápido nos primeiros pontos diferente das outras curvas, entretanto, existe um excesso de velocidade vindo na direção do observador ("blueshift") entre 500pc até 1kpc. Esse material também foi detectado em gás molecular por [Pereira-Santaella et al. \(2016\)](#). Esses autores não encontraram evidência de gás ionizado nessa região, mas o estudo apresentado aqui mostra uma clara evidência de gás ionizado na região que nomeamos como "hot spots", onde pode demonstrar uma evidência de "outflows" vindo do núcleo ativo da OHMG IRAS 11506-3851.

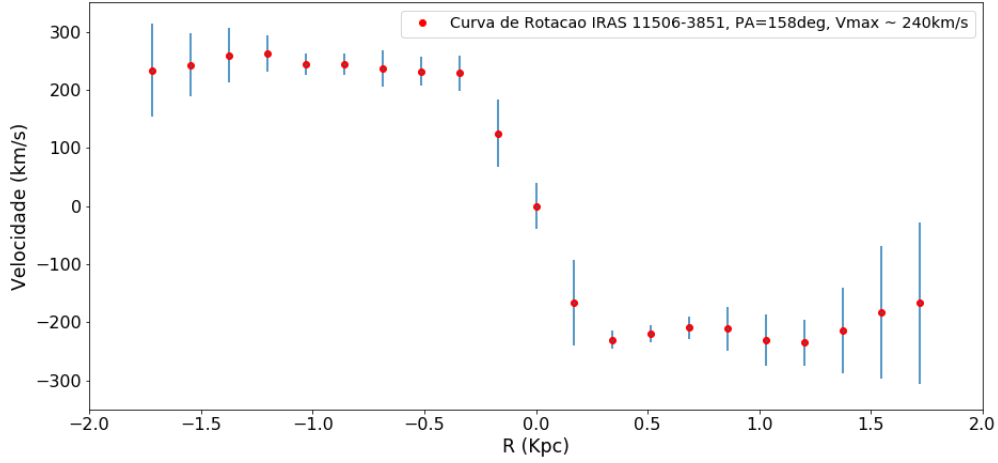


Figura 4.5: Curva de rotação obtida ao longo da fenda próxima ao eixo maior ($PA=158^\circ$) utilizando a linha de emissão H_α da galáxia IRAS 11506-3851. No lado esquerdo do gráfico temos as velocidades na direção sudeste (SE) da galáxia, no lado direito temos as velocidades na direção noroeste (NW). A linha sólida mostra a interpolação entre ps pontos observados.

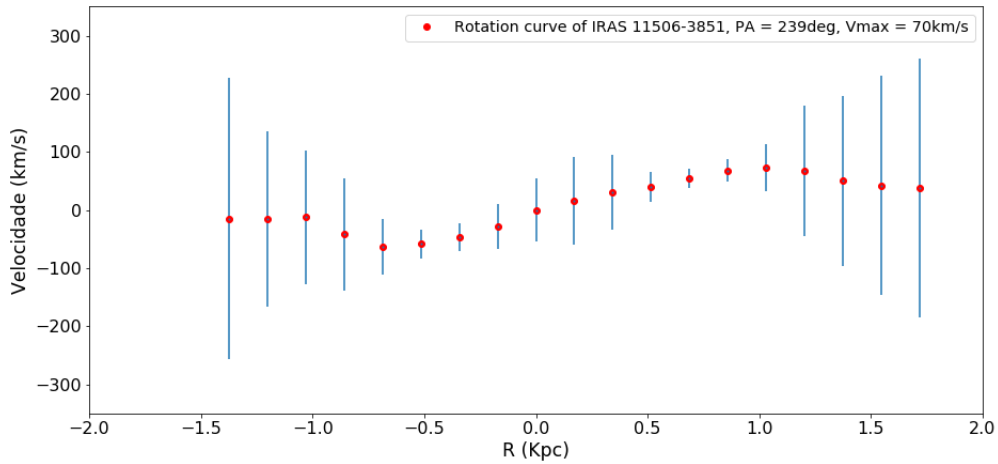


Figura 4.6: Curva de rotação obtida ao longo da fenda próxima ao eixo menor ($PA=239^\circ$) utilizando a linha de emissão H_α da galáxia IRAS 11506-3851. No lado esquerdo do gráfico temos as velocidades na direção nordeste (NE) da galáxia, no lado direito temos as velocidades na direção sudoeste (SW). A linha sólida mostra a interpolação entre ps pontos observados.

