



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Observatório do Valongo  
Programa de Pós Graduação em Astronomia



O papel do ambiente na formação de galáxias luminosas  
no ultravioleta: Uma analogia para o estudo em alto redshift

Luidhy Santana da Silva

Rio de Janeiro  
Maio de 2020

O papel do ambiente na formação de galáxias luminosas  
no ultravioleta: Uma analogia para o estudo em alto redshift

Luidhy Santana da Silva

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós  
Graduação em Astronomia, Observatório do Val-  
ongo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
como parte dos requisitos necessários à obtenção do  
título de Doutor em Ciências (Astronomia).

Orientador: Thiago Signorini Gonçalves

Rio de Janeiro  
Maio de 2020

## CIP - Catalogação na Publicação

S586p Silva, Luidhy Santana da  
O papel do ambiente na formação de galáxias  
luminosas no ultravioleta: uma analogia para o  
estudo em alto redshift / Luidhy Santana da Silva.  
- Rio de Janeiro, 2020.  
142 f.

Orientador: Thiago Signorini Gonçalves.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, Observatório do Valongo, Programa de Pós  
Graduação em Astronomia, 2020.

1. Evolução de galáxias. 2. Análogas de alto  
redshift. 3. Efeitos ambientais. I. Gonçalves,  
Thiago Signorini, orient. II. Título.

# O papel do ambiente na formação de galáxias luminosas no ultravioleta: uma analogia para estudo em alto redshift

**Luidhy Santana da Silva**

**Dr. Thiago Signorini Gonçalves (Orientador)**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Astronomia, Observatório do Valongo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências - Astronomia.

Aprovada por:

**Dr. Reinaldo Ramos de Carvalho – (Avaliador Externo) – UNICID**

**Dr. Bruno Azevedo Lemos Moraes – (Avaliador Externo) – IF/UFRJ**

**Dr. Ribamar Rondon de Rezende dos Reis – (Avaliador Interno) – IF e OV/UFRJ**

**Dr. Marco Grossi – (Avaliador Interno) – OV/UFRJ**



**Presidente, Dr. Thiago Signorini Gonçalves (Orientador) – OV/UFRJ**

Esta defesa realizou-se através de videoconferência, completamente remota, em conformidade com as Resoluções do CEPG n.º 1 de 16 de março de 2020 e n.º 2 de 24 de abril de 2020.

Junho de 2020

O presente trabalho foi realizado com apoio da  
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
Nível Superior – (Brasil) CAPES – Código de  
Financiamento 001.

## ACKNOWLEDGEMENTS

- A minha mãe por ter me dado a chance de vislumbrar o Universo.
- Aos meus amigos Jorge Marcelino e Gianlorenzo Santarosa pela ótima convivência na república “Clubinho da Astro”.
- Aos meus orientadores Thiago Signorini Gonçalves e Antara Basu-Zych.
- Aos meus amigos Rafael Eufrásio, Stela Ishitani, Luis Guedes, Júlia Teixeira, Thomas Nyugen, Thomas Bounias, Sophie Beuamont pela amizade e apoio.
- A Dr. Eloísa Maia Vidal que acompanhou minha jornada desde o começo.
- A todos os membros do grupo de astrofísica extragaláctica do OV (LASEX).
- A CAPES pelo financiamento deste projeto.

*“I am just a child who has never grown up. I still keep asking these  
'how' and 'why' questions. Occasionally, I find an answer”.*

STEPHEN HAWKING

# O papel do ambiente na formação de gláxias luminosas no ultravioleta: uma analogia para o estudo em alto redshift.

## Resumo

Estudamos o ambiente de galáxias luminosas no ultravioleta (UVLGs) com o objetivo de verificar se o mesmo apresenta alguma influência nas propriedades observadas. Para esse estudo foi criado o ELBA (Environment of Lyman Break Analogs) survey. ELBA consiste em um levantamento que utilizou a Dark Energy Camera para imagear uma subamostra de UVLGs nas bandas  $u$ ,  $g$ ,  $r$  e  $i$ , obtendo uma cobertura total de  $33 \text{ deg}^2$ . Dessa forma, o principal objetivo do ELBA é investigar o ambiente que circunda LBAs. LBAs são uma amostra de galáxias localizadas em ( $z \sim 0,2$ ) que exibem características semelhantes às observadas em galáxias presentes em  $z \sim 3$ . Utilizando os dados do ELBA estudamos a densidade ambiental em torno de LBAs para verificar possíveis correlações entre LBAs e outros objetos com propriedades semelhantes localizados no mesmo campo. Aplicamos o método de vizinhos próximos para medir a densidade física em torno de cada galáxia observada no ELBA, onde foi possível obter essa medida para pequenas e grandes escalas. Comparando os resultados entre LBAs e a população geral de galáxias no campo, obtivemos que para escalas de  $\sim 1.5 \text{ Mpc}$  LBAs habitam regiões até 1 dex mais densas. Por outro lado, apresentam densidade semelhante quando fazemos a mesma medida na escala de  $\sim 3.0 \text{ Mpc}$ , onde obtivemos uma diferença de  $\sim 0.18$  dex. O fato dessas galáxias habitarem ambientes com maior densidade em relação aquelas de mesma massa, oferece evidências de processos evolutivos diferenciados onde interações gravitacionais (*merger*) possam ser mais importantes e mais intensas. Nossos resultados sugerem que encontros próximos, como fusões, podem ser os principais responsáveis pela morfologia irregular e alta atividade de formação estelar observadas nestes objetos. Nesse contexto, concluímos que além das características físicas semelhantes a objetos localizados em alto redshift, sugerimos que LBAs também apresentam ambiente semelhante ao observado em galáxias starforming típicas presentes no universo distante.

Palavras-chave: Evolução de galáxias. Análogas de alto redshift. Efeitos ambientais

# THE ROLE OF ENVIRONMENT IN THE FORMATION OF ULTRAVIOLET LUMINOUS GALAXIES: AN ANALOGY TO STUDY HIGH REDSHIFT GALAXIES

## Abstract

The Environment of Lyman Break Analogues (ELBA) survey is an imaging survey of  $33 \text{ deg}^2$  of the southern sky. The survey was observed in  $u$ ,  $g$ ,  $r$ , and  $i$  bands with the Dark Energy Camera (DECam) on the Blanco telescope. The main goal of this project is to investigate the environment of Lyman break analogues (LBAs), lowredshift ( $z \sim 0.2$ ) galaxies that are remarkably similar to typical star-forming galaxies at  $z \sim 3$ . We explore whether the environment has any influence on the observed properties of these galaxies, providing valuable insight on the formation and evolution of galaxies over cosmic time. Using the Nearest Neighbour method, we measure the physical density of each object ranging from small to large scales (clusters of galaxies). Comparing the environment around LBAs with that of the general galaxy population in the field, we conclude that LBAs, on average, populate denser regions at small scales ( $\sim 1.5 \text{ Mpc}$ ), but are located in similar environment to other star-forming galaxies at larger ( $\sim 3.0 \text{ Mpc}$ ). This offers evidence that nearby encounters such as mergers may influence the star formation activity in LBAs, before infall onto larger galaxy clusters. We interpret this an indication of galaxy pre-processing, in agreement with theoretical expectations for galaxies at  $z \sim 2-3$  where the gravitational interactions are more intense in early formation processes of this objects.

