

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA - DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

# **Desvendando a Região Central de NGC 6868: Mapeando a População Estelar e o Gás Ionizado**

João Pedro Verardo Benedetti

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

Orientador: Prof. Dr. Rogério Riffel

Porto Alegre - RS

Janeiro de 2020

# Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem o apoio de algumas pessoas e entidades importantes. Dentre elas, gostaria de agradecer:

- Ao meu pai e à minha mãe, por terem incentivado desde os primeiros anos a curiosidade e o inconformismo além de serem exemplos de trajetórias de vida. Nada disso seria possível sem vocês.
- Ao meu avô, músico e inventor nato que não conseguiu ver a conclusão deste trabalho. Sua enorme inventividade e curiosidade serão eterna inspiração para mim. A ele, como forma de gratidão pelos anos convividos, dedico este trabalho.
- Aos meus professores do ensino fundamental e médio por terem me ensinado o valor do conhecimento.
- Ao Rogério, meu orientador, pela grande sabedoria, discussões sobre todos assuntos e paixão pela astronomia que para sempre levarei comigo. Obrigado pela compreensão e ensinamento destes 3 anos de parceria.
- Ao Nicholas, pela paciência com a trajetória nem sempre tão linear de um físico em formação e pelo companheirismo na vida e na confecção deste trabalho.
- Aos meus amigos Anderson, Cristiane, Eduardo, Érico, Grasielle, Mônica, Otávio, Roberta e Vitor pelas conversas animadas, abraços calorosos, risadas descontroladas e enorme carinho. São companheiros para a vida toda.
- Às agências de fomento a pesquisa FAPERGS e CNPq por darem apoio aos projetos em que eu me envolvi e desempenharem o papel fundamental de sustentar a atividade científica no nosso estado e no nosso país.

# Resumo

Mapeamos a população estelar e as propriedades do gás em emissão na região nuclear de NGC6868. Esta galáxia exibe um espectro do tipo LINER, sendo a galáxia central do grupo Telescopium. Para mapear espacialmente a região nuclear da galáxia, observamos este objeto utilizando o telescópio Gemini com o instrumento *GMOS* no modo *IFU* para extrair um cubo de dados. Para obter o histórico de formação estelar da galáxia, utilizamos o código *STARLIGHT* junto com a nova geração de modelos *MILES* de populações estelares simples. A população estelar que domina (95% em fração de luz) a emissão na região central de NGC6868 é velha e rica em metais (10 Gyr, 2.0  $Z_{\odot}$ ). Temos a presença de uma componente jovem devido ou a uma formação estelar recente ou a não inclusão de estrelas do ramo azul horizontal nos modelos de SSP. Além disso, uma faixa de poeira é encontrada no centro deste objeto. Porém, não é encontrada contribuição de uma lei de potência. Além da análise do conteúdo estelar desta fonte, nós subtraímos a contribuição estelar da emissão do gás em cada *spaxel*, resultando em um cubo com apenas a contribuição do gás em emissão. Fizemos a análise da cinemática através do pacote *IFSCUBE*. Um disco de rotação claramente é detectado na região nuclear da galáxia e nenhuma componente larga compatível com um AGN foi detectada. Outro achado foi uma região onde as linhas de emissão praticamente desaparecem. Nossa hipótese é que isto se deve a uma região de baixa densidade eletrônica, chamada de gás ionizado difuso. Através destes achados, vemos que a ionização por um LLAGN é desfavorecida pelos nossos achados.

# Abstract

We mapped the stellar population and emission gas properties in the nuclear region of NGC 6868. This galaxy shows a LINER-like spectrum, and is the central galaxy of the Telescopium group. In order to spatially map the nuclear region of the galaxy we acquired Gemini GMOS IFU datacubes. To obtain the star-formation history of this galaxy we used the STARLIGHT code together with the new generation of MILES simple stellar population models. The stellar population dominating (95% in light fraction) the emission in the central region of NGC 6868 is old and metal rich (10 Gyr,  $2.0 Z_{\odot}$ ). Also, there is a contribution of a young component either due to a recent episode of star formation or due to the absence of blue horizontal branch stars in the SSP models. Moreover, a dust lane is found in the center of this object. However, no contribution from a power-law is found. Besides the analysis of the stellar content of this source, we subtracted the stellar contribution from the gas emission in each spaxel, resulting in a pure emission line datacube. We analysed the kinematics of the ionized gas with the IFSCUBE package. A rotation disk is clearly detected in the nuclear region of the galaxy, no broad components compatible with AGNs were detected. Another finding is a region where this emission lines disappear almost completely. Our hypothesis is that this is due to the low electron density in this region, called diffuse ionized gas. Through this findings, it is noticed that the ionization by a LLAGN is disfavored.



# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
1.1	Formação e evolução de galáxias . . . . .	6
1.2	LINERs e os diferentes mecanismos de ionização . . . . .	9
1.3	NGC 6868 e a sua "gêmea"NGC 5044 . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Dados e Observação</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>16</b>
3.1	Síntese de população estelar . . . . .	16
3.1.1	Base de SSPs . . . . .	17
3.1.2	MEGACUBE . . . . .	17
3.2	IFSCUBE e o ajuste de perfil de linhas . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>20</b>
4.1	População Estelar . . . . .	20
4.2	Análise preliminar do Gás Ionizado . . . . .	27
4.2.1	Região de DIG . . . . .	27
4.2.2	Cinemática do gás ionizado . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>33</b>

# Capítulo 1

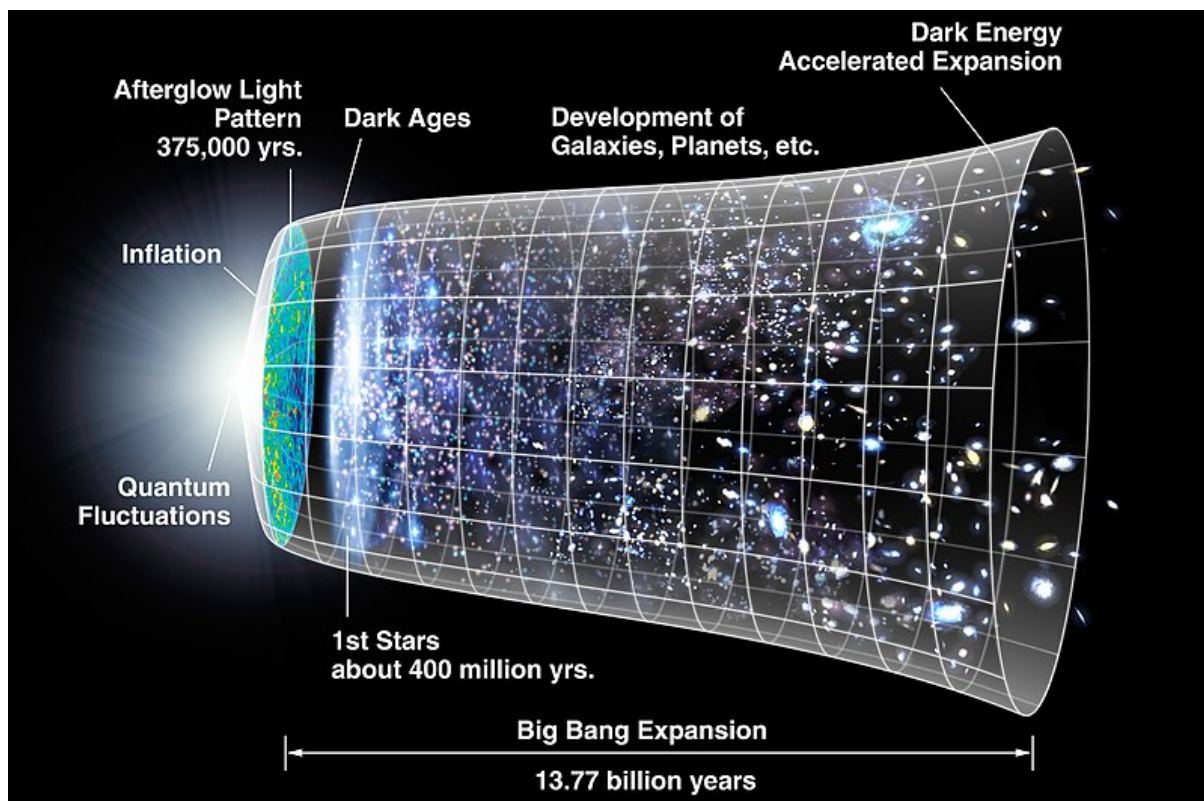
## Introdução

### 1.1 FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DE GALÁXIAS

O estudo da evolução e formação de galáxias é extremamente complexo, pois tem como o objetivo explicar desde as maiores estruturas cósmicas até os pequenos halos das galáxias anãs indo desde o Big Bang até os dias atuais. Porém, depois de grandes avanços no século XX, hoje temos uma boa percepção da história cósmica destes objetos contada esquematicamente na figura 1.1.

Logo depois da singularidade, conhecida como o Big Bang quando a matéria foi criada e as interações eram unificadas, temos o período conhecido como inflação (Albrecht et al. 1982; Guth 1981), um período de  $\sim 10^{-35}$  s onde o universo se expandiu por um fator de  $\sim 10^{26}$ . Isso fez com que o universo pós-inflação se tornasse extremamente homogêneo, porque as partículas que antes estavam no horizonte causal de cada partícula separaram-se a distância enormes. Porém, essas flutuações quânticas iniciais deixaram suas marcas, sendo essas as responsáveis pelas inomogeneidades e produzir as estruturas que vemos no futuro (galáxias e aglomerados, por exemplo). Conforme o universo foi expandindo, a temperatura das partículas diminuiu e os quarks e glúons uniram-se em prótons e nêutrons.

Posteriormente, com o sucessivo esfriamento, tivemos a nucleossíntese primordial, quando os núcleos de hélio e traços de lítio formaram-se, sendo a constituição inicial da matéria bariônica que vemos hoje (Wagoner et al. 1967). Porém, os átomos ainda estavam todos ionizados e o universo era opaco nesta época. O livre caminho médio dos fótons era muito curto, em decorrência do espalhamento por elétrons livres. A ampliação do universo ocasionou a ligação dos elétrons aos núcleos formados e, assim, os fótons puderam viajar livremente pelo universo. Esse período é conhecido como a época da recombinação e à ela é atribuída a radiação cósmica de fundo (Penzias et al. 1965), uma emissão na região de



**Figura 1.1:** Visualização esquemática da evolução das estruturas no universo. Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Chronology\\_of\\_the\\_universe](https://en.wikipedia.org/wiki/Chronology_of_the_universe).

micro-ondas praticamente isotrópica. Dessa forma, a matéria ficou desacoplada da radiação conseguindo viajar pelo universo.

A matéria escura inicialmente desempenhou papel fundamental na formação de estruturas, porque não interage com a radiação, diferente da matéria bariônica. Ela assentou-se em halos mantendo-se estável apenas pela ação da auto-gravidade, uma vez que a matéria é não-colisional. Conseqüentemente, a matéria caiu nos poços de potencial estabelecidos pela matéria escura, formando as estruturas que vemos nos dias presentes (Davis et al. 1985).

O gás nos halos de matéria escura perdeu energia cinética através de esfriamento radiativo, ficando cada vez mais frio. Conseqüentemente, a sua densidade aumentou, resultando em um colapso pela ação da sua auto-gravidade (Gamow et al. 1939; Lifshitz 2017), aumentando a temperatura do gás. Neste processo, a nuvem de gás podia se fragmentar, resultando na formação de estruturas de alta densidade que, posteriormente, se transformarão em estrelas, no entanto, várias etapas deste processo ainda são incertas e, também, não são universais à todos os objetos. Então para compreender a história de uma certa galáxia é, geralmente, saber como, quando e de que forma o gás é convertido em estrelas.