Dinâmica da OHMG IRAS 11506-3851

A distribuição de massa de uma galáxia em geral é modelada como a soma das componentes como bojo, disco e halo. Para as componentes bojo e disco, podemos assumir que suas distribuições de luminosidade seguem as respectivas distribuições de massa, com uma dada razão massa luminosidade (M/L) (Kent, 1987). Se adotarmos essa hipótese, podemos obter a distribuição de massa de cada componente a partir dos perfis de brilho superficial do bojo que pode ser descrito por uma função de Miyamoto-Nagai e do disco que segue a função de Freeman, com suas respectivas razões M/L. Uma vez obtida a distribuição de massa das componentes “luminosas” da galáxia, a distribuição de massa do halo (componente “escura”) pode ser parametrizada ou derivada da curva de rotação observada através do perfil de Navarro-Frenk-White.

A modelagem das curvas de rotação da IRAS 11506-3851 foi realizada com o algoritmo livre **GalRotPy** (Granados et al., 2017) desenvolvido na linguagem python.

5.1 Estrutura do algoritmo *GalRotPy*

GalRotpy é uma ferramenta baseada em python para parametrizar a curva de rotação e o potencial das galáxias tipo espirais. Este algoritmo pretende derivar a contribuição de cada componente da massa de galáxias espirais e sua contribuição para a curva de rotação. Este software foi desenvolvido por Granados et al. (2017) e está disponível e hospedado no site: <https://github.com/andresGranadosC/GalRotpy>.

O potencial gravitacional das galáxias tipo espirais é modelado a partir da contribuição de um potencial de Miyamoto-Nagai para o núcleo e o disco espesso, um potencial exponencial para o disco e um potencial de NFW (Navarro-Frenk-White) para a matéria escura.

Essas contribuições são implementadas no GalRotpy através do pacote *galpy* e descrevemos eles a seguir:

Descreveremos a seguir os potenciais utilizados no GalRotPy :

1. **Potencial Miyamoto-Nagai:** O potencial Miyamoto-Nagai é uma generalização dos potenciais Plummer e Kuzmin. Ele é um potencial assimétrico definido em coordenadas cilíndricas (R, z) como:

$$\Phi_{MN}(R, z) = -\frac{GM}{\sqrt{R^2 + (a + \sqrt{z^2 + b^2})^2}}, \quad (5.1)$$

onde, a , b e M são a escala de comprimento, altura e massa envolvida na distância galactocêntrica R (amplitude), respectivamente.

Desta equação podemos obter um potencial esférico em dois casos, quando $a = 0$ temos o modelo de Plummer, ou quando $b = 0$ temos um modelo de Kuzmin (Miyamoto e Nagai, 1975). Portanto, este potencial foi utilizado para descrever o bojo e o disco espesso da galáxia.

2. **Potencial de disco exponencial:** Para o disco de uma galáxia podemos supor que a relação massa/luminosidade seja aproximadamente uniforme, assim a densidade da superfície do disco pode ser escrita como:

$$\Sigma_d(R) = \Sigma_0 \exp(-R/h_r), \quad (5.2)$$

onde, Σ_0 é a densidade de massa da superficial central e h_r é a escala radial (Freeman, 1970).

3. **Potencial Navarro-Frenk-White (NFW):** é uma distribuição espacial de massa para descrever a matéria escura presente no halo das galáxias. Essa componente foi sugerido por Julio Navarro, Carlos Frenk e Simon White. O perfil NFW é um dos perfis de modelo mais comumente usados para halos de matéria escura, e ele é descrito como:

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{(r/a)(1 + r/a)^2}, \quad (5.3)$$

onde, a tem escala de raio e ρ_0 representa a densidade (Navarro et al., 1997).