**Keywords:** Galaxy Evolution. Local Analogs. High Redshift

## LIST OF FIGURES

	<u>Page</u>
1.1 Modelo Monolítico de Formação de Galáxias . . . . .	17
1.2 Representação do Modelo Hierárquico . . . . .	18
1.3 Imagem simulada do universo em redshift zero . . . . .	19
1.4 Diagrama de Hubble . . . . .	21
1.5 Relação Morfologia-Densidade . . . . .	24
1.6 Aglomeração de galáxias em $z \sim 2$ . . . . .	25
1.7 Distribuição da massa de halos de matéria escura . . . . .	26
1.8 Ilustração de como ocorre a pressão de arraste . . . . .	27
1.9 Ilustração de como ocorre o processo de estrangulamento . . . . .	28
1.10 Galáxias que apresentam o fenômeno de merger em diferentes estágios . .	31
1.11 Taxa de mergers em função do redshift . . . . .	32
1.12 Exemplos de galáxias localizadas em alto redshift ( $2.2 < z < 3$ ) . . . . .	34
1.13 Evolução da sequência principal de galáxias starforming em função do redshift . . . . .	35
1.14 Técnica de Drop-out para identificar galáxias em alto redshift . . . . .	36
1.15 Diagrama BPT para galáxias locais e objetos em alto redshift . . . . .	39
1.16 Galáxia análoga de alto redshift com observações simuladas para difer- entes distâncias . . . . .	40
1.17 Estudo ambiental das UVLGs . . . . .	44
1.18 Estudo ambiental de LBGs . . . . .	45
2.1 Amostra de LBAs observadas pelos telescópios Hubble e GALEX. . . . .	48
2.2 Espectro típico de uma LBA. . . . .	49
2.3 LBAs no diagrama BPT. . . . .	50
2.4 Localização na esfera celeste das LBAs observadas no ELBA. . . . .	52
2.5 LBAs observadas no ELBA. . . . .	53
2.6 Separação entre estrelas e galáxias. . . . .	55
2.7 Distribuição de magnitudes em função do S/N para fontes pontuais. . . . .	56
2.8 Comparação de magnitudes entre ELBA e DES para os filtros <i>gri</i> . . . . .	57
3.1 Ajuste de SED . . . . .	60
3.2 Medidas de redshift fotométrico utilizando as bandas ugri . . . . .	62
3.3 Medidas de redshift fotométrico utilizando bandas fotométricas do ELBA e UKIDSS . . . . .	63
3.4 Incertezas para diferentes bins de redshift . . . . .	64
3.5 Função de seleção aplicada a distribuição de redshifts presentes no ELBA	67

3.6	Relação Morfologia-Densidade obtida com os dados do ELBA . . . . .	68
3.7	Aglomerado de Coma . . . . .	69
3.8	Função de seleção aplicada ao aglomerado de Coma . . . . .	70
3.9	Relação Morfologia-Densidade obtida para objetos localizados na região do aglomerado de Coma . . . . .	71
4.1	Comparação das medidas de densidade superficial para os estimadores k4, k5 e k10. . . . .	73
4.2	Distribuição das densidades superficiais utilizando os estimuladores k4 e k10 . . . . .	74
4.3	Distribuição das densidades superficiais utilizando os estimadores k4 e k10, destacando a média de cada uma das medidas para as diferentes populações . . . . .	76
4.4	Relação entre taxa de formação estelar e massa . . . . .	78
4.5	Dependência ambiental da taxa de formação estelar para uma amostra limitada em $0.1 \leq z \leq 0.25$ . . . . .	81
4.6	Dependência ambiental da taxa de formação estelar específica para uma amostra limitada em $0.1 \leq z \leq 0.25$ . . . . .	82
4.7	Ajuste de populações estelares para uma LBA . . . . .	87
5.1	Região observada no BLISS. . . . .	89
5.2	<i>Modest Class</i> para a primeira versão do BLISS. . . . .	90
5.3	BLISS J0321 + 0438 (BLISS1) . . . . .	91
5.4	Região observada no DELVE. . . . .	93
5.5	Região observada no BLINK. . . . .	94
5.6	Separação estrela-galáxia nos dados do BLINK. . . . .	95
5.7	Candidatos a contrapartida óptica de ondas gravitacionais do evento S190510g. . . . .	97
5.8	Exemplo de SED buscada pelo CANGA. . . . .	100
A.1	Ajuste de populações estelares para uma LBA . . . . .	129
A.2	Ajuste de populações estelares para LBA223 . . . . .	130
A.3	Ajuste de populações estelares para LBA228 . . . . .	131
A.4	Ajuste de populações estelares para LBA231 . . . . .	132
A.5	Ajuste de populações estelares para LBA238 . . . . .	133
A.6	Ajuste de populações estelares para LBA242 . . . . .	134
A.7	Ajuste de populações estelares para LBA246 . . . . .	135
A.8	Ajuste de populações estelares para LBA315 . . . . .	136
A.9	Ajuste de populações estelares para LBA326 . . . . .	137
A.10	Ajuste de populações estelares para LBA334 . . . . .	138

A.11 Ajuste de populações estelares para LBA349 . . . . .	139
---	-----

## LIST OF TABLES

	<u>Page</u>
2.1 Propriedades das UVLGs . . . . .	46
2.2 LBAs observadas no ELBA ( <i>Environment of Lyman Break Analogs</i> ) . . .	50
2.3 Comparação de magnitudes limite entre ELBA,SDSS and DES para de- tecções de $10\sigma$ . . . . .	56
4.1 Medidas de densidade obtidas utilizando o método de vizinhos próximos para cada LBA da amostra. Todas as medidas foram corrigidas pela função de seleção. . . . .	74
4.2 Medidas de densidade obtidas, utilizando o método de vizinhos próximos para LBAs em comparação com galáxias em bins de massa, SFR e sSFR com valores similares aos observados em LBAs. Todas as medidas foram corrigidas pela função de seleção. . . . .	80
4.3 Medidas de densidade média obtidas utilizando o método de vizinhos próximos para LBAs em comparação com todas as galáxias observadas. .	80
4.4 Medidas de massa obtidass com o método de síntese de populações este- lares para todas LBAs da amostra em comparação com outro métodos. 1: Síntese de populações estelares utilizando o código STARLIGHT, 2: Medidas de Overzier et al. (2009), Hoopes et al. (2007), 3: ajuste de SED utilizando o código LePhare. . . . .	85
4.5 Parâmetros obtidos com o método de síntese de populações estelares para todas LBAs da amostra . . . . .	86