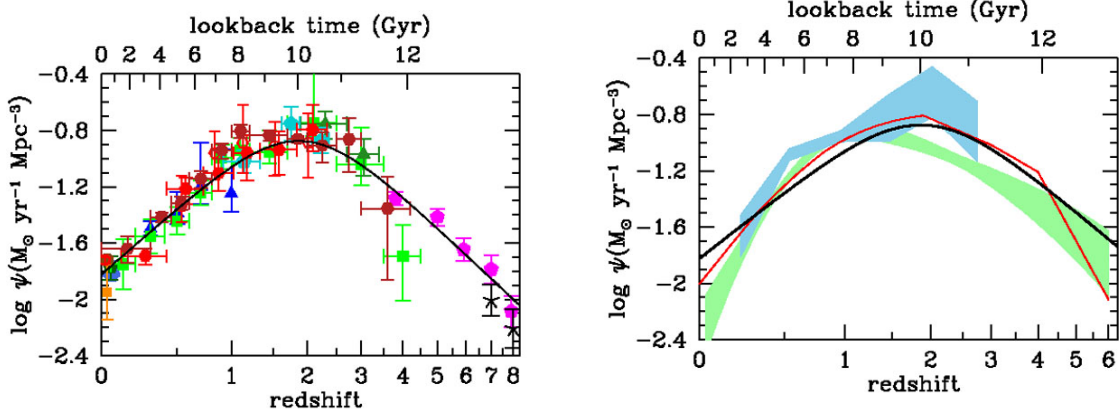
As galáxias, entretanto, não vivem isoladas. Elas se formam em lugares de sobredensidades na distribuição de matéria no universo, isso significa que é mais provável que galáxias originaram-se perto de outras e as interações entre elas e com o ambiente podem ter diversos efeitos que perturbam o gás, a morfologia e as demais propriedades das galáxias. Além disso, o meio intergalático está sujeito ao fluxo de matéria da teia cósmica. Ou seja, temos deslocamento de gás em direção ao centro das galáxias podendo colapsar ou alimentar o buraco negro central. Enfim, a dinâmica das galáxias e como elas evoluem não se limita a um processo isolado, mas sim em um processo que envolve diversas interações com o meio que a cerca (Larson 1974a,b, 1975, 1976).

Outro elemento importante na evolução das galáxias é o que ocorre em seu centro, já que no centro delas existem buracos negros supermassivos. A formação destes objetos ainda é incompreendida, mas os seus efeitos sobre as hospedeiras já são muito bem observados (Benson et al. 2003). Um efeito que exemplifica essa interação com as galáxias é a atividade nuclear devido a acreção de material, onde observamos núcleos ativos, que são fontes luminosas que podem ter brilho maior que todas as estrelas constituintes de uma galáxia, devido ao enorme poço de potencial destes objetos. O gás acretado ao núcleo é aquecido e expulso por meio de ventos, que interage com a sua galáxia hospedeira, sendo esse processo denominado *feedback*.

Evidências da coevolução entre o buraco negro central e a galáxia que o hospeda são as correlações encontradas entre as propriedades do buraco negro e a população estelar, como por exemplo, a relação  $M_{bh} - \sigma$  (Ferrarese et al. 2000; Gebhardt et al. 2000; Kormendy et al. 2013) que relaciona a dispersão de velocidades estelar no centro da galáxia com a massa do buraco negro, e também a relação  $M_{bh} - M_{bul}$  (Häring et al. 2004; Magorrian et al. 1998; Marconi et al. 2003) que relaciona a massa do buraco negro central com a massa do componente esferoidal da galáxia (Silk et al. 1998). Esses indicadores nos sugerem que a região onde a influência do buraco negro é maior, isto é, a região circum-nuclear é especialmente interessante se quisermos entender como essa coevolução acontece, nos possibilitando discernir quais efeitos dominam, bem como compreender a história de formação daquele objeto.

Outro indício que estes dois fenômenos estão relacionados é o diagrama de Madau (Madau et al. 2014), mostrado na figura 1.2, que examina a formação estelar através da história cósmica. Constatou-se que desde o início do universo a formação estelar foi crescendo gradualmente, tendo um pico em  $z \sim 2$  e, posteriormente, decrescendo, chegando aos níveis atuais. Quando analisa-se este diagrama para a taxa de acreção dos buracos negros, vemos ela tem um comportamento similar ao da formação estelar, apresentando um acréscimo

e decréscimo nos mesmos períodos, tal como o pico de atividade coincidindo em  $z \sim 2$ . Novamente, demonstrando outro fator que corrobora a ideia da interação entre a galáxia hospedeira e o núcleo ativo.



(a) Relação entre a densidade de formação estelar do universo e o redshift medido por diferentes traçadores.

(b) Relação entre a taxa de acreção nos buracos negros super massivos e o redshift com o melhor modelo descrevendo a evolução da formação estelar sobreplotado.

**Figura 1.2:** Correlação entre a taxa de formação estelar e a taxa de acreção de buracos negros super-massivos. Para maiores detalhes e fonte, vide Madau et al. 2014.

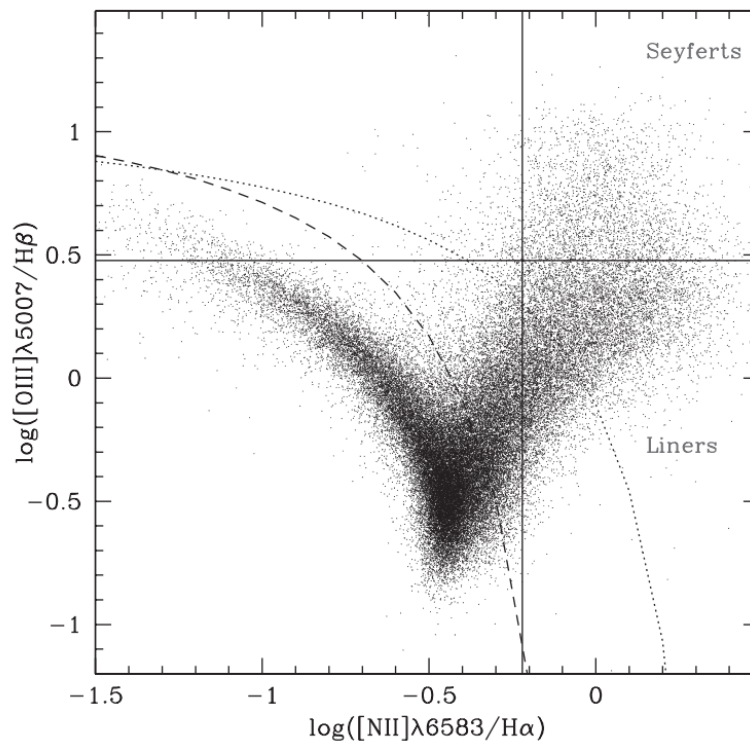
Quando olhamos para as simulações de formação e evolução de galáxias, como EAGLE (Crain et al. 2015; Schaye et al. 2015) ou MILLENIUM (Springel et al. 2005) vemos que as simulações superestimam a luminosidade dos halos mais massivos. Porém, quando receitas de *feedback* são inseridas nestas simulações, o gás consegue ser aquecido, cessando a formação estelar e, assim, os modelos concordam com os dados observados (Croton et al. 2006). Isso nos indica que as receitas que incluem os efeitos de *feedback* são cruciais para entendermos como uma galáxia evolui.

Atualmente, porém, as simulações em larga escala incluem estes efeitos de modo *ad hoc*, apenas para reproduzir a questão do crescimento das maiores galáxias. Assim, para entendermos melhor de que forma o processo acontece, precisamos entender como este fenômeno ocorre em galáxias próximas, pois é onde temos capacidade instrumental para fazê-lo. Assim, mesmo que o efeito seja menor (figura 1.2), a física do processo deve ser a mesma.

## 1.2 LINERS E OS DIFERENTES MECANISMOS DE IONIZAÇÃO

As galáxias LINERS (*Low-Ionization Nuclear Emission-line Region*, na sigla em inglês) foram primeiramente descritas em Heckman 1980 como fontes nucleares com linhas de

emissão intensas devido a íons de baixa ionização, como [OI] e [NI] e linhas fracas devido a íons de alta ionização como as do [OIII], sendo a primeira descrição limitada a região nuclear. A fonte de ionização que foi atribuída a estes objetos foram núcleos ativos de baixa luminosidade (LLAGN), pois as razões de linhas não podiam ser explicadas por regiões HII devido a formação estelar (caracterizada pela ionização de estrelas de alta massa que se formam nelas). A diferenciação das Seyfert é devido a baixa intensidade de [OIII] que não é observada nos AGNs clássicos. A separação é feita através de diagramas BPT (figura 1.3), nomeado em razão de Baldwin, Phillips Terlevich que primeiro os utilizaram, que olham para razões de linhas para discernir entre as fontes.



**Figura 1.3:** Diagrama BPT mostrando como as razões de linhas podem nos ajudar a separar os diferentes tipos de fenômenos. Fonte: Kauffmann et al. 2003

Porém, vários estudos começaram a notar que a emissão não se restringia apenas ao centro das galáxias, mas se distribuía por distâncias maiores. Assim, outros fenômenos que não um LLAGN foram propostos para que conciliasse a baixa ionização com a distribuição espacial, como ionização por choques (Allen et al. 2008; Dopita et al. 1995; Dopita et al. 2015; Heckman 1980), estrelas pós-AGB (*post asymptotic giant branch stars*, na sigla em inglês Cid Fernandes et al. 2011; Stasińska et al. 2008) e regiões de populações estelares jovens dominadas por estrelas Wolf-Rayet (Barth et al. s.d.).

Existem vários estudos tentando entender melhor os mecanismos de ionização e qual destes é o mais provável para estes objetos. No entanto, devido a enorme diversidade dos objetos que se encaixam nesta classe, os estudos chegam em conclusões muito diferentes. Então, para pesquisar os mecanismos presentes precisamos olhar espacialmente para o gás ionizado e para a população estelar, testando assim diferentes mecanismos de ionização.

### 1.3 NGC 6868 E A SUA "GÊMEA" NGC 5044

A galáxia escolhida para estudar os aspectos dos fenômenos de ionização foi a NGC 6868 classificada como LINER. Esta é uma galáxia cD, massiva e central do grupo Telescopium.

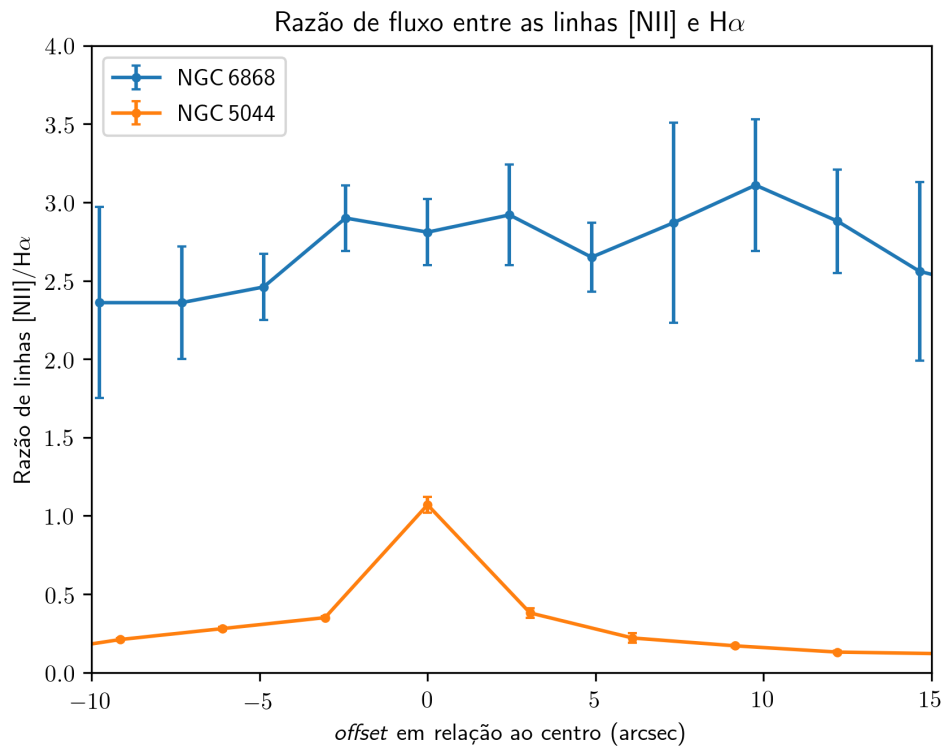
O fato de NGC 6868 ser uma cD indica que, durante a sua formação, este objeto sofreu possíveis fusões com outros objetos ou, possivelmente, temos filamentos de gás (da teia cósmica ou gás expelido pelos ventos do AGN) caindo em direção ao seu núcleo, desta forma gerando uma cinemática complexa no centro da galáxia. Machacek et al. 2010 estudaram NGC 6868 junto com NGC 6861 em raio-X e chegaram a conclusão de que provavelmente cada uma destas galáxias ocupa o centro de um grupo e que no passado já tiveram um encontro próximo e, agora, estão em processo de coalescência. Além disso, encontraram evidências de atividade de AGN acionado por este encontro. Dados em rádio (Mauch et al. 2003; Slee et al. 1994) indicam que esta é uma fonte rádio de baixa intensidade com espectro plano, a temperatura e o declive do espectro não podem ser explicados por fontes estelares, portanto, um AGN seria necessário para explicar este tipo de emissão.