O programa requer dois arquivos de entrada, são eles: (i) informações sobre as velocidades em km/s de cada posição da galáxia e (ii) valores iniciais da massa para cada

componente e as escalas galactocêntricas de distância e altura da galáxia em unidades de kpc

A saída do GalRotpy possui dois arquivos, são eles: (i) imagem com o resultado do ajuste da curva de rotação da galáxias e (ii) tabela com os valores das componentes ajustadas e suas incertezas com o quantis de 68% e 95% para cada componente.

5.2 Propriedades dinâmicas da OHMG IRAS 11506-3851

Neste trabalho o ajuste da curva de rotação da IRAS 11506-3851 foi realizado somente através dos dados obtidos da fenda próxima ao eixo maior (PA=158°) utilizando o algoritmo GalRotPy. Foi realizado uma juste considerando a componente do bojo, disco espesso, disco exponencial e matéria escura.

A figura 5.1 mostra o ajuste da curva de rotação derivada para o eixo de 158° próximo ao eixo maior da galáxia IRAS 11506-3851 usando componentes do bojo (linha cinza), disco espesso (linha azul), disco exponencial (linha azul claro) e matéria escura (linha verde). O resultado do melhor ajuste está mostrado na linha vermelha da figura 5.1 e podemos perceber que a componente que domina a emissão é o bojo da galáxia.

A tabela 5.1 apresenta os resultados finais das massas e parâmetros utilizados para o ajuste de cada componente da curva de rotação do eixo de 158°, próximo ao eixo maior da IRAS 11506-3851.

Tabela 5.1 - Propriedades dinâmicas derivada pelo GalRotpy para eixo de 158°, próximo ao eixo maior da IRAS 11506-3851.

Parâmetro	Unidade	95% (-)	68% (-)	FIT	95% (+)	68% (+)	[0.5ex]
Bojo							
b	Kpc	0,013	0,012	0,32	0,009	0,012	
M_{bojo}	$M_{\odot}$	$1,2 \times 10^8$	$9,7 \times 10^7$	1×10^9	$1,2 \times 10^8$	$1,4 \times 10^8$	
Disco espesso							
a	Kpc	0,45	0,34	2,08	0,44	0,49	
b	Kpc	0,46	0,33	4,22	0,44	0,49	
M_{DG}	$M_{\odot}$	2×10^9	$1,8 \times 10^9$	$1,9 \times 10^{10}$	$1,4 \times 10^9$	$1,8 \times 10^9$	
Disco exponencial							
h_r	Kpc	0,76	0,69	1,2	0,53	0,70	
Σ_0	$M_{\odot}/pc^2$	154	139	158	109	141	
M_{DE}	$M_{\odot}$	$1,4 \times 10^9$	$1,4 \times 10^9$	$1,4 \times 10^9$	$3,7 \times 10^9$	$5,4 \times 10^9$	

Continua na próxima página. . .

Tabela 5.1 - Continuação

Parâmetro	Unidade	95% (-)	68% (-)	FIT	95% (+)	68% (+)	[0.5ex]
NFW							
a	Kpc	3,49	2,68	7,06	3,44	3,82	
$M_{0escura}$	$M_{\odot}$	$6,2 \times 10^9$	$5,6 \times 10^9$	$4,9 \times 10^{10}$	$4,3 \times 10^9$	$5,7 \times 10^9$	
ρ_0	$M_{\odot}/pc^3$	$8,5 \times 10^6$	$8,2 \times 10^6$	$1,1 \times 10^7$	4×10^7	$8,5 \times 10^7$	
M_{halo}	$M_{\odot}$	$3,4 \times 10^{10}$	$3,1 \times 10^{10}$	$9,8 \times 10^{10}$	$3,7 \times 10^{10}$	$5,3 \times 10^{10}$	

No ajuste do bojo, o parâmetro a da equação 5.1 é nulo, ou seja, neste caso foi ajustado um potencial esférico de Plummer e a massa do bojo derivada foi $M_{bojo} \sim 1 \times 10^9 M_{\odot}$. A componente do disco espesso foi ajustada utilizando o potencial de Miyamoto-Nagai, como os parâmetros a e b são maiores que zero, significa que temos um potencial assimétrico resultando uma massa de $M_{GD} \sim 1,9 \times 10^{10} M_{\odot}$.