## CONTENTS

	<u>Page</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Formação de galáxias . . . . .	16
1.2 Tipos de galáxias . . . . .	19
1.3 Processos ambientais . . . . .	21
1.3.1 Pressão de arraste . . . . .	26
1.3.2 Estrangulamento . . . . .	28
1.3.3 Fusão de galáxias ( <i>merger</i> ) . . . . .	30
1.4 Galáxias em alto redshift . . . . .	33
1.5 Galáxias análogas de alto redshift . . . . .	38
1.6 O papel do ambiente na formação de galáxias . . . . .	41
1.7 O ambiente de galáxias análogas de Lyman break . . . . .	42
<b>2 DADOS: ENVIRONMENT OF LYMAN BREAK ANALOGS SURVEY</b> . . . . .	<b>46</b>
2.1 Amostra . . . . .	46
2.2 Observações com Dark Energy Camera (DECam) . . . . .	51
2.3 Catálogos . . . . .	54
<b>3 METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>58</b>
3.1 Redshifts fotométricos . . . . .	58
3.2 Método dos vizinhos mais próximos . . . . .	64
3.2.1 Testando o método no aglomerado de Coma . . . . .	67
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	<b>72</b>
4.1 LBAs estão presentes em grupos ou pares? . . . . .	72
4.2 Ambiente das LBAs em comparação com galáxias de propriedades semelhantes . . . . .	77
4.2.1 Propriedades Físicas . . . . .	77
4.2.2 LBAs habitam regiões de maior densidade . . . . .	78
4.3 Populações estelares em LBAs . . . . .	84
<b>5 OUTROS PROJETOS DESENVOLVIDOS DURANTE O DOUTORADO</b> . . . . .	<b>88</b>

5.1	Blanco Imaging the Southern Sky Survey (BLISS)	88
5.2	DECam Local Volume Explorer (DELVE)	91
5.3	Blanco i-band Kilo Degree Survey (BLINK)	94
5.4	Observações da contrapartida óptica das ondas gravitacionais	96
5.5	Census of Austral Nearby Galaxies (CANGA)	99
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS</b>	<b>101</b>
6.1	Perspectivas	103
	<b>REFERENCES</b>	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE A - AJUSTE DE POPULAÇÕES ESTELARES EM LBAS.</b>	<b>129</b>
	<b>APÊNDICE B - PIPELINE PARA PRODUZIR IMAGENS COADD</b>	<b>140</b>
B.1	Versão da rotina para construir imagens coadd no ELBA survey	140

# 1 INTRODUÇÃO

Galáxias são as unidades básicas que formam as grandes estruturas do universo. Até meados do século XX, ainda existiam dúvidas se tais objetos estavam localizados na região interna ou externa da Via Láctea; devido a isso, os mesmos eram conhecidos como nebulosas. Somente em 1929, Edwin Hubble mostrou que esses objetos, na verdade, se tratavam de outras galáxias (Hubble, 1929). O artigo publicado por Hubble, no qual foi obtida a distância dessas nebulosas e que obteve como resultado que as mesmas estavam localizadas em distâncias muito maiores que o tamanho da Via-Láctea, representa o início da astrofísica extragaláctica. Desde então, diversas pesquisas são realizadas com o objetivo de entender como as galáxias se formam e evoluem. Compreender os processos físicos de evolução e formação de galáxias é uma forma direta de entender como o universo foi formado.

## 1.1 Formação de galáxias

Foram propostos diversos modelos que buscavam entender como galáxias são formadas. Inicialmente, o principal desafio dessas teorias era explicar a formação da Via Láctea. Um dos estudos pioneiros foi o modelo de colapso monolítico proposto por Eggen et al. (1962). No cenário de formação monolítica, a morfologia do objeto extragalático é determinada pela SFR (taxa de formação estelar, do inglês *Star Formation Rate*) em comparação com a escala temporal do colapso da nuvem ( $t_{colapso}$ ) e pelo momento angular da nuvem que origina a protogaláxia. Nesse cenário, se a protogaláxia tivesse origem em uma nuvem com baixa rotação e alta taxa de formação estelar (em comparação com o  $t_{colapso}$ ), ocorreria a formação de uma galáxia com estrutura esferoidal. Já as nuvens com momento angular mais elevado dariam origem a um objeto com estrutura predominantemente de disco e que poderia manter a atividade de formação estelar até os dias atuais. Uma ilustração de como ocorre o colapso monolítico é apresentada na Figura 1.1.

Embora esse modelo explique a formação de aglomerados estelares presentes no halo da nossa galáxia, o mesmo falha na explicação de como ocorre a formação de estruturas em outras galáxias, principalmente no que se refere a gradientes de metalicidade e por considerar que a formação de uma galáxia massiva ocorre de maneira isolada. Contudo, o cenário teórico que melhor explica a formação de galáxias e as grandes estruturas do universo, tais como aglomerados e super aglomerados, é o modelo hierárquico. Esse modelo é sustentado por diversas observações e pelo modelo cosmológico padrão.