A galáxia tem também uma faixa de poeira em seu centro (Buson et al. 1993) e o gás não se move em órbitas regulares (Zeilinger et al. 1996). Inclusive, Caon et al. 2000 com observações em *long slit* encontraram, que dependendo da orientação da fenda, o gás estava em rotação da mesma forma que as estrelas ou apresentava contrarotação estelar, inclusive com a parte central contrarrotando com a mais exterior. Ainda, as estrelas do centro estão contra rotando em relação as mais externas. Outro achado é a presença de poeira fria no centro de NGC 6868 (Bregman et al. 1998; Zeilinger et al. 1996). Sendo a captura recente de uma galáxia rica em poeira um possível explicação para os resultados obtidos anteriormente.

Ademais, o perfil de ionização desta galáxia, como mostra a figura 1.4, destoa de um perfil de ionização central (Rickes et al. 2008), que seria o caso de ionização por um AGN, onde a ionização cairia com a distância da fonte central. Isso aponta a presença de uma componente espacialmente estendida neste fenômeno de ionização. Como comparação, na mesma figura vemos o perfil de ionização de NGC 5044, uma outra galáxia (analisada em Diniz et al. 2017) que apresenta um perfil muito mais próximo de uma fonte central que o



nosso objeto, mesmo tendo mais de um componente responsável pela sua ionização.



**Figura 1.4:** Distribuição da razão de linhas [NII]/H $\alpha$  radialmente. Ela é um indicador da fonte de ionização. Dados retirados de Rickes et al. 2008

A galáxia NGC 5044 possui várias características interessantes, parecidas com a 6868, como, por exemplo, uma cinemática complexa do gás, apresentando filamentos, e das estrelas, com contrarotação em relação as partes externas (Caon et al. 2000; Ferrari et al. 1999; Macchetto et al. 1996). Em Diniz et al. 2017, demonstrou-se que:

- a população estelar que domina é velha, encontrando também um população estelar de idade  $\sim 900$  Myr em volta do núcleo;
- além disso, no centro da galáxia é encontrada a contribuição de uma lei de potências ( $\sim 20\%$  em luz), coerente com a largura a meia altura de  $\sim 3000 \text{ km s}^{-1}$  do perfil de linha de H $\alpha$ , fazendo concluir que a região central é ionizada por um LLAGN.
- Nos filamentos, o mecanismo predominante de excitação é compatível com choques.

A comparação entre as duas se justifica, porque como pode ser visto na tabela 1.1 elas são objetos muito parecidos. Ambas tem massas, tamanhos, morfologia e ambiente muito



parecidas, a emissão em raio-X apresenta cavidades na periferia da galáxia além, é claro, de serem classificadas como LINERs. Mesmo com todas essas características tão similares, o perfil de ionização, como vemos em 1.4, destoa tanto. Assim, o objetivo é analisar a razão por trás dessa discrepância no perfil de ionização entre essas duas galáxias.

**Tabela 1.1:** Tabela comparando alguns parâmetros importantes de NGC 6868 e NGC 5044. Dados disponíveis no NED <sup>1</sup>

	NGC 6868	NGC 5044
Morfologia	E2	E0
Redshift	0.00952	0.00928
Distância (Mpc)	40	37
Diâmetro (kpc)	73.00	33.58
$M_R$ (mag)	-24.7	-22.51
Ambiente	cD	cD
Cavidades em raio-X	✓	✓
Classificação	LINER	LINER

### OBJETIVOS:

- Entender de que forma acontece a interação entre o buraco negro central e a população estelar e o gás que o circunda
- Mapear com grande detalhe estes fenômenos, olhando para galáxias próximas, a fim de compreendê-los melhor.
- Olhar para o gás e as estrelas espacialmente.
- Reproduzir as técnicas de Diniz et al. 2017 e comparar as duas galáxia para encontrar suas similaridades e discrepâncias, como vistos na figura 1.4.

## Capítulo 2

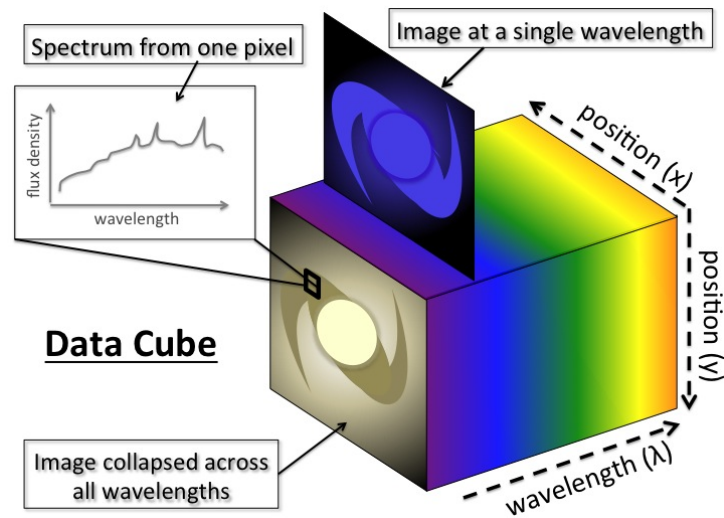
### Dados e Observação<sup>1</sup>

Para fazermos o estudo espectroscópico espacialmente resolvido de NGC 6868, utilizou-se a técnica de IFS (*Integral Field Spectroscopy*, na sigla em inglês). Neste tipo de observação, os dados ficam organizados em duas dimensões espaciais projetadas no céu e uma espectral onde a luz é dispersada nos comprimentos de onda, como consta na imagem 2.1. Assim, podemos retirar fatias deste cubo e fazer mapas de fluxo ou pegar uma coordenada espacial e olhar para o espectro. Para a obtenção dos dados usou-se o telescópio Gemini com o instrumento GMOS (*Gemini multi-object spectrograph*, na sigla em inglês) no modo IFU (*Integral Field Unit*, na sigla em inglês) que resultou num cubo de dados de  $5 \times 3.5 \text{ arcsec}^2$  e uma cobertura espectral de  $4260 \text{ \AA}$  to  $6795 \text{ \AA}$ , com resolução espectral de  $1.0 \text{ \AA}$ . Foi feita a redução dos dados usando os procedimentos padrão do pacote GEMINI IRAF. O cubo final foi montado com um espaçamento de  $0.05''$  resultando em um cubo de  $59 \times 93$  spaxeis. Para remover os ruídos com alta frequência, utilizou-se o filtro BUTTERWORTH que aplica um método de FFT (*Fast Fourier Transform*, na sigla em inglês) para remover as frequências mais altas que o *seeing*. Como tratam-se de observações limitadas pelo *seeing*, conseguiu-se uma resolução espacial de  $0.6''$ . Para a distância de NGC 6868 ( $\sim 40 \text{ Mpc}$ ), fez-se o possível para mapear detalhadamente a região central deste objeto ( $1'' \sim 180 \text{ pc}$ ).

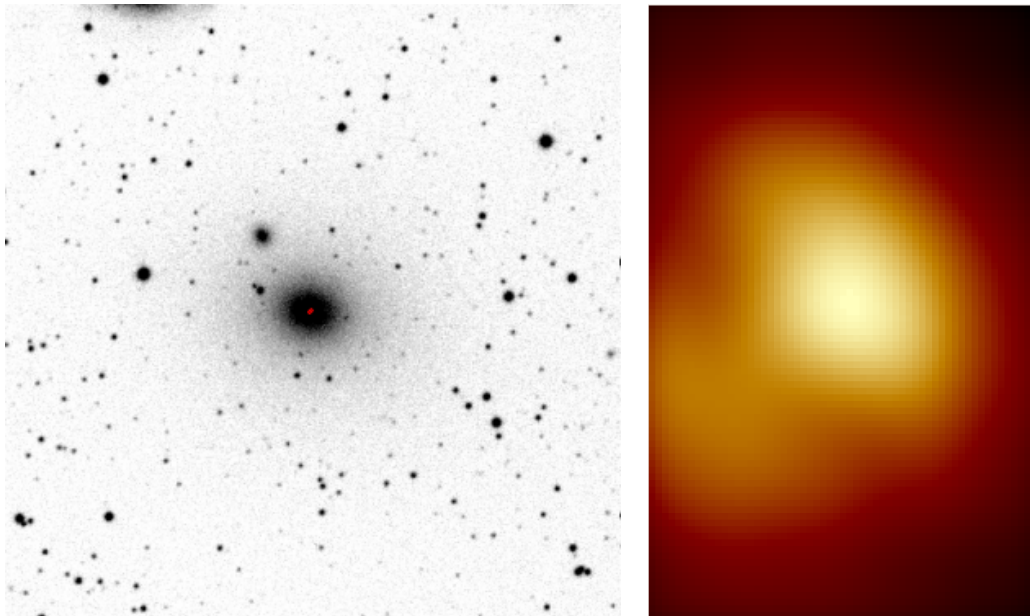
Para corrigir pela extinção galáctica, aplicou-se a curva de extinção CCM, nomeada a partir de Cardelli, Clayton, and Mathis (Cardelli et al. 1989), utilizando um  $A_V = 0.192 \text{ mag}$ , avermelhamento devido a poeira da própria Via Láctea. Além disso, foi feita a calibração em redshift. Na figura 2.2, mostra-se uma imagem na banda R da galáxia e o respectivo FoV da observação. Pela imagem ficou nítida que a análise ficou restrita a região muito próxima do centro desta galáxia.

---

<sup>1</sup>Essa parte do projeto não foi desenvolvida pelo autor do TCC



**Figura 2.1:** Organização das observações feitas em IFS. Fonte: <https://astro3d.org.au/research/>



**Figura 2.2:** À esquerda, imagem de catálogo da galáxias NGC 6868 na banda R retirada de <https://ned.ipac.caltech.edu/>. À direita, imagem mostrando o contínuo estelar estimado na janela 5680 – 5720Å.

# Capítulo 3

## Metodologia

### 3.1 SÍNTESE DE POPULAÇÃO ESTELAR

A população estelar tem papel crucial no entendimento dos processos que uma galáxia passou, nos dando informações sobre sua formação e processos físicos. No nosso contexto, olhando a parte central da galáxia, nos ajuda a entender de que forma o buraco negro central modifica (ou não) as propriedades das populações que o cerca, olhando inclusive para anisotropias na distribuição delas. Além disso, entender como aconteceu o enriquecimento do gás que deu origem àquelas estrelas nos indica como aquela galáxia se formou.

A síntese de população estelar tem como objetivo separar o componente estelar de uma galáxia a fim de determinar as propriedades das populações estelares (como idade e metalicidade) e separar a emissão do contínuo estelar para evidenciar as contribuições de outros componentes, como gás em emissão. Para tal, comparamos com diferentes espectros de populações estelares simples (SSP, na sigla em inglês) a fim de avaliar qual a fração de cada população melhor reproduz a emissão observada, obtendo assim o histórico de formação estelar (SFH, na sigla em inglês).