Para o ajuste do disco exponencial, foi utilizada a equação 5.2 e temos como resultado uma massa de $M_{DE} \sim 1,4 \times 10^9 M_{\odot}$. A componente da matéria escura foi ajustada através do potencial de NFW e a massa resultante é igual a $M_{halo} \sim 9,8 \times 10^{10} M_{\odot}$.

Considerando a massa dinâmica de todas as componentes derivadas através dos dados da fenda próxima ao eixo maior para a OHMG IRAS 11506-3851, temos que a massa total é $M_{tot} \sim 1,2 \times 10^{11} M_{\odot}$. Este valor é uma ordem de magnitude maior que o valor derivado com dados de campo integral no óptico derivado por Bellocchi et al. (2013). Atribuímos essa diferença ao campo observado pelo dados, pois a curva de rotação derivada por Bellocchi et al. (2013) observou os 20 segundos de arco centrais enquanto nossas observações englobou menos de 20 segundos de arco centrais, o que indica que maiores investigação precisam ser feitas para identificar esta discrepância.

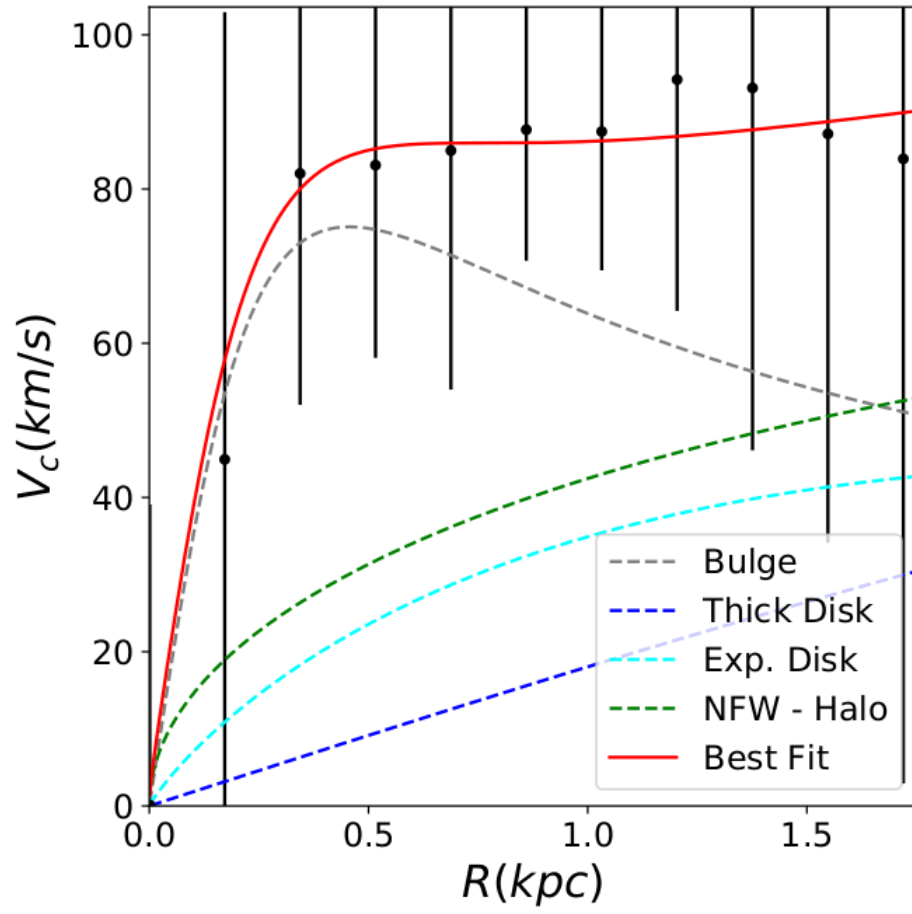


Figura 5.1: Ajuste da curva de rotação da fenda próxima ao eixo maior ($PA=158^\circ$) da IRAS115506-3851 com as quatro componentes (linha vermelha) sendo elas o bojo (linha pontilhada cinza), disco espesso (linha pontilhada azul), disco fino (linha pontilhada azul clara) e matéria escura (linha pontilhada verde).