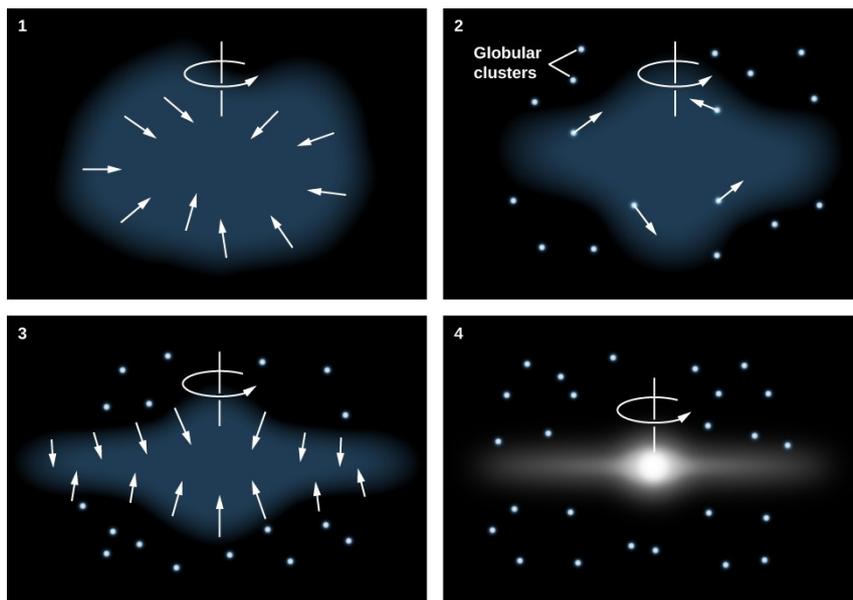


Figure 1.1 - De acordo com o Modelo de Colapso Monolítico, galáxias são inicialmente formadas por uma grande nuvem de gás em rotação que colapsa (1). Estrelas do halo e aglomerados globulares são formados primeiros(2). Caso o momento angular inicial da nuvem seja baixo, o gás remanescente é mantido na forma de um disco (3,4). Fonte: Wikipédia.

O Modelo Cosmológico Padrão é fundado nas evidências observacionais da radiação cósmica de fundo (CMB, *Cosmic Microwave Background*) e no movimento de recessão das galáxias. Durante a formação do universo, após o período de inflação (Guth, 1981), a matéria escura (DM, do inglês *dark matter*) foi gradualmente concentrada em regiões por meio da força gravitacional. A matéria escura acumulada nessas regiões colapsa formando os halos de matéria escura que abrigam galáxias e aglomerados observados no universo (White; Rees, 1978). Após formados, os halos de matéria escura aumentam de tamanho por meio do processo de fusão e acreção de halos de menor massa. A matéria bariônica segue a distribuição de matéria desses halos e é concentrada no poço de potencial gravitacional promovido pelos halos de matéria escura. Os halos mais massivos são os responsáveis por acumular maior quantidade de matéria bariônica e é nesses halos que são formadas galáxias e aglomerados de galáxias que observamos no universo (Press; Schechter, 1974). Dessa maneira, a formação das grandes estruturas do universo decorrem da fusão dos halos de matéria escura.

Esse cenário foi proposto por Lacey e Cole (1993) e é conhecido como Modelo de Formação Hierárquica. Nesse modelo, a formação de galáxias ocorre por meio do resfriamento (dissipação radiativa) seguido do colapso da matéria bariônica em halos

de matéria escura quase virializados. Nesse contexto, galáxias massivas são formadas por processos de fusão e acreção de estruturas menores. Assim, ou as estruturas poderiam se tornar galáxias espirais caso não sofressem interações com demais estruturas, ou poderiam se tornar galáxias do tipo elíptica, ou lenticulares, caso ocorresse fusão com outros objetos (James et al., 1999). A representação do Modelo de Formação Hierárquica é apresentada na Figura 1.2. Como será exposto adiante, o resultado da fusão de duas ou mais galáxias depende de uma série de fatores, principalmente a massa dos objetos envolvidos e a quantidade de gás.

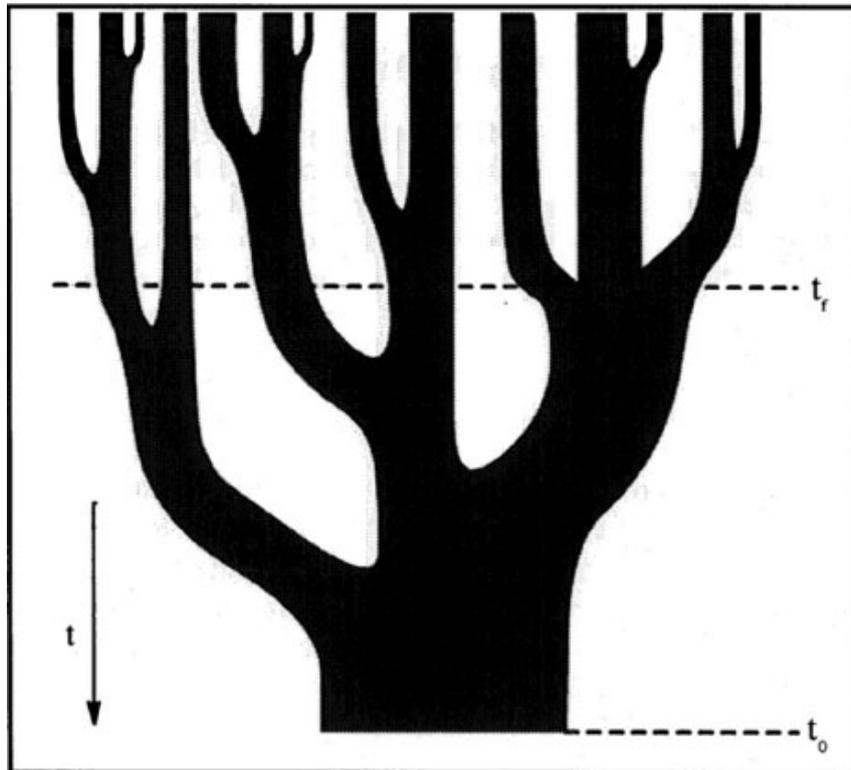


Figure 1.2 - Representação do Modelo Hierárquico para a formação de grandes estruturas. Os halos de matéria escura de menor massa, formados até o tempo  $t_f$  sofrem processos de fusão até formarem halos de matéria escura mais massivos que são observados no tempo  $t_0$ . Fonte:(Lacey; Cole, 1993).

Simulações cosmológicas que consideram matéria escura como ingrediente principal para a formação do universo conseguem reproduzir em detalhes o universo observável (Springel et al., 2005; Genel et al., 2014). Essas mesmas simulações também obtêm como resultado principal que galáxias estão localizadas em regiões de filamentos e aglomerados de galáxias estão localizados na interseção desses filamentos (Veja Figura 1.3)(Vogelsberger et al., 2014).