O programa escolhido para fazer a síntese de população estelar foi o código STARLIGHT (Cid Fernandes et al. 2004; Fernandes et al. 2005), que reconstrói o SFH ajustando o espectro observado ( $O_\lambda$ ) com um modelado  $M_\lambda$ , dado por

$$M_\lambda = M_{\lambda_0} \left[ \sum_{j=1}^{N_*} x_j b_{j,\lambda} r_\lambda \right] \otimes G(v_*, \sigma_*) \quad (3.1.1)$$

onde  $M_{\lambda_0}$  é o fluxo no comprimento de onda de normalização do espectro,  $N_*$  é o número de elementos na nossa base de SSPs,  $x_j$  é a  $j$ -ésima componente do vetor de população que dá a contribuição de cada uma das populações em luz (com normalização em  $\lambda_0$ ).  $b_{j,\lambda}$

é o espectro da  $j$ -ésima componente,  $r_\lambda$  é o fator que dá o avermelhamento do espectro ( $r_\lambda = 10^{-0.4(A_\lambda - A_{\lambda_0})}$ )<sup>1</sup> e, por fim, temos a convolução com uma gaussiana responsável por levar em conta os parâmetros cinemáticos estelares ( $v_*$ , velocidade estelar e  $\sigma_*$ , dispersão de velocidades). O código utiliza como parâmetro de determinação do melhor ajuste a minimização do  $\chi^2$ , dado por

$$\chi^2 = \sum_{\lambda} [(O_\lambda - M_\lambda)\omega_\lambda]^2 \quad (3.1.2)$$

onde  $\omega_\lambda$  é o peso dado àquele comprimento de onda específico. Assim, podemos aumentar a relevância estatística de certas faixas do espectro como linhas de absorção características ou mascarar certas áreas do espectro como as linhas de ionização devido ao gás ionizado.

### 3.1.1 Base de SSPs

Para a implementação do código, um dos ingredientes mais relevantes é a base de SSPs. No nosso caso, utilizamos a base E-MILES<sup>2</sup> de espectros (Vazdekis et al. 1996, 2010). As vantagens dela são: a alta resolução espectral, possibilitando estudo da cinemática do gás ionizado, descontando o fluxo estelar sem perda de informações; e é a biblioteca mais completa atualmente em modelos de populações. Foram acrescentados espectros de Delgado et al. 2005, para levarmos em conta componentes mais jovens. Além disso, acrescentamos na base um espectro de uma lei de potência seguindo  $f \sim \nu^{-1.5}$ , a fim de levar em conta a emissão no contínuo de um AGN.

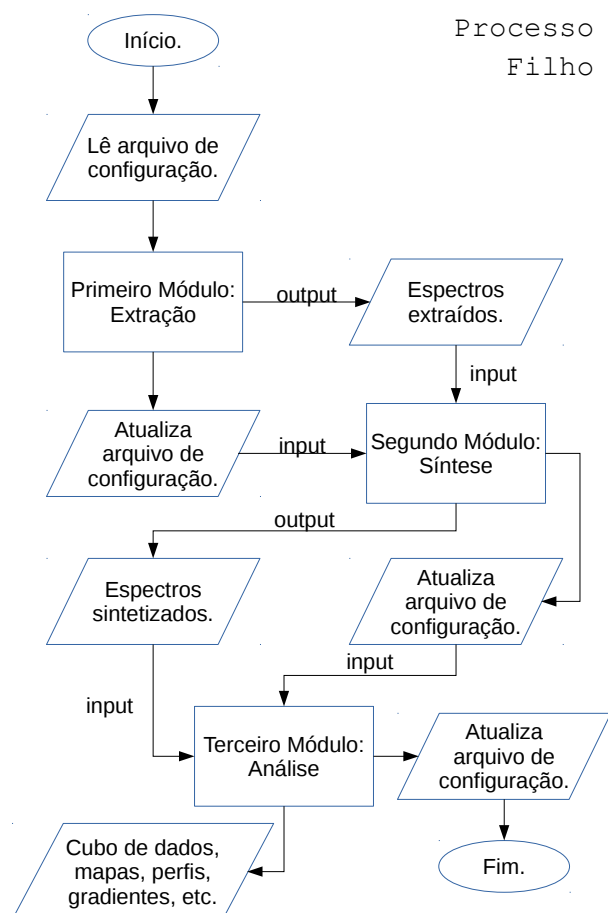
### 3.1.2 MEGACUBE

Como o STARLIGHT trabalha com espectros unidimensionais, tivemos que extrair spaxel por spaxel os dados, convertendo o cubo de dados em vários espectros unidimensionais. Para a extração, implementação do código e reagrupamento num cubo contendo todos os parâmetros de interesse, utilizamos o programa MEGACUBE (Mallmann et al. 2018) que foi desenvolvido para lidar com cubos do levantamento de dados MaNGA, mas que foi readaptado para fazer as três etapas nos dados de NGC 6868. Na figura 3.1, vemos um fluxograma que demonstra seu funcionamento.

---

<sup>1</sup>A lei de extinção utilizada foi CCM

<sup>2</sup>Disponível em <http://research.iac.es/proyecto/miles/pages/ssp-models.php>



**Figura 3.1:** Fluxograma mostrando as etapas do MEGACUBE, solicitamente fornecido por Nicolas Mallmann

### 3.2 IFSCUBE E O AJUSTE DE PERFIL DE LINHAS

Após a subtração da componente estelar, partimos para análise do gás em emissão. Esta componente aparece no espectro como linhas de emissão que são devidas as transições eletrônicas de átomos e, para entendê-las, podemos comparar com as linhas observadas em laboratórios. Elas são importantes traçadores dos processos físicos que estão acontecendo, sendo possível derivar parâmetros como a temperatura e densidades eletrônicas ou entender a dureza do campo de radiação que está presente.

O problema de medir essas linhas é que, geralmente, as galáxias não possuem nem apenas uma fonte de ionização nem apenas uma fonte de gás uma vez que elas apresentam interações com suas vizinhas gerando perturbações no gás; fluxos de gás em direção ao

seu interior; núcleos ativos em seus centros que geram ventos expelindo material; discos orbitando o buraco negro supermassivo em seu centro; ou outras conformações ainda mais peculiares. Todos estes fenômenos geram *imprints* nas linhas de emissão, ficando sobrepostos nos perfis. Portanto, queremos ajustar a cinemática para detectarmos quais as contribuições e quais estão presentes no centro de NGC 6868.

Assim, utilizamos o pacote IFSCUBE<sup>3</sup> que possui várias tarefas para análise de cubos de dados, dentre elas a opção de ajustes das linhas de emissão com diferentes perfis modelados. Para o nosso projeto, escolhemos gaussianas para modelar o perfil das linhas, assim, para cada gaussiana ajustada conseguimos relacionar, através de efeito Doppler, o pico central da distribuição com a velocidade média do gás, a largura da gaussiana com a dispersão do mesmo e a amplitude, junto com a dispersão, nos dão o fluxo daquela linha devido àquele componente específico. Assim, o código determina, dentre os componentes cinemáticos previamente determinados, qual conjunto desses parâmetros melhor modela os perfis observados.

Uma característica importante deste código é a possibilidade de estabelecer vínculos entre as linhas que observamos, reduzindo a degenerescência e fazendo o código ajustar melhor nossos perfis. Um dos mais relevantes, são os vínculos cinemáticos, que deixam a velocidade e a dispersão iguais. Utilizamos quando temos linhas muito próximas que são devidas a um mesmo elemento. Assim, é evidente que o mapa de velocidades das linhas devem ser iguais. Outro caso é quando sabemos a razão de linhas devido aos coeficientes de Einstein que são calculados pelas transições eletrônicas associadas. Isso estabelece outro vínculo, novamente, diminuindo a degenerescência do nosso ajuste.

---

<sup>3</sup>Disponível em: <https://bitbucket.org/danielrd6/ifscube/src/master/>

# Capítulo 4

## Resultados e Discussão

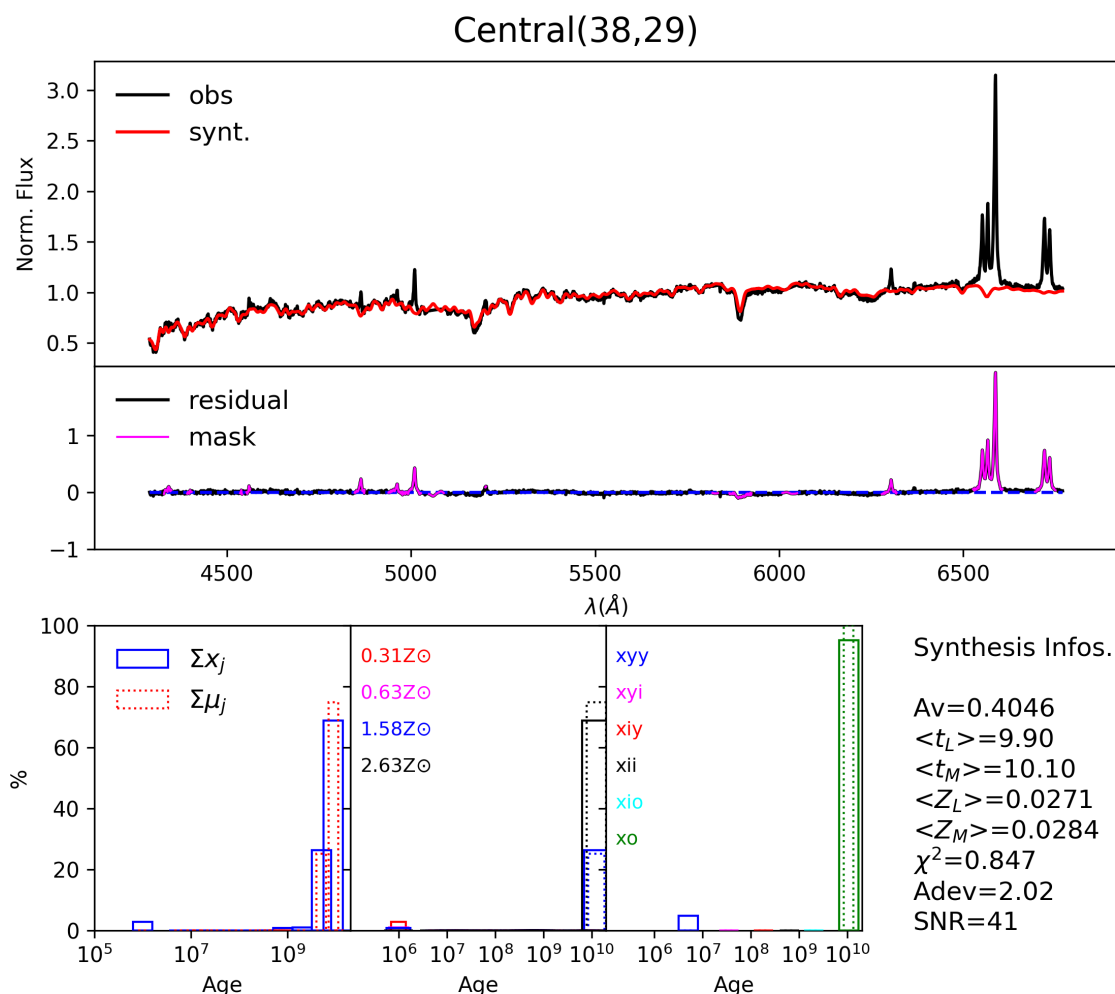
### 4.1 POPULAÇÃO ESTELAR

A síntese de população estelar retorna um espectro ajustado que podemos ver na figuras 4.1 e 4.2. Vemos que a síntese é capaz de reproduzir a componente estelar com eficiência, uma vez que os resíduos ficam em torno de zero, sobrando apenas as linhas de emissão do gás ionizado. Olhando para os parâmetros que estimam a precisão do ajustes espacialmente na figura 4.3, vemos que não só para o um spaxel central o espectro é bem ajustado, bem como para todos os espectros, uma vez que o  $\chi^2/N_\lambda$  (definido em (3.1.2)) e o parâmetro  $a_{dev}$ , que significa *Allan deviation*, ficam ambos próximos de zero em todos os spaxeis, evidenciando a concordância entre espectro observado e modelado. Além disso, olhando para o mapa do sinal-ruído, estimado na janela do contínuo de 5680 – 5720 Å, nota-se que nosso ajuste possui relevância estatística uma vez que, até para as bordas, temos que  $S/N > 25$ , o que, segundo Cid Fernandes et al. 2011 é mais que o suficiente para o STARLIGHT reproduzir devidamente os parâmetros, assim, nos dando confiança dos resultados encontrados.