Conclusões e Perspectivas

6.1 Conclusões

Este trabalho estudou a fonte de ionização, da cinemática e da dinâmica, da galáxia megamaser de OH IRAS 11506-3851 utilizando-se de dados espectroscópicos obtidos através do Gemini/GMOS, e também, de imagens da banda i obtidas pelo espacial Hubble. As principais conclusões deste estudo são:

1. Através dos diagramas de diagnóstico BPT e WHAN do centro da IRAS 11506-3851 representados na figura 3.1 e 3.2 respectivamente, concluímos através do BPT que no núcleo é uma região composta por atividade de formação estelar e de um núcleo ativo. Por outro lado, o WHAN nos diz que esta galáxia pode está hospedando um sAGN e/ou choques devido a explosões de super-novas que imita a razão dos fluxos das linhas de sAGN no diagrama WHAN. Sendo choques de ventos de super-novas do Starburst central nosso resultado indica que presença de outflows de gás ionizado semelhante ao outflows molecular encontrado por [Pereira-Santaella et al. \(2016\)](#).
2. De acordo com o estudo do mecanismo de excitação ao longo da IRAS 11506-3851, concluímos através do diagrama de diagnóstico WHAN apresentado na figura 3.4 que no centro dessa galáxia possui um sAGN e fortes ventos similar a explosões de super novas que pode ser originado por outflows do AGNs ou Starburst central. Além disso, podemos ver que as regiões da galáxia hospedeira estão se aproximando no diagrama da região dominado por formação estelar, mas ainda em uma localização de transição entre sAGN e SF no diagrama. Por outro lado, de acordo com o diagrama BPT representado na figura 3.5 concluímos que na região central da galáxia é composta

por atividade de formação estelar e de um núcleo ativo, e a região externa da galáxia predomina somente formação estelar.

3. Através da curva de rotação obtida através da fenda ao longo dos "hot spots" (261°), ver figura 4.3, concluímos que existe um ponto situado a -0.46 Kpc com excesso de velocidade em "blueshift" com valor de $\sim 121 \pm 13$ km/s. Isto demonstra uma evidência de material que pode ser associado a "outflow" de gás vindo do centro da IRAS 11506-3851. Esse resultado mostra uma correlação espacial com "outflows" de gás molecular observado por [Pereira-Santaella et al. \(2016\)](#) desta galáxia usando mapas de CO detectados pelo interferômetro ALMA.
4. Por meio do ajuste da curva de rotação obtida através da fenda próxima a eixo maior da IRAS 11506-3851 realizado através do algoritmo GalRotPy concluímos que, a massa luminosa da galáxia é uma ordem de grandeza menor que a massa escura, onde os valores referentes a cada massa está descrito na tabela 6.1 juntamente com a massa final total da IRAS 11506-3851.

Tabela 6.1 - Tabela contendo as quantidades de matéria luminosa e escura em cada posição de fenda da IRAS 11506-3851.

Matéria Luminosa	Matéria Escura	Total
$2,14 \times 10^{10} M_\odot$	$3,1 \times 10^{10} M_\odot$	$1,2 \times 10^{11} M_\odot$

Concluímos também que, através dos dados da fenda próxima ao eixo maior da OHMG IRAS 11506-3851 a massa total é $M_{tot} \sim 1,2 \times 10^{11} M_\odot$. Este valor é uma ordem de magnitude maior que o valor derivado com dados de campo integral no óptico derivado por [Bellocchi et al. \(2013\)](#). Atribuímos essa diferença ao campo observado pelo dados, pois a curva de rotação derivada por [Bellocchi et al. \(2013\)](#) observou os 20 segundos de arco centrais enquanto nossas observações englobou menos de 20 segundos de arco centrais, o que indica que maiores investigação precisam ser feitas para identificar esta discrepância.