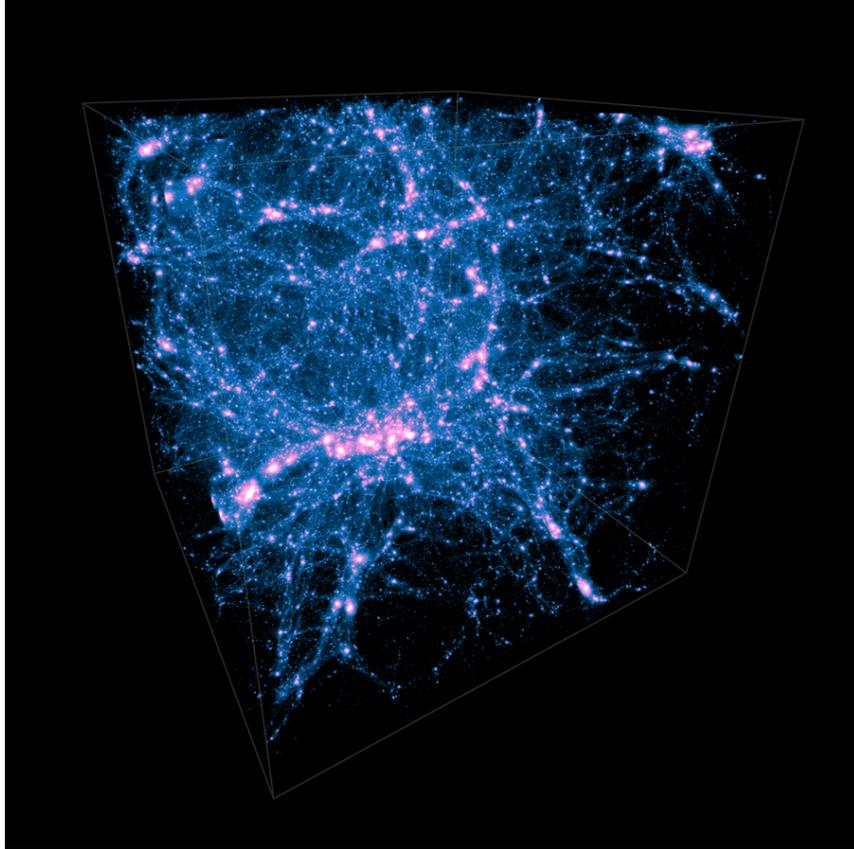


Figure 1.3 - Imagens da simulação Illustris para redshift zero. Na imagem, composta somente pela distribuição de matéria escura, é possível notar regiões de filamento onde DM é menos concentrada (nessas regiões que localizamos galáxias). Já nas regiões de interseção entre os filamentos e que apresentam mais concentração de matéria escura, encontram-se os grandes aglomerados de galáxias. As diferentes cores representam a distribuição de densidade da matéria escura. Cores mais avermelhadas representam uma maior concentração de matéria escura. Fonte:(Genel et al., 2014).

## 1.2 Tipos de galáxias

Os processos evolutivos que ocorrem em uma galáxia podem modificar de maneira significativa o aspecto morfológico desses objetos. Assim, isso permite que seja possível observar uma grande diversidade de galáxias com aspectos físicos e morfológicos diferentes. Com essa diversidade de galáxias, tornou-se necessária a criação de um sistema que as classificasse.

O primeiro cientista a propor uma maneira sistemática de classificar galáxias foi o astrônomo Edwin Powell Hubble em 1936. Hubble propôs uma classificação morfológica que tem como base principal o aspecto visual desses objetos. Assim, foram propostas inicialmente três classes de galáxias: espirais normais (S), elípticas (E)

e espirais barradas (SB). Em uma classificação mais abrangente, podemos incluir galáxias irregulares e lenticulares. As galáxias espirais e elípticas apresentam subdivisões de acordo com as diferenças perceptíveis em suas estruturas: achatamento aparente, razão entre o brilho do bojo e do disco e o grau de entrelaçamento dos braços espirais.

Nos primórdios da astronomia extragaláctica, pensava-se que diferentes categorias de galáxias distribuídas no diagrama de Hubble representavam estágios evolutivos distintos. Sabemos hoje que isso não é verdade, porque existem diversos processos internos e externos que podem modificar a evolução de galáxias, não importando a sua morfologia. Alguns desses fatores serão abordados em seções subsequentes. A classificação morfológica de Hubble pode ser visualizada na Figura 1.4. A seguir, faremos um breve resumo dos principais tipos de galáxias que são classificadas puramente de acordo com seus aspectos visuais.

- Galáxias elípticas: são galáxias que não apresentam nenhuma subestrutura definida. São subdivididas de acordo com o parâmetro  $n^1$ . Existem galáxias elípticas dentro de um grande intervalo de excentricidade<sup>2</sup> ( $0 \leq \epsilon \leq 0.7$ ). Galáxias elípticas com parâmetro  $n$  igual a zero são quase circulares quando projetadas no céu. Assim, quanto maior o valor de  $n$  mais achatada será esse tipo de galáxia.
- Galáxias espirais: essas galáxias apresentam estrutura de disco com braços em formato de espiral e estrutura de bojo na região central. Esse tipo morfológico apresenta duas classificações: espirais normais (S) e espirais barradas (SB). Cada subclasse é também classificada considerando a razão de brilho entre o bojo e os braços espirais, além do número de braços e entrelaçamento dos mesmos. Dessa forma, no diagrama de Hubble no sentido de espirais Sa para espirais Sc, a razão de brilho entre o bojo e o disco diminui, o número de braços diminui e o grau de entrelaçamento é menor.
- Galáxias irregulares: são galáxias que não apresentam estrutura definida, porém pode-se observar diversas subestruturas em regiões mais internas a esses objetos.
- Lenticulares (S0): morfológicamente são um estágio de transição entre elíp-

---

<sup>1</sup> $n = \frac{10(a-b)}{a}$ , onde  $a$  é o semieixo aparente maior e  $b$  o semieixo aparente menor.

<sup>2</sup> $\epsilon = 1 - \frac{a}{b}$

ticas e espirais. Essas galáxias apresentam em torno do bojo uma estrutura de disco, porém não apresenta braços espirais dentro do disco.

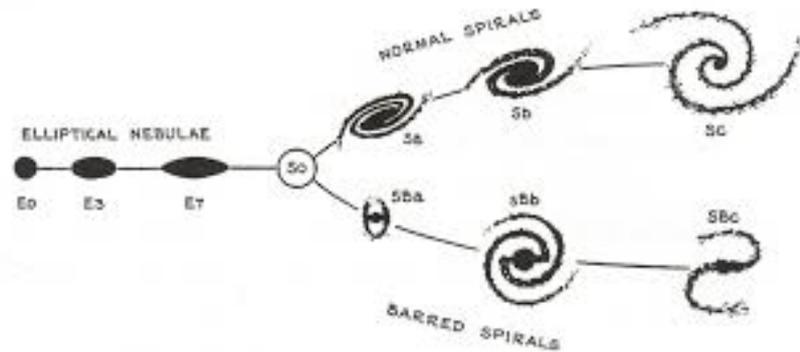


Figure 1.4 - Classificação morfológica de Hubble proposta em seu trabalho pioneiro. Nota-se à esquerda, galáxias elípticas classificadas por diferentes graus de excentricidade. À direita as galáxias espirais são divididas em dois conjuntos, baseado-se no critério da presença de estrutura de barra. Adicionalmente, são classificadas de acordo com a razão do brilho entre os braços espirais e o bojo. Fonte:(Hubble, 1936).