Como podemos ver pela figuras 4.1 e 4.2, encontramos diferentes idades e metalicidades para as populações que habitam o centro da galáxia. Basicamente duas componentes velhas, uma de alta metalicidade (12.6 Gyr,  $Z = 2.63 Z_\odot$ ) e outra com metalicidade intermediária (12.6 Gyr,  $Z = 1.58 Z_\odot$ ), além de outras com peso muito menor, muito mais jovens ( $t = 10^6$  yr) e se espalhando por todas as metalicidades da nossa base.

Uma possibilidade para estas componentes jovens aparecerem é devido ao fato dos modelos de SSPs não incluírem estrelas do BHB (*blue horizontal branch*, na sigla em inglês). Assim, para compensar a falta de fluxo nos modelos de populações velhas em comprimentos de onda em direção ao azul, o STARLIGHT encontra uma componente jovem "fictícia", para ajustar o fluxo devido a estas estrelas. Este resultado é encontrado em Fernandes et al. 2009,

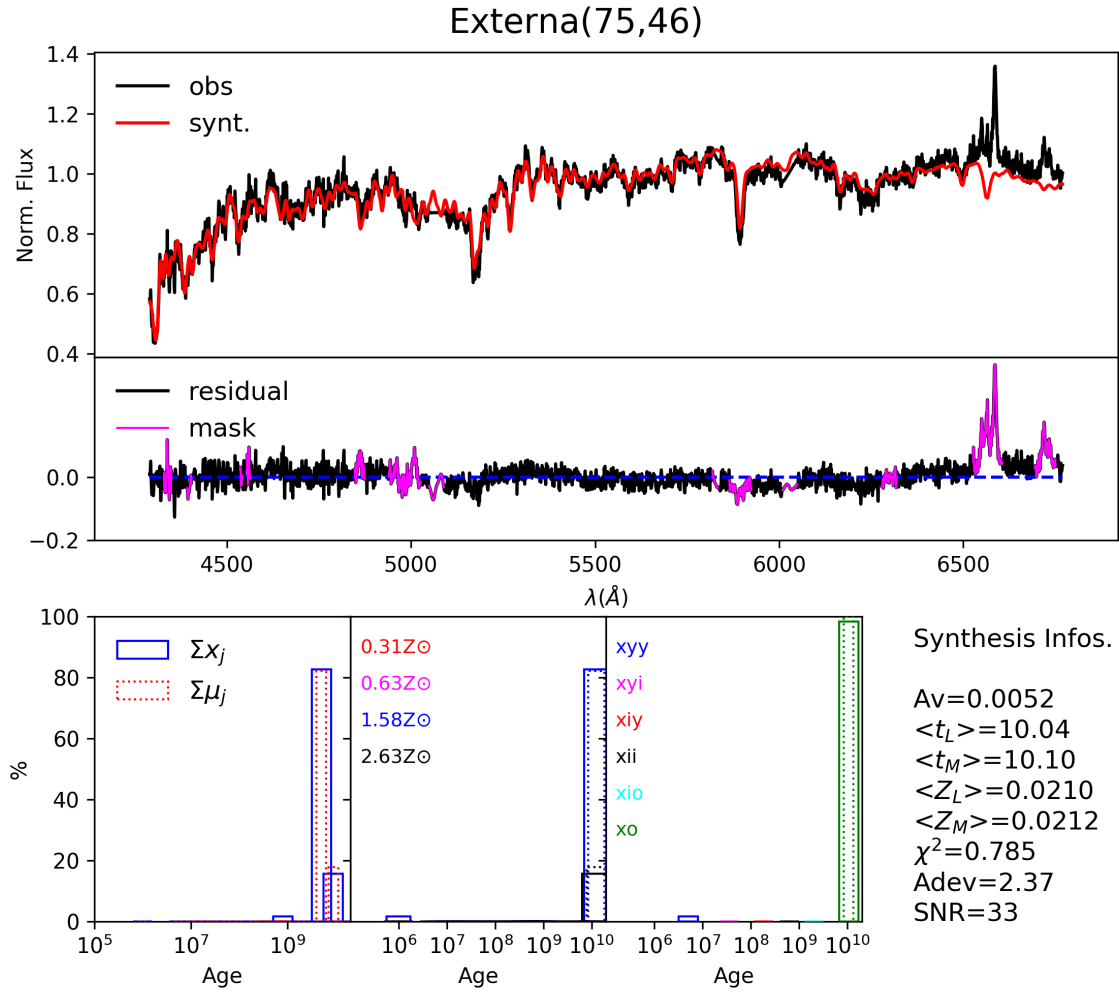




**Figura 4.1:** Resultados da síntese para um spaxel no pico do contínuo estelar. No topo, vemos o espectro observado, em preto, comparado com o sintético, em vermelho, e o resíduo, logo abaixo em azul-escuro, mostrando, em rosa, os pixels mascarados para a síntese (defeitos de CCD e linhas de emissão). No painel abaixo, vemos a contribuição de cada um dos vetores de população utilizados. Linhas contínuas mostram quantidades pesadas em luz e linhas pontilhadas, as pesadas em massa. Da esquerda para a direita: contribuição das populações somando as contribuições de mesma idade, mas metalicidades diferentes; contribuição de cada um dos elementos da nossa base de SSP com metalicidades discretizadas; e metalicidades somadas e idades também somadas em *bins* de idade. Ao lado são mostrados o avermelhamento na banda V (mag), a idade média pesada em luz e massa (Gyr), a metalicidade média pesada em luz e massa, o  $\chi^2/N_{Iamb}$ ,  $A_{dev}$  (%) e a razão sinal-ruído. Figura compilada com PYLIGHT, fornecido por Rogério Riffel.

onde espectros de aglomerados globulares são ajustados com os modelos.

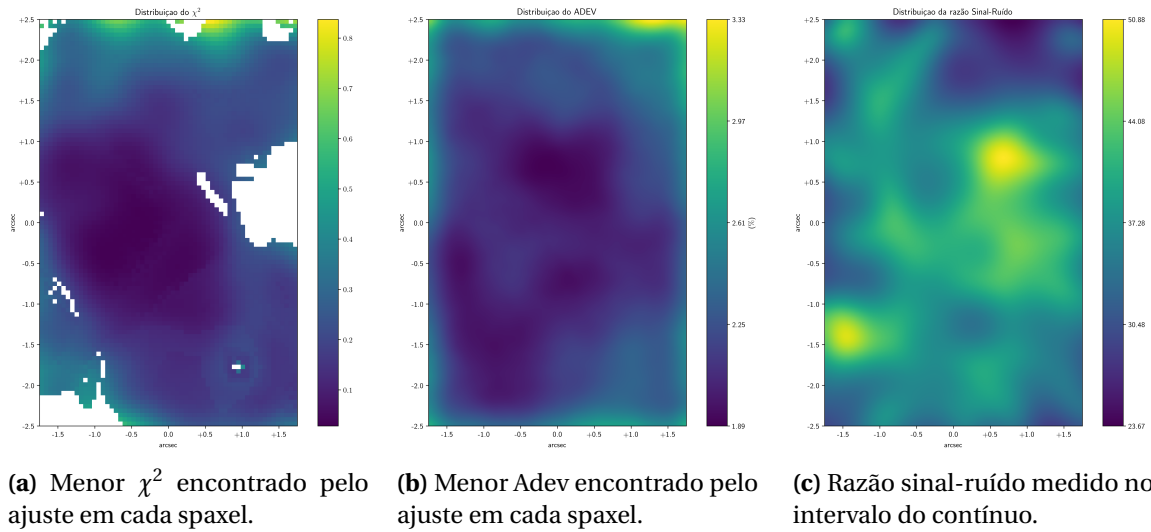
Agora, olhando para as componentes velhas especialmente (figura 4.4), notamos que há uma segregação espacial entre elas, sendo a de menor metalicidade se espalhando nas regiões mais externas da galáxia, enquanto a de maior metalicidade se concentra na parte central.



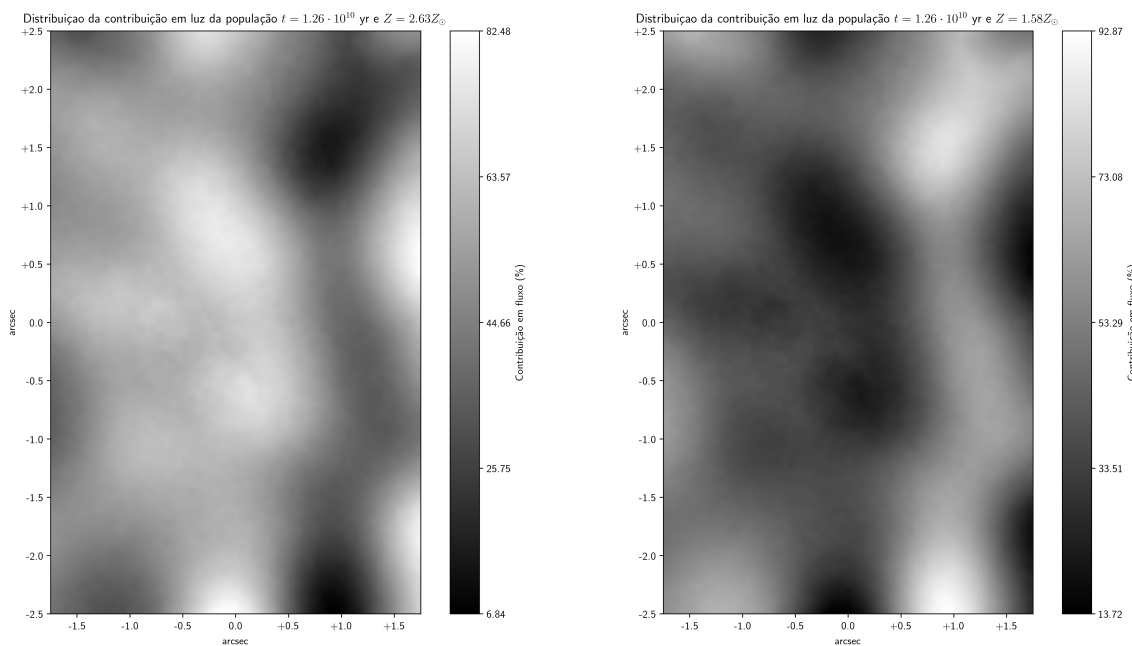
**Figura 4.2:** Resultados da síntese para um spaxel deslocado do centro da galáxia. A legenda é a mesma da figura 4.1.

Isso nos indica que no ato da sua formação, ela teve um rápido colapso do gás fazendo com que ocorresse um enriquecimento do gás que, logo depois, formaria as estrelas dessa população mais velha. A maior metalicidade no centro pode ser explicada pelo mecanismo de formação *inside-out*, que diz que as galáxias elípticas formam sua população estelar inicialmente mais ao centro e depois nas regiões mais externas, assim, o enriquecimento foi mais eficiente quando mais ao centro olhamos (Mo et al. 2010). Além disso, devido a sua alta massa é capaz de reter os elementos expelidos pelas supernovas que enriquecem o meio. Segundo Pipino et al. 2006, estes valores estão de acordo com o esperado, uma vez que atingem metalicidades maiores que a do Sol em menos de 0.5 Gyr.