6.2 Perspectivas

Este trabalho mostrou um estudo da uma OHMG a IRAS 11506-3851. Esta galáxia faz parte de uma amostra de 10 galáxias com dados espectroscópicos no óptico de fenda

longa com o GMOS acoplado ao telescópio Gemini com.

As perspectivas do projeto é concluir a análise desta amostra de galáxias para derivar as fonte de ionização, população estelar, cinemática e dinâmica do gás ionizado de OHMGs.

Este projeto também objetiva realizar estudo em múltiplos comprimentos de onda de uma amostra de cerca de ~ 80 OHMGs utilizando dados desde o óptico até radio. Como por exemplo, utilizar dados do infravermelho obtidos através do IRTF (NASA Infrared Telescope Facility), e no rádio utilizando dados do VLA (Very Large Array Observatory).

Referências Bibliográficas

- Alonso-Herrero A., Rieke G. H., Rieke M. J., Colina L., Pérez-González P. G., Ryder S. D.,
Near-Infrared and Star-forming Properties of Local Luminous Infrared Galaxies, *ApJ*,
2006, vol. 650, p. 835
- Antonucci R. R. J., Miller J. S., Spectropolarimetry and the nature of NGC 1068, *ApJ*,
1985, vol. 297, p. 621
- Audibert A., Testando as propriedades físicas do modelo unificado de galáxias de núcleo
ativo., Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física,
Departamento de Astronomia., 2000, Dissertação de Mestrado, 500 p.
- Baan W. A., Haschick A. D., Henkel C., Molecular outflows in powerful OH megamasers,
Astrophysical Journal, Part 1, 1989, vol. 346, p. 680
- Baan W. A., Klöckner H. R., Radio properties of FIR-megamaser nuclei, *A&A*, 2006,
vol. 449, p. 559
- Baldwin J. A., Phillis M. M., Terlevich R., Classification parameters for the emission-line
spectra of extragalactic objects, *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, 1981,
vol. 93, p. 5
- Barthel P. D., Is every quasar beamed?, *ApJ*, 1989, vol. 336, p. 606
- Bellocchi E., Arribas S., Colina L., Miralles-Caballero D., VLT/VIMOS integral field spec-
troscopy of luminous and ultraluminous infrared galaxies: 2D kinematic properties,
A&A, 2013, vol. 557, p. A59

- Cheung A. C., Detection of water in interstellar regions by its microwave radiation, *Nature*, 1969, vol. 221, p. 262
- Cid Fernandes R., Stasińska G., Mateus A., Vale Asari N., A comprehensive classification of galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: how to tell true from fake AGN?, *MNRAS*, 2011, vol. 413, p. 1687
- Conselice C. J., The Evolution of Starburst Galaxies, *ArXiv Astrophysics e-prints*, 2000
- Darling J., A Dense Gas Trigger for OH Megamasers, *ApJ*, 2007, vol. 669, p. L9
- de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H. G. J., Buta R. J., Paturel G., Fouque P., Book-Review - Third Reference Catalogue of Bright Galaxies, *S&T*, 1991, vol. 82, p. 621
- Dopita M. A., Evans I. N., Theoretical models for H II regions. II - The extragalactic H II region abundance sequence, *ApJ*, 1986, vol. 307, p. 431
- Fath E. A., The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters, *Lick Observatory Bulletin*, 1909, vol. 5, p. 71
- Fluetsch A., Maiolino R., Carniani S., Marconi A., Cicone C., Bourne M. A., Costa T., Fabian A. C., Ishibashi W., Venturi G., Cold molecular outflows in the local Universe and their feedback effect on galaxies, *MNRAS*, 2019, vol. 483, p. 4586
- Freeman K. C., On the Disks of Spiral and S0 Galaxies, *ApJ*, 1970, vol. 160, p. 811
- Gallego J., Zamorano J., Aragon-Salamanca A., Rego M., The Current Star Formation Rate of the Local Universe, *ApJ*, 1995, vol. 455, p. L1
- Gardner F. F., Whiteoak J. B., The groundstate OH spectrum of the galaxy NGC 253, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1975, vol. 173, p. 77
- Granados A., Torres D., Castañeda L., Henao-O. J. L., Vanegas S., GalRotpy: an educational tool to understand and parametrize the rotation curve and gravitational potential of disk-like galaxies, *arXiv e-prints*, 2017, p. arXiv:1705.01665
- Hekatelyne C., Riffel R. A., Sales D., Robinson A., Gallimore J., Storchi-Bergmann T., Kharb P., O'Dea C., Baum S., Gemini IFU, VLA, and HST observations of the OH