Pelo fato da classificação morfológica de Hubble basear-se em critérios puramente visuais, esses objetos são classificados de maneira bastante limitada se considerarmos efeitos de projeção. Por exemplo, uma galáxia elíptica com estrutura triaxial pode ter sua medida de excentricidade aparente variando fortemente em função da posição do objeto com a linha de visada. O mesmo ocorre na identificação dos braços espirais. Dependendo da posição do disco em relação à linha de visada, é pouco preciso determinar a presença de estruturas em forma de braços ou barras.

O aspecto morfológico de uma galáxia pode variar a depender do comprimento de onda em que é observada, como também pode ser modificado por fatores externos, como fusão de galáxias ou fatores internos como jatos de AGN (do inglês, *Active Galactic Nuclei*). Na próxima seção, explicaremos alguns dos principais fatores ambientais que podem atuar na modificação da morfologia de um objeto como também na mudança de suas propriedades físicas.

### 1.3 Processos ambientais

Evidências que apontavam para uma possível influência do ambiente nas propriedades observadas em galáxias só foram descobertas nas últimas cinco décadas.

Os primeiros estudos que indicavam um efeito ambiental na evolução de galáxias, foram propostos por Dressler (1980), que sugeriu o que conhecemos hoje como relação Morfologia-Densidade. Dressler (1980) mostrou que a morfologia de galáxias em aglomerados não é distribuída de maneira aleatória, mas apresenta uma dependência com a distância da galáxia ao centro do aglomerado. A Figura 1.5 apresenta a relação Morfologia-Densidade. A Figura 1.5 mostra a fração de galáxias E(elípticas), S0(lenticulares), S(espirais) e Irr(Irregulares) em função da densidade local projetada. O histograma superior apresenta o número de galáxias encontradas nesses ambientes, que contêm uma amostra de  $\sim 6000$  galáxias. Na Figura 1.5, vemos que a fração de galáxias espirais diminui em regiões de alta densidade, enquanto E e S0 são minoria em regiões de baixa densidade. Isso sugere que a depender da densidade ambiental no qual a galáxia está inserida, a mesma pode passar por diferentes processos de evolução que podem originar uma galáxia elíptica massiva com baixa atividade de formação estelar, ou uma com estrutura de disco que apresenta formação de novas estrelas.

Desde os estudos pioneiros do ambiente que circunda galáxias, aprendemos que não somente a morfologia pode possuir uma forte dependência com o ambiente, mas também outras características físicas importantes podem apresentar fortes vínculos com o mesmo. A idade das populações estelares em galáxias é uma dessas propriedades afetadas pelo ambiente. Populações estelares de galáxias em ambientes de baixa densidade são, na média 1-2 Gyr mais jovens que suas companheiras localizadas em regiões de alta densidade, como aglomerados de galáxias ou grupos de galáxias (Thomas et al., 2005; Clemens et al., 2006). Resultado similar já havia sido mostrado em estudos anteriores. Bernardi et al. (1998) mostrou que galáxias E e S0 localizadas em regiões de baixa densidade tendem a apresentar populações estelares 1 Gyr mais jovem que aquelas localizadas em aglomerados de galáxias.

Além das correlações entre ambiente e populações estelares, também ocorrem dependências semelhantes quando se analisam galáxias com propriedades físicas similares, como massa estelar. Cooper et al. (2010) encontraram que dada uma massa estelar fixa, galáxias em ambiente de alta densidade apresentam populações estelares mais velhas que outras de massa semelhante presentes em regiões de menor densidade.

Pela relação Morfologia-Densidade, no universo local, nota-se a dependência ambiental entre morfologias e SFR de galáxias. Assim, Galáxias vermelhas geralmente estão localizadas em ambientes densos, enquanto galáxias azuis são encontradas em

regiões menos densas (Dressler, 1980; Kauffmann et al., 2004; Woo et al., 2013). A relação Morfologia-Densidade é detectada até redshifts intermediários ( $z \sim 1$ ) (Postman et al., 2005); no entanto, traços semelhantes para a relação densidade-SFR ainda são debatidos (Capak et al., 2007).

Alguns estudos encontraram uma relação inversa, pois mostraram que a SFR apresenta valores elevados em regiões de maior densidade (Cooper et al., 2008), enquanto outros não encontraram uma relação significativa (Darvish et al., 2016). Alguns encontraram uma relação similar àquela observada em baixo redshift (Patel et al., 2009). Estudos recentes mostraram que ocorre uma diminuição da taxa de formação estelar em ambientes mais densos até  $z \sim 2$  (Ji et al., 2018). Ji et al. (2018) utilizou função de autocorrelação para estudar a aglomeração de galáxias em  $z \sim 2$  e encontraram que galáxias passivas de baixa massa ( $M_* < 10^{10} M_\odot$ ) encontram-se em ambientes mais densos que as de maior massa, enquanto galáxias *star-forming* não apresentaram uma aglomeração significativa. Esses resultados são apresentados na Figura 1.6. Por outro lado, o estudo mais recente realizado por Chartab et al. (2020) mostrou que para galáxias *star-forming* em alto redshift a atividade de formação estelar é elevada em regiões de maior densidade.

Por outro lado, estudos mostram que a massa do halo de matéria escura que uma galáxia habita pode ter papel importante na atividade de formação estelar e, conseqüentemente, na formação de grandes estruturas como aglomerados de galáxias e, assim, uma influência na ocorrência da segregação entre galáxias com alta e baixa SFR em função da densidade local. Em alto redshift ( $z \sim 2$ ), não são observados halos massivos, portanto, a presença de galáxias em grandes aglomerados é pouco comum (Kauffmann et al., 2004). Na Figura 1.7, apresentamos a fração da distribuição da massa de halos de DM em função do redshift. Nota-se que em  $z \sim 2$ , estes apresentam massas em geral inferiores a  $10^{13} M_\odot$ . De acordo com Chiang et al. (2017), entre redshifts 1.5 e 5 halos com massas de  $10^{11}$ – $10^{12.5} M_\odot$  são os que contribuem com a maior parte da formação estelar (20% para  $z = 2$ ), pois permitem a presença de proto-aglomerados que mantêm a SFR elevada através de processos de interação entre as galáxias que os compõem. Todas essas relações apontam para fatores externos que podem modificar propriedades de uma galáxia, principalmente a taxa de formação estelar.