As componentes jovens são as que destoam do conteúdo estelar da maioria das galáxias elípticas, localizando-se na região central. Um fato importante, porém, é que esta é uma



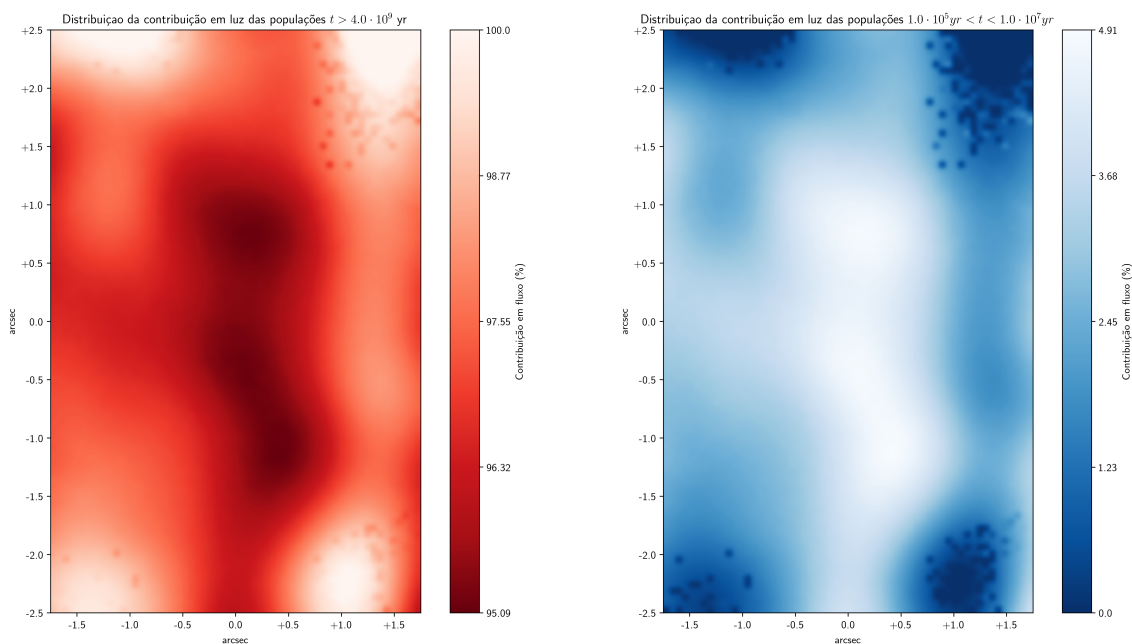
**Figura 4.3:** Painéis mostrando a distribuição espacial dos parâmetros que medem a qualidade do ajuste.



**Figura 4.4:** À esquerda, imagem mostrando a componente mais velha e metálica da nossa base. À direita, mostrando a de mesma idade, mas metalicidade inferior. Percebe-se que a população mais metálica domina no centro, enquanto que na periferia é a população menos metálica.

galáxia central de um grupo e, um dos mecanismos que este tipo de estrutura se forma é através de fusões de outras galáxias. Além disso, pode ter *inflow* de gás da teia cósmica ou até mesmo expelido pelo buraco negro central. Pela detecção de componentes tão jovens em

NGC 6868, algum mecanismo deve ter feito gás ter ido ao centro deste objeto a fim de formar essas estrelas. Além disso, essa população, claramente tem contribuição muito inferior a velha (máximo 5% em luz). A detecção desta população não ocorre em alguns poucos spaxeis, mas, sim em uma região que ocupa grande parte do nosso FoV, dando significância para nossa detecção. Como dito anteriormente, outra interpretação para estes achados é que os modelos não incluem as estrelas BHB.

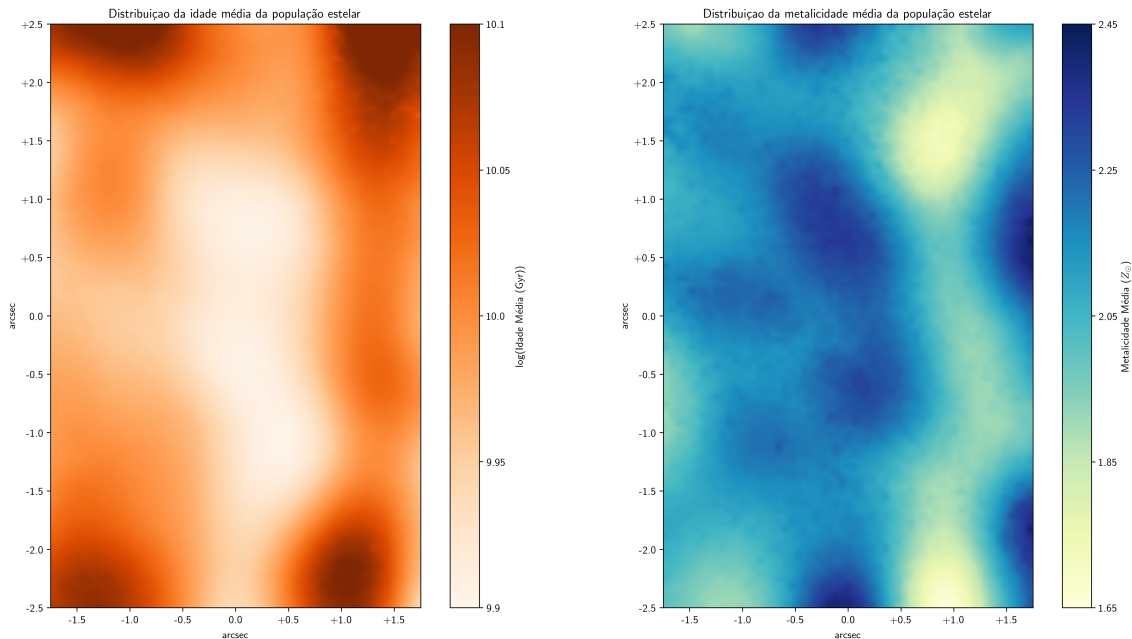


**Figura 4.5:** Pelas figuras percebemos que onde o fluxo das populações velhas é maior, o das mais jovens é menor e vice-versa. Isso não quer dizer que elas dominam no centro, uma vez que atingem no máximo ( $\sim 5\%$ ) de contribuição em fluxo, mas são mais presentes no centro.

Por último, não é encontrada a contribuição de uma lei de potências, apesar dela estar presente em nossa base. Isso é um indício de que a contribuição de um AGN não é significativa para o contínuo desta ou devido ao buraco negro central não estar ativo.

Os mapas da idade média e metalicidade média também nos dão importantes pistas dos processos de formação deste sistema. Quando olhamos a parte central desta galáxia, vemos que a idade média é inferior quando comparada as partes mais externas. Por outro lado, quando olhamos para a distribuição da metalicidade média, encontramos que a metalicidade é maior. Isso faz sentido, uma vez que se espera que o gás esteja enriquecido conforme as diferentes estrelas explodem em supernovas espalhando os elementos produzidos durante a evolução estelar. Porém, o fato da população ser mais jovem no centro é indício de um mecanismo *outside-in* para a população estelar, contrário ao que se espera para as galáxias

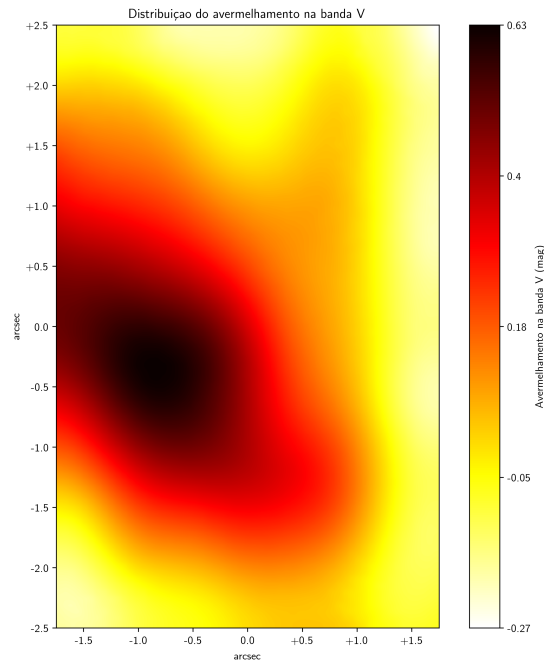
elípticas, uma vez que o gás colapsa primeiro no centro da galáxia. Para observarmos esta discrepância, esperamos que alguma interferência externa tenha ocorrido neste sistema, como a acreção de uma galáxia satélite ou algum contingente de gás indo para o seu centro.



**Figura 4.6:** À esquerda, mapa mostrando a idade média da galáxia, sendo menor no centro e maior nas bordas. À direita, metalicidade média, sendo maior no centro e menor nas bordas.

O mapa de avermelhamento (figura 4.7) indica que temos uma faixa espessa de poeira no centro deste objeto, atingindo valores de avermelhamento na banda V de 0.63 mag. A formação de poeira está atrelada a formação estelar recente, uma vez que as estrelas ficam embebidas no gás que as origina, e, portanto, na poeira das nebulosas. Assim, olhando para a galáxia como um objeto que evolui isolado, não conseguimos explicar estes achados, mas, por ter diversos satélites, é possível que estejamos vendo o resultado da acreção de um destes companheiros rico em poeira, indo ao encontro dos achados em Buson et al. 1993; Zeilinger et al. 1996.

Um problema que o código utilizado tem com o avermelhamento, é assumir que todos os vetores de população são avermelhados por um mesmo parâmetro. Isso, claramente, é muito hipotético, pelas razões descritas acima, mas, por mais simplista que seja, este modelo ajusta bem os dados, com uma pequena faixa nos comprimentos de onda próximos as linhas [NII] e [SII] onde há uma discrepância entre modelado e observado (figuras 4.1 e 4.2). Esta diferença poderia ser remediada por um parâmetro extra de extinção para populações mais jovens e, no futuro, queremos implementá-los.



**Figura 4.7:** Mapa do avermelhamento na banda V, relacionado a poeira na linha de visada do objeto. Claramente, observamos uma faixa espessa de poeira em direção ao centro deste objeto.

A absorção em  $Mg\lambda 5143$  é forte indicativo de processos de aumento de elementos do tipo  $\alpha$ , que na maioria das bibliotecas não estão incluídos. Ao que parece, o espectro modela bem esta absorção (figuras 4.1 e 4.2), indicando que processos  $\alpha$ , não desempenharam papel fundamental na formação desta população. Além disso, a linha em absorção  $Na\lambda 5894$  tem contribuição estelar, mas também do meio interestelar e por isso é mascarada na hora do ajuste. Vemos que há certa discrepância entre as amplitudes ajustada e observada, mas que provavelmente são devidas ao meio interestelar. Encontramos também evidências de duplos picos nesta linha, indicando uma cinemática do meio interestelar e das estrelas complexa.

Outro fato importante sobre os nossos dados é a presença da absorção em  $H\alpha$  devido a população estelar. Não é claro olhando apenas o espectro as contribuições que a população estelar tem sobre as linhas do gás em emissão. Porém, para que outras linhas de absorção como  $Mg\lambda 5143$ , sejam ajustadas é necessária a presença de uma componente em absorção em  $H\alpha$ . Isso terá efeito no futuro quando vamos analisar o gás ionizado e os respectivos fluxos e cinemática.

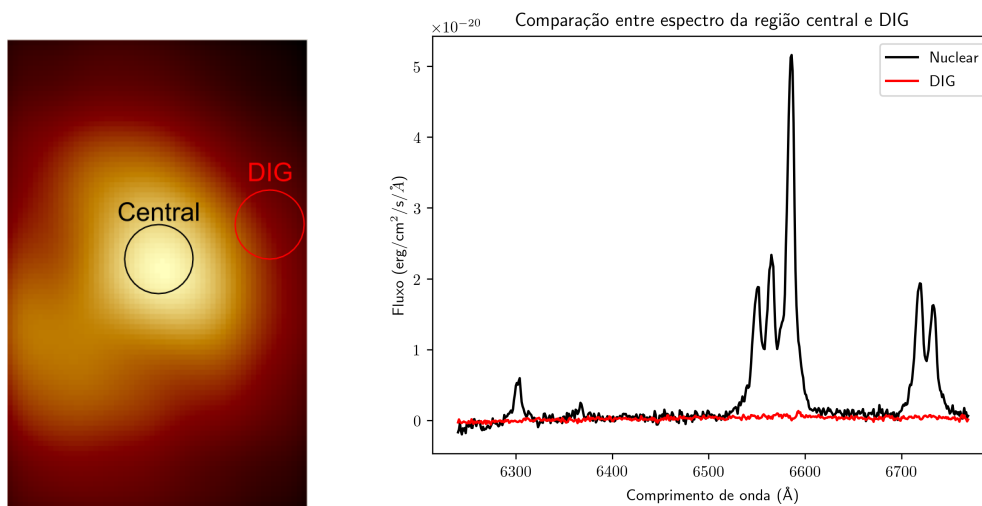
## 4.2 ANÁLISE PRELIMINAR DO GÁS IONIZADO

Após a subtração da componente estelar, nos resta o gás em emissão. Nele, vemos as linhas de emissão que surgem devido aos processos de ionização e são fundamentais para discernirmos entre as diferentes fontes.