- megamaser galaxy IRAS F23199+0123: the hidden monster and its outflow, *MNRAS*, 2018, vol. 474, p. 5319
- Hernandez-Jimenez J. A., Pastoriza M. G., Rodrigues I., Krabbe A. C., Winge C., Bonatto C., Photometry and dynamics of the minor merger AM 1219-430 with Gemini GMOS-S, *MNRAS*, 2013, vol. 435, p. 3342
- Ho L. C., Nuclear activity in nearby galaxies., *ARA&A*, 2008, vol. 46, p. 475
- Keel W. C., Rotation Curves and Velocity Measures for Spiral Galaxies in Pairs, *ApJS*, 1996, vol. 106, p. 27
- Kent S. M., Dark Matter in Spiral Galaxies. II. Galaxies with H I Rotation Curves, *AJ*, 1987, vol. 93, p. 816
- Khachikian E. E., Weedman D. W., A spectroscopic study of luminous galactic nuclei., *Astrofizika*, 1971, vol. 7, p. 389
- Lo K. Y., Mega-Masers and Galaxies, *ARA&A*, 2005, vol. 43, p. 625
- Lonsdale C. J., Diamond P. J., Lonsdale C. J., Smith H. E., Imaging of the ARP 220 OH Megamasers with VLBI, *Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources*, ASP Conference Series, 1998, vol. 144, p. 227
- Lonsdale C. J., Farrah D., Smith H. E., , 2006 Ultraluminous Infrared Galaxies. p. 285
- Malkan M. A., Sargent W. L. W., The ultraviolet excess of Seyfert 1 galaxies and quasars, *ApJ*, 1982, vol. 254, p. 22
- Melnick J., Telles E., De Propris R., Chu Z.-H., The Starburst-AGN connection: quenching the fire and feeding the monster, *A&A*, 2015, vol. 582, p. A37
- Miller J. S., Antonucci R. R. J., Evidence for a highly polarized continuum in the nucleus of NGC 1068, *ApJ*, 1983, vol. 271, p. L7
- Miyamoto M., Nagai R., Three-dimensional models for the distribution of mass in galaxies., *PASJ*, 1975, vol. 27, p. 533
- Moshir M., Kopman G., Conrow T. A. O., IRAS Faint Source Survey, Explanatory supplement version 2, 1992

- Navarro J. F., Frenk C. S., White S. D. M., A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering, *The Astrophysical Journal*, 1997, vol. 490, p. 493
- Netzer H., Revisiting the Unified Model of Active Galactic Nuclei, *ARA&A*, 2015, vol. 53, p. 365
- Nguyen-Q-Rieu Mebold U., Winnberg A., Guilbert J., Booth R., OH emission an absorption in M82, 1976, vol. 52, p. 467
- Norris R. P., Whiteoak J. B., Gardner F. F., Allen D. A., Roche P. F., A new OH megamaser galaxy : IRAS 11506-3851., *MNRAS*, 1986, vol. 221, p. 51P
- Osterbrock D. E., Seyfert galaxies with weak broad H alpha emission lines, *ApJ*, 1981, vol. 249, p. 462
- Parra R., Conway J. E., Elitzur M., Pihlström Y. M., A compact starburst ring traced by clumpy OH megamaser emission, *A&A*, 2005, vol. 443, p. 383
- Pereira-Santaella M., Alonso-Herrero A., Santos-Lleo M., Colina L., Jiménez-Bailón E., Longinotti A. L., Rieke G. H., Ward M., Esquej P., The X-ray emission of local luminous infrared galaxies, *A&A*, 2011, vol. 535, p. A93
- Pereira-Santaella M., Colina L., García-Burillo S., Alonso-Herrero A., Arribas S., Cazzoli S., Emonts B., Piqueras López J., Planesas P., Storchi Bergmann T., Usero A., Villar-Martín M., High-velocity extended molecular outflow in the star-formation dominated luminous infrared galaxy ESO 320-G030, *A&A*, 2016, vol. 594, p. A81
- Pereira-Santaella M., Diamond-Stanic A. M., Alonso-Herrero A., Rieke G. H., The Mid-infrared High-ionization Lines from Active Galactic Nuclei and Star-forming Galaxies, *ApJ*, 2010, vol. 725, p. 2270
- Peters W., Kuzio de Naray R., Photometric and kinematic DISKFIT models of four nearby spiral galaxies, *MNRAS*, 2017, vol. 469, p. 3541
- Peterson B. M., *An Introduction to Active Galactic Nuclei*, 1997
- Rodríguez-Zaurín J., Arribas S., Monreal-Ibero A., Colina L., Alonso-Herrero A., Alfonso-Garzón J., VLT-VIMOS integral field spectroscopy of luminous and ultraluminous in-