Ainda não é clara qual a importância da massa (Cooper et al., 2006) e do halo de matéria escura que uma galáxia habita (Blanton; Berlind, 2007) e suas conexões com os processos ambientais que poderiam modificar as propriedades de uma galáxia,

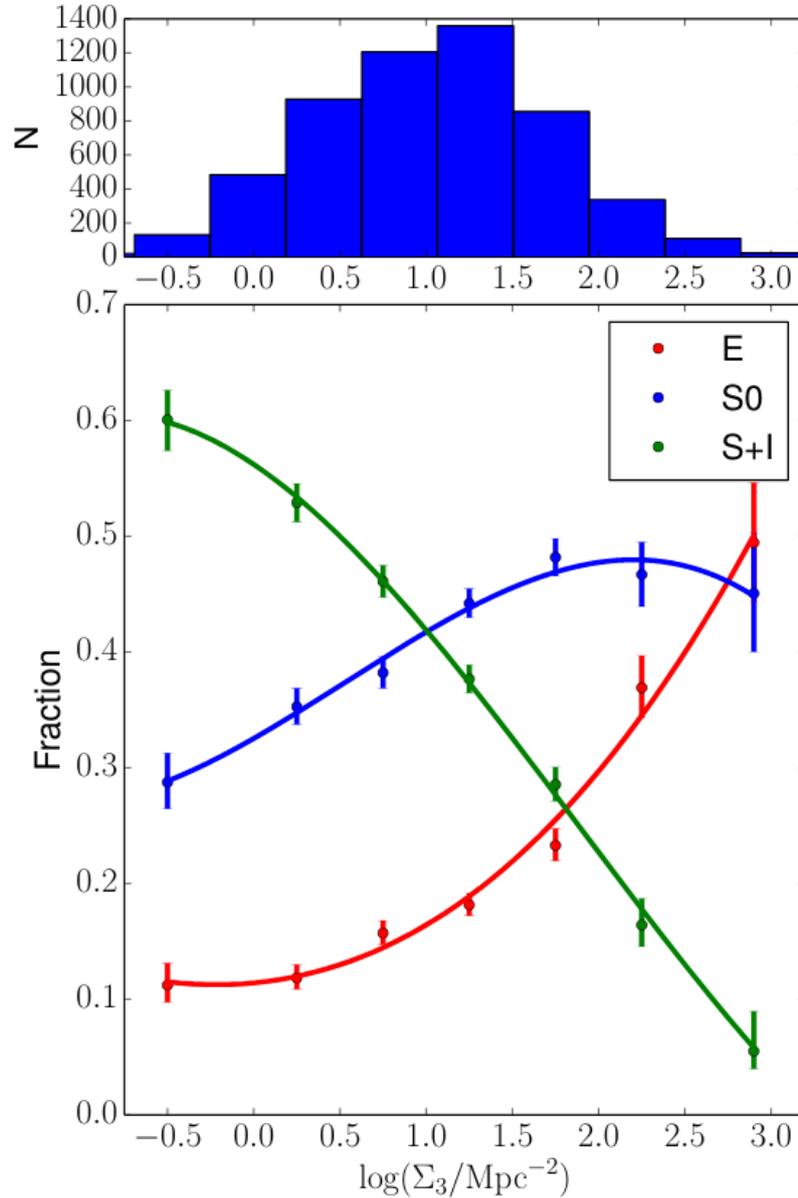


Figure 1.5 - Reprodução da Relação Morfologia-Densidade proposta por Dressler (1980). Na figura acima, a relação foi reproduzida utilizando medidas de redshift atualizadas, com densidades baseadas na distância ao terceiro vizinho mais próximo corrigidas pelos efeitos de borda. Observa-se que a correlação é obtida com perfeição. Como esperado, a maior fração de galáxias elípticas e lenticulares predominantemente é maior em regiões de maior densidade, enquanto galáxias espirais povoam regiões de baixa densidade. Fonte:(Houghton, 2015).

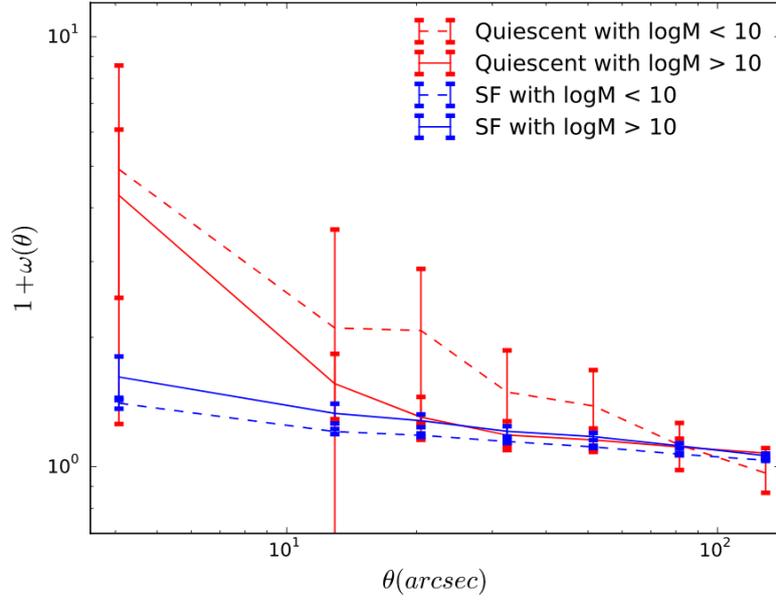


Figure 1.6 - Função de autocorrelação para galáxias star-forming (azul) e galáxias passivas (vermelho) com massas de  $M_* > 10^{10} M_\odot$  e  $M_* < 10^{10} M_\odot$  localizadas em  $z \sim 2$ . As galáxias passivas de baixa massa apresentam uma função de correlação mais elevada em pequenas escalas ( $\theta < 20 \text{ arcsec}$ ). Já galáxias star-forming de baixa massa apresentam função de correlação menor que as de alta massa. Ou seja, essas ficam localizadas em ambientes menos aglomerados que galáxias passivas. Fonte: (Ji et al., 2018).

principalmente em alto redshift. Possíveis explicações para a influência ambiental na formação e evolução de uma galáxia podem ser generalizadas em dois grupos de processos: fenômenos que ocorrem durante a formação da galáxias (“*nature*”), e aqueles que ocorrem ao longo da evolução da galáxia (“*nurture*”). Essas duas hipóteses podem conduzir a relação morfologia-densidade da seguinte forma: em ambientes densos, fusões e interações gravitacionais ocorrem com maior frequência, podendo causar a destruição do disco em galáxias espirais e as transformando em galáxias elípticas ou lenticulares (Toomre; Toomre, 1972; Toomre, 1977; Farouki; Shapiro, 1981).