Olhando para as linhas do [NII] e  $H\alpha$ , que possuem maior razão sinal-ruído, nas diferentes localizações vemos que seus perfis mudam conforme olhamos para diferentes localizações do seu núcleo, tornando ainda mais complexa o ajuste dos perfis das linhas.

### 4.2.1 Região de DIG

Uma das regiões mais curiosas presente em nossos dados foi a de uma região onde as linhas do [NII] e  $H\alpha$  sumiam, se igualando ao ruído naquele intervalo espectral, como podemos ver na figura 4.8. Este artefato no centro da galáxia nos indica a presença de um DIG (*diffuse ionized gas*, na sigla em inglês), como já foram encontradas estruturas em outras galáxias (Gomes et al. 2015), porém, para sabermos se realmente se trata deste tipo de fenômeno, temos de medir a temperatura e a densidade desta região, bem como a largura equivalente em  $H\alpha$ .



**Figura 4.8:** Figura mostrando as linhas de emissão de [NII],  $H\alpha$  e [SII] comparando a região central a região que pode ser um DIG.

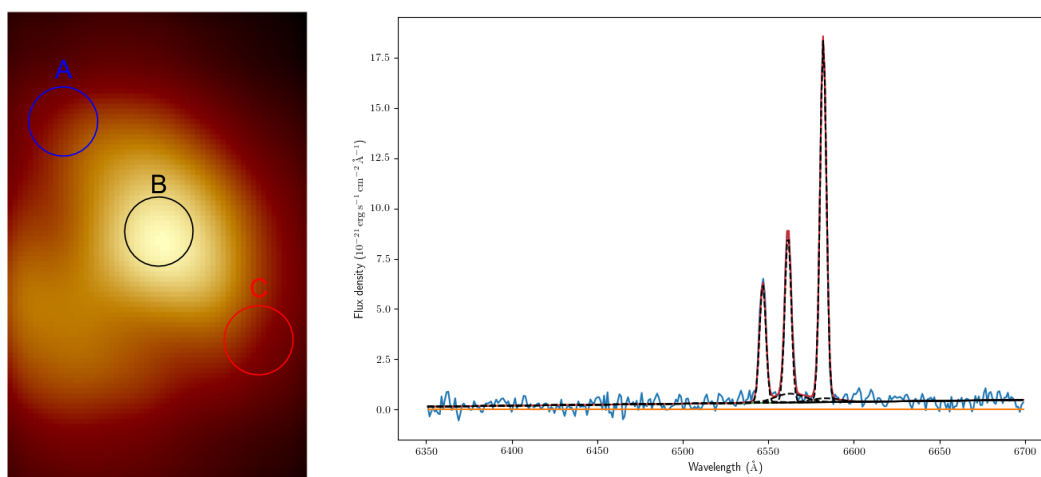
Esse comportamento das linhas é muito peculiar e, por isso, o ajuste dos perfis das linhas não foi feito nesta região, sendo mascarado nos ajustes subsequentes.

## 4.2.2 Cinemática do gás ionizado

Com a região em DIG mascarada, impondo  $S/N > 6$ , estimado usando o desvio-padrão em faixas de contínuo antes e depois das linhas, fizemos uma máscara para o nosso cubo de dados.

Os perfis das linhas deste objeto variam muito conforme o lugar que estamos olhando para eles, apresentando perfis duplos, com componentes largas ou linhas muito bem ajustadas apenas por uma componente. Por isso, o trabalho de ajuste destas linha foi ainda mais complexo. A fim de simplificarmos o processo de ajuste das diferentes componentes observados e facilitar a interpretação física dos processos, estabelecemos vínculos cinemáticos entre as diferentes componentes ajustadas. Assim, resultamos em dois grupos cinemáticos.

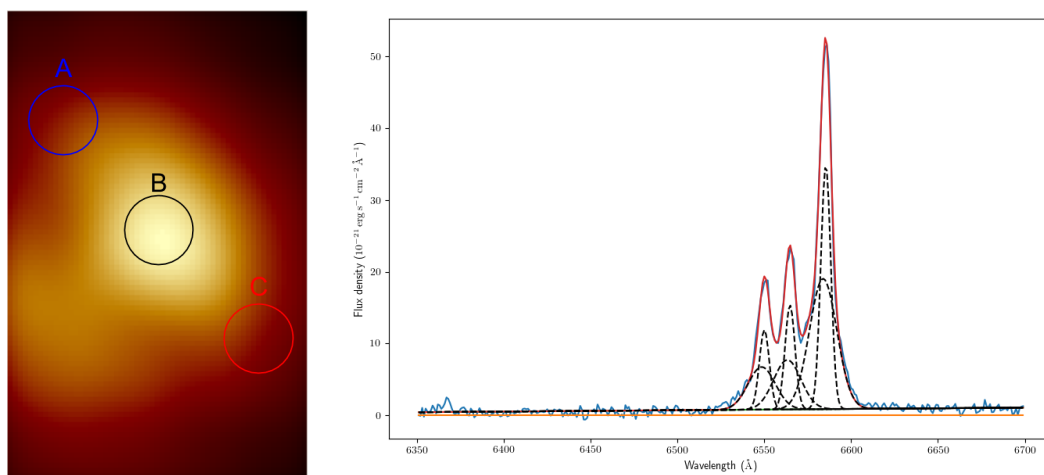
Uma vez que as condições iniciais estavam estabelecidas para um spaxel central, fizemos o ajuste das três linhas em todo cubo, começando neste spaxel e utilizando a solução dele como condição inicial para o próximo. Deste processo, resulta os ajustes das figuras 4.9, 4.10 e 4.11, evidenciando a complexidade já falada.



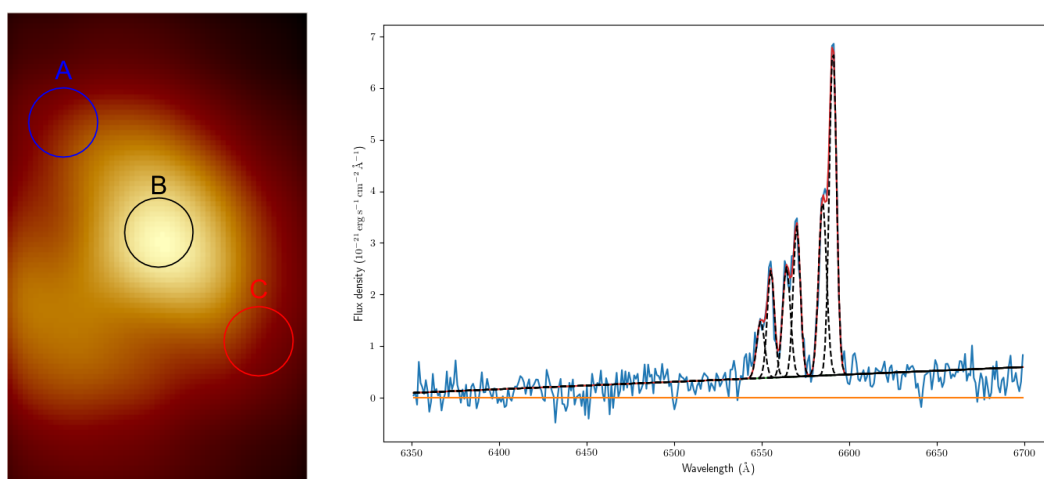
**Figura 4.9:** Ajuste do perfil de linhas [NII] e  $H\alpha$  na região A, onde se observa apenas uma componente para o gás ionizado. Em linhas pontilhadas pretas, o resultado do ajuste e cada uma das componentes; em laranja, a linha demarcando fluxo nulo; em preto, mas linha sólida, o pseudo-contínuo ajustado; em azul, o espectro ajustado; e , em vermelho, a soma de todas as componentes ajustadas. Como podemos ver, nosso método é efetivo em capturar o comportamento das linhas.

Um dos resultados interessantes que obtemos pela análise da figura 4.10, é que o fato de termos componentes mais largas em [NII] também, é um indício de que essa contribuição não venha de uma contribuição de uma região de linhas largas como a dos AGNs tradicionais descritas em Peterson 1997, uma vez que essas linhas aparecem apenas em regiões de baixíssima densidade. Além disso, a dispersão de velocidades encontrada não é da ordem





**Figura 4.10:** Ajuste do perfil de linhas [NII] e  $H\alpha$  na região B, onde se observa duas componentes para cada uma das linhas: uma mais larga e outra estreita. O esquema de cores segue o mesmo padrão que o da figura 4.10 e, novamente, o espectro é bem ajustado pelo modelado.



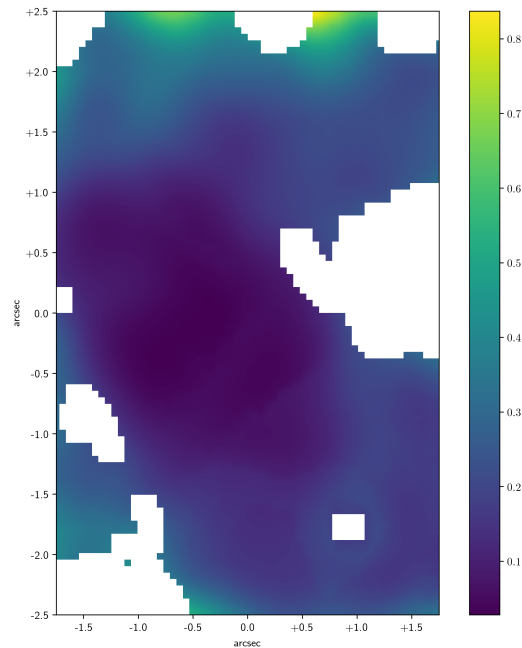
**Figura 4.11:** Ajuste do perfil de linhas [NII] e  $H\alpha$  na região C, onde se observa duas componentes para cada uma das linhas: as duas com larguras comparáveis, porém, com um *offset* na velocidade. O esquema de cores segue o mesmo padrão que o da figura 4.10 e, novamente, as linhas são bem ajustadas.

daquelas encontradas em outras galáxias com núcleo ativo onde a componente larga tem dispersão de velocidades maiores do que  $1000\text{ km/s}$ .

O fato de existirem perfis duplos como os da imagem 4.11, nos indicam que o gás está passando por perturbações e a cinemática no centro é muito complexa. Assim, precisamos ajustar modelos cinemáticos, para entender, no futuro o que está acontecendo no centro deste objeto.

Quando olhamos, na figura 4.12, para o  $\chi^2$  minimizado no ajuste, notamos que a grande

maioria dos spaxeis foi bem ajustada pelos perfis de linha assumidos, nos dando confiabilidade nos resultados encontrados.

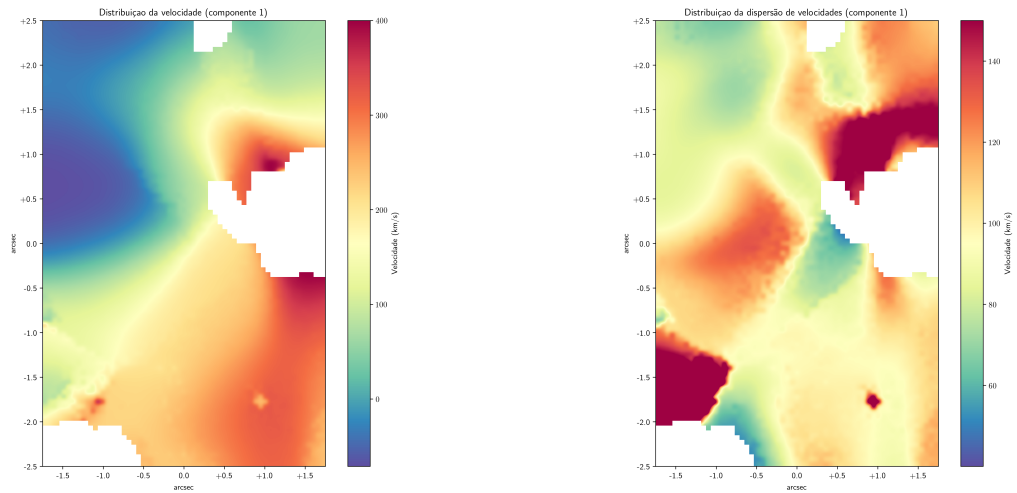


**Figura 4.12:** Mapa do  $\chi^2$  minimizado obtido no ajuste das linhas. Podemos ver que em todo o FoV ele fica próximo de zero, garantindo que as linhas foram bem ajustadas. Os pontos onde temos regiões brancas é onde os spaxeis ou foram mascarados ou o ajuste não foi bem sucedido.