- frared galaxies. III. The atlas of the stellar and ionized gas distribution, *A&A*, 2011, vol. 527, p. A60
- Sales D. A., Robinson A., Axon D. J., Gallimore J., Kharb P., Curran R. L., O'Dea C., Baum S., Elitzur M., Mittal R., An Embedded Active Nucleus in the OH Megamaser Galaxy IRAS16399-0937, *ApJ*, 2015, vol. 799, p. 25
- Sales D. A., Robinson A., Riffel R. A., Storchi-Bergmann T., Gallimore J. F., Kharb P., Baum S., O'Dea C., Hekatelyne C., Ferrari F., Gemini IFU, VLA, and HST observation of the OH Megamaser Galaxy IRAS17526+3253, *MNRAS*, 2019
- Salpeter E. E., Accretion of Interstellar Matter by Massive Objects., *ApJ*, 1964, vol. 140, p. 796
- Sanders D. B., Soifer B. T., Elias J. H., Madore B. F., Matthews K., Neugebauer G., Scoville N. Z., Ultraluminous infrared galaxies and the origin of quasars, *ApJ*, 1988, vol. 325, p. 74
- Schmidt E. O., Mast D., Díaz R. J., Agüero M. P., Günthardt G., Gimeno G., Oio G., Gaspar G., Circumnuclear Rings and Lindblad Resonances in Spiral Galaxies, *AJ*, 2019, vol. 158, p. 60
- Schneider P., *Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction*, 2015
- Seyfert C. K., Nuclear Emission in Spiral Nebulae., *ApJ*, 1943, vol. 97, p. 28
- Shields G. A., Gravitation, primordial stars and the dark mass, *Nature*, 1978, vol. 273, p. 519
- Soifer B. T., Sandres D. B., Madore B. F., Neugebauer G., Danielson G. E., Elias J. H., Rice W. L., The IRAS bright galaxy sample. II. The sample and luminosity function, *The Astrophysical Journal*, 1987, vol. 320, p. 238
- S.Weinreb A. H., Radio Observations of OH in the Intersllar Medium, *Nature*, 1963, vol. 200, p. 483
- van den Broek A. C., van Driel W., de Jong T., Goudfrooij P., Lub J., de Grijp M. H. K., A study of southern extreme IRAS galaxies. I. Opticalobservations., *A&AS*, 1991, vol. 91, p. 61

Veilleux S., Osterbrock D. E., Spectral classification of emission-line galaxies, *ApJS*, 1987, vol. 63, p. 295

Whiteoak J. B., Gardner F. F., A 5-GHz Survey of the galactic center region with a resolution of 4 arc min, *Astrophysical Letters*, 1973, vol. 13, p. 205

Zhang J. S., Wang J. Z., Di G. X., Zhu Q. F., Guo Q., Wang J., The middle infrared properties of OH megamaser host galaxies, *A&A*, 2014, vol. 570, p. A110