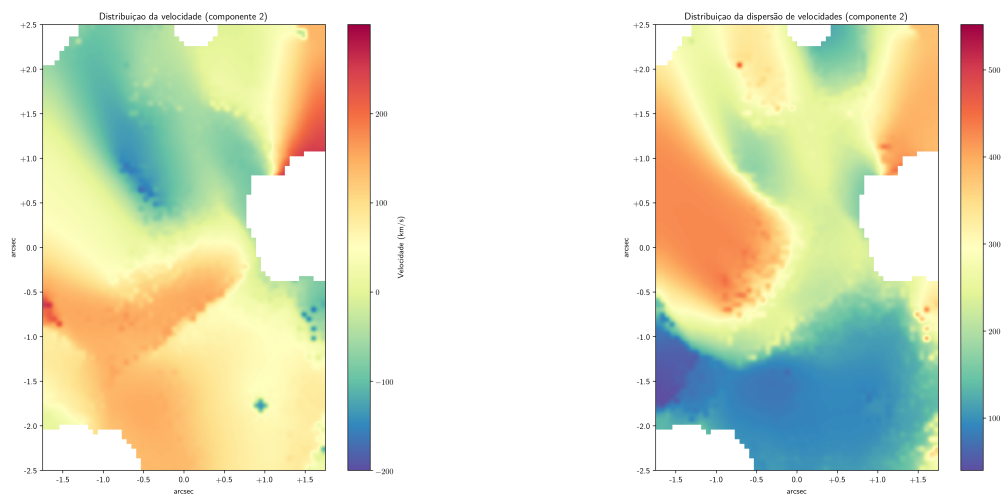
Com este método, conseguimos saber a cinemática do gás neste objeto através do ajuste das linhas, obtendo a velocidade e a dispersão de velocidades do gás. Vemos os resultados destes ajustes para a primeira e segunda componentes da figuras 4.13 e 4.14, respectivamente.

A primeira constatação quando olhamos para a figura 4.13 é um perfil de velocidades que se encaixa com um modelo de rotação, sendo a esquerda a componente se deslocando na direção do observador e a direita, se afastando do observador. Este cenário concorda com um disco de gás ionizado em rotação. Vemos que a dispersão de velocidade dessa componentes é muito regular através do cubo, dando indícios de ser uma uma componente que sofreu poucas perturbações.

Pela figura 4.14, não observamos um padrão claro de rotação ordenado. Esta, portanto, deve ser uma componente mais turbulenta do gás, apresentando várias assimetrias no mapa de velocidades. Além disso vemos dois comportamentos no mapa da dispersão: na parte superior, as dispersões são maiores, alargando as linhas; na parte inferior as linhas tem



**Figura 4.13:** Resultados para a velocidade (painel esquerdo) e dispersão de velocidades (painel direito) para uma das componentes. O mapa das velocidades indica um perfil de rotação, com módulos das velocidades crescendo conforme nos afastamos do centro.



**Figura 4.14:** Resultados para a velocidade (painel esquerdo) e dispersão de velocidades (painel direito) para a outra componente. Observamos que o mapa de velocidades é muito mais caótico que o da outra componente. Além disso, o mapa da dispersão de velocidades aparenta uma região com componentes estreitas fazendo fronteira com uma outra região onde o alargamento das linhas é maior.

largura comparável a da primeira componente.

No futuro, queremos fazer o ajuste de modelos cinemáticos para estas componentes a fim de entender melhor os fenômenos envolvidos nestes processos e, também, encontrar

através deste processo assimetrias ou outros componentes capazes de nos fazer entender o que acontece na galáxia.

# Capítulo 5

## Conclusão

A galáxia NGC 6868 é um objeto muito interessante com inúmeras complexidades na sua estrutura e processos de formação. Outro ponto muito interessante é o fato de ter sido observada em todo o espectro eletromagnético, tendo um panorama do que acontece nela e no seu ambiente indo do raio-X até o radio. Nossas observações no intervalo de comprimento de onda no visível nos possibilitaram realizar a síntese de população estelar espacialmente resolvida, bem como fazer uma análise cinemática preliminar do gás em emissão presente na região central deste objeto.

Através da síntese da população estelar, encontramos que:

- A população dominante no centro de NGC 6868 é velha e rica em metais ( $\sim 10 \text{ Gyr}, 2.0 Z_{\odot}$ ), em acordo com o que se espera em galáxias elípticas.
- A componente jovem encontrada pode ser explicada tanto por uma formação estelar muito recente devido a uma acreção de gás frio que foi comprimido e transformado em estrelas, pela ausência das estrelas BHB nos modelos de SSP utilizados, ou ainda, um mero problema de ruído.
- O fato da idade média ser menor onde a metalicidade é maior vai de encontro com o que esperamos, uma vez que onde as populações mais jovens foram formadas com o gás enriquecido pelas estrelas que já explodiram em supernovas.
- Não é encontrada a presença de uma lei de potência.
- A presença de uma faixa de poeira no centro da galáxia está de acordo com estudos prévios.

A análise preliminar do gás ionizado nos diz que:

- A cinemática do gás no centro de NGC 6868 tem muitas complexidades apresentando perfis duplos e componentes largas.
- Há um região onde as linhas de emissão desaparecem do espectro deste objeto. Uma das hipóteses que pode explicar é a de que esta é uma região de DIG, mas outras medidas mais robustas são necessárias.
- Uma das componentes do gás ionizado aparenta estar organizado num disco em rotação no centro da galáxia.
- A outra aparenta ter um comportamento muito mais turbulento, aparentando ter duas regiões mais claras que se diferenciam pela dispersão das linhas.
- Não é encontrada uma componente larga que seja comparável as dispersões de velocidade encontradas em AGNs típicos, desfavorecendo o cenário de ionização por um LLAGN.

Para o futuro, seria interessante, ajustar modelos cinemáticos a fim de entender de que forma o gás está organizado no centro deste objeto. Os mapas de canais podem, também, nos ajudar a entender a cinemática do gás. Além disso, examinar os diagramas diagnóstico e comparar com modelos de ionização em cada região. Também se quer analisar a cinemática estelar e medir os coeficientes de Lick, para sabermos como ocorreu a evolução química desta população.

# Bibliografia

- Albrecht, Andreas et al. (1982). Em: *Physical Review Letters* 48.17, pp. 1220–1223.
- Allen, Mark G. et al. (set. de 2008). Em: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 178.1, pp. 20–55.
- Barth, Aaron J et al. (s.d.). Rel. técn.
- Benson, A. J. et al. (dez. de 2003). Em: *The Astrophysical Journal* 599.1, pp. 38–49.
- Bregman, Joel N et al. (1998). Rel. técn., pp. 670–676.
- Buson, L. M. et al. (1993). Em: *Astronomy and Astrophysics* 280.1, pp. 409–425.
- Caon, Nicola et al. (mar. de 2000). Em: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 127.1, pp. 39–58.
- Cardelli, Jason A. et al. (out. de 1989). Em: *The Astrophysical Journal* 345, p. 245.
- Cid Fernandes, R. et al. (nov. de 2004). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 355.1, pp. 273–296.
- Cid Fernandes, R. et al. (mai. de 2011). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 413.3, pp. 1687–1699.
- Crain, Robert A. et al. (abr. de 2015). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450.2, pp. 1937–1961.
- Croton, Darren J. et al. (jan. de 2006). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 365.1, pp. 11–28.
- Davis, M. et al. (mai. de 1985). Em: *The Astrophysical Journal* 292, p. 371.
- Delgado, R. M. Gonzalez et al. (mar. de 2005). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 357.3, pp. 945–960.
- Diniz, Suzi I. F. et al. (set. de 2017). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 470.2, pp. 1703–1717.
- Dopita, M. A. et al. (dez. de 1995). Em: *Astrophysical Journal* 455, p. 468.
- Dopita, Michael A. et al. (mar. de 2015). Em: *The Astrophysical Journal* 801.1, p. 42.
- Fernandes, Roberto Cid et al. (abr. de 2005). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 358.2, pp. 363–378.

## Bibliografia

---

- Fernandes, Roberto Cid et al. (dez. de 2009). Em:
- Ferrarese, Laura et al. (ago. de 2000). Em: *The Astrophysical Journal* 539.1, pp. L9–L12.
- Ferrari, F. et al. (abr. de 1999). Em: *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* 136.2, pp. 269–284.
- Gamow, G. et al. (1939).
- Gebhardt, Karl et al. (ago. de 2000). Em: *The Astrophysical Journal* 539.1, pp. L13–L16.
- Gomes, J. M. et al. (nov. de 2015). Em:
- Guth, Alan H. (1981). Em: *Physical Review D* 23.2, pp. 347–356.
- Häring, Nadine et al. (abr. de 2004). Em: *The Astrophysical Journal* 604.2, pp. L89–L92.
- Heckman, T. M. (jul. de 1980). Em: *Astronomy and Astrophysics* 87, pp. 152–164.
- Kauffmann, Guinevere et al. (abr. de 2003). Em:
- Kormendy, John et al. (abr. de 2013). Em:
- Larson, R. B. (mar. de 1974a). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 166.3, pp. 585–616.
- (nov. de 1974b). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 169.2, pp. 229–245.
- (dez. de 1975). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 173.3, pp. 671–699.
- (jul. de 1976). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 176.1, pp. 31–52.
- Lifshitz, E. (fev. de 2017). Em: *General Relativity and Gravitation* 49.2.
- Macchetto, F et al. (dez. de 1996). Em: *Astronomy and Astrophysics, Supplement* 120, pp. 463–488.
- Machacek, M. E. et al. (mar. de 2010). Em: *The Astrophysical Journal* 711.2, pp. 1316–1332.
- Madau, Piero et al. (fev. de 2014). Em:
- Magorrian, John et al. (jun. de 1998). Em: *The Astronomical Journal* 115.6, pp. 2285–2305.
- Mallmann, Nicolas Dullius et al. (ago. de 2018). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 478.4, pp. 5491–5504.
- Marconi, Alessandro et al. (mai. de 2003). Em: *The Astrophysical Journal* 589.1, pp. L21–L24.
- Mauch, T. et al. (jul. de 2003). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 342.4, pp. 1117–1130.
- Mo, Houjun et al. (2010). Em: *gfe*.
- Penzias, A. A. et al. (jul. de 1965). Em: *The Astrophysical Journal* 142, p. 419.
- Peterson, B. M. (Bradley M.) (1997). Cambridge University Press, p. 238. ISBN: 0521473489.
- Pipino, Antonio et al. (out. de 2006). Em:
- Rickes, M. G. et al. (mar. de 2008). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 384.4, pp. 1427–1436.



## Bibliografia

---

- Schaye, Joop et al. (jan. de 2015). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446.1, pp. 521–554.
- Silk, Joseph et al. (1998). Rel. técn.
- Slee, O B et al. (1994). Rel. técn., pp. 928–946.
- Springel, Volker et al. (jun. de 2005). Em: *Nature* 435.7042, pp. 629–636.
- Stasińska, G. et al. (set. de 2008). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters* 391.1, pp. L29–L33.
- Vazdekis, A. et al. (mai. de 1996). Em:
- Vazdekis, A. et al. (jun. de 2010). Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 404.4, pp. 1639–1671.
- Wagoner, Robert V. et al. (abr. de 1967). Em: *The Astrophysical Journal* 148, p. 3.
- Zeilinger, W. W. et al. (1996). Em: *Astronomy and Astrophysics Supplement* 120.1, pp. 257–266.