Muitos dos processos que ocorrem externamente às galáxias acontecem em ambientes de alta densidade e modificam, principalmente, a distribuição e a abundância de gás, que é o combustível para a formação de novas estrelas e a consequente evolução de uma galáxia. Dessa forma, esses processos também afetam a taxa de formação estelar. Dentre eles, podemos citar a pressão de arraste, estrangulamento e fusão entre galáxias. Esses principais fenômenos que ocorrem no ambiente externo de uma galáxia são explicados nas subseções seguintes.

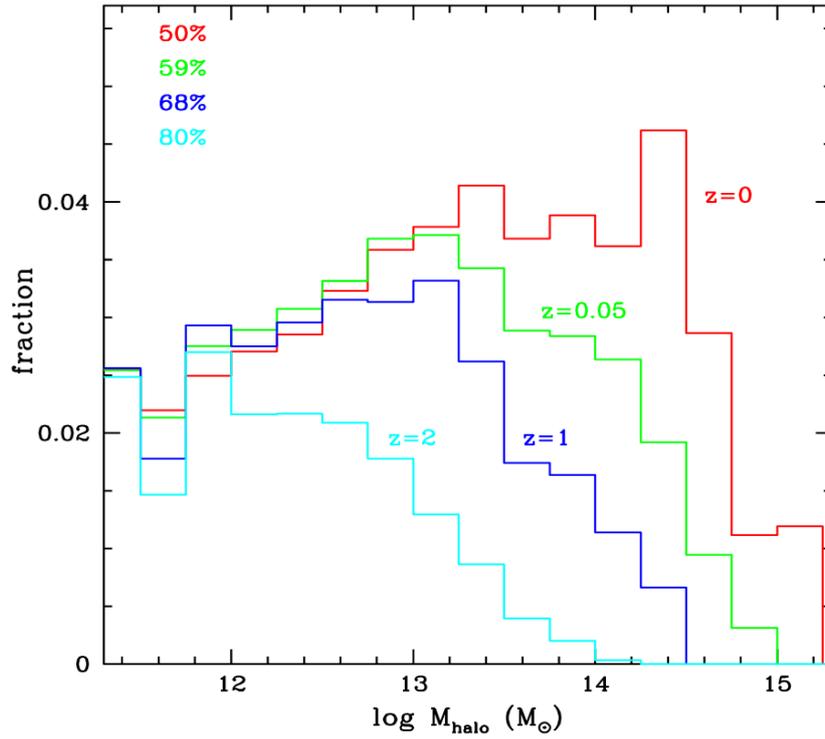


Figure 1.7 - Distribuição de massa para os halos de matéria escura em diferentes intervalos de redshift. Fonte:(Kauffmann et al., 2004).

### 1.3.1 Pressão de arraste

Um dos fenômenos ambientais mais extremos e que pode modificar com facilidade a taxa de formação estelar de uma galáxia é a pressão de arraste. Aglomerados de galáxia contêm gás quente ionizado, definido como meio intra-aglomerado (ICM, Intra Cluster Medium). Um objeto localizado externamente ao aglomerado, deslocando-se em direção a região central, sofre fricção de sua estrutura com o ICM. O gás quente presente no ICM exerce um papel de fluido que causa uma pressão em toda a estrutura do objeto. Esse fenômeno faz com que o gás presente em uma espiral possa ser removido; e, assim, diminuir a atividade de formação estelar, devido à diminuição da presença de gás na galáxia (Boselli et al., 2019; Singh et al., 2019).

A pressão de arraste que o ICM exerce em uma galáxia depende da densidade ( $\rho_{ICM}$ ) e da velocidade relativa do objeto em relação ao ICM ( $v_{rel}$ ); assim, essas grandezas se relacionam da seguinte forma:

$$P_{ram} = \rho_{ICM} \times v_{rel}^2 \quad (1.1)$$



Figure 1.8 - Uma visão artística mostrando o efeito da pressão de arraste removendo o gás na galáxia NGC 4921. Fonte: <http://www.sci-news.com/astronomy/ram-pressure-stripping-04546.html>

Para o gás ser removido da galáxia, é necessário que a pressão de arraste seja maior que a força gravitacional que mantém o gás unido à galáxia. A força que mantém o gás no meio interestelar (ISM) é diretamente relacionada com a densidade superficial de gás no ISM ( $\Sigma_{ISM}$ ) e com a densidade de estrelas ( $\Sigma_*$ ). Dessa maneira, para uma galáxia ter seu gás removido, durante o trânsito em um aglomerado, a seguinte equação deve ser satisfeita (Sarazin, 1986):

$$\rho_{ICM} > \frac{2\pi G \Sigma_{ISM} \Sigma_*}{v_{rel}^2} \quad (1.2)$$

Nota-se que a principal consequência da pressão de arraste é a remoção do gás interestelar (Figura 1.9). Assim, a pressão de arraste faz com que uma galáxia perca o principal ingrediente para a formação de novas estrelas, podendo fazer com que a SFR alcance valores quase nulos. No entanto, alguns estudos apontam que em escalas de tempo menores, a pressão de arraste contribui com o aumento da SFR em até 0.2 dex para o caso de aglomerados menos massivos que não conseguem remover o gás de maneira eficiente (Abadi et al., 1999; Vulcani et al., 2018). Apesar de

a pressão de arraste ser responsável pela remoção do gás que seria transformado em estrelas, ela não necessariamente é responsável por modificar a morfologia de um objeto, por exemplo, uma galáxia S0, que pode ser originada de uma galáxia espiral que cessou a formação estelar.

### 1.3.2 Estrangulamento

Estudos indicam (Kereš et al., 2005) que galáxias possuem uma região de gás quente externa ao halo de matéria escura. Essa região externa funcionaria como um reservatório de gás que contribui para a formação de novas estrelas. O fenômeno de estrangulamento ocorre quando uma galáxia entra em um meio mais denso, fazendo com que a mesma perca esse reservatório de gás (Peng et al., 2015)(veja Figura 1.9). Diferentemente da pressão de arraste, que remove o gás da galáxia, o estrangulamento remove somente o reservatório externo de gás. Isso permite que a galáxia continue formando estrelas até utilizar todo o gás presente em sua estrutura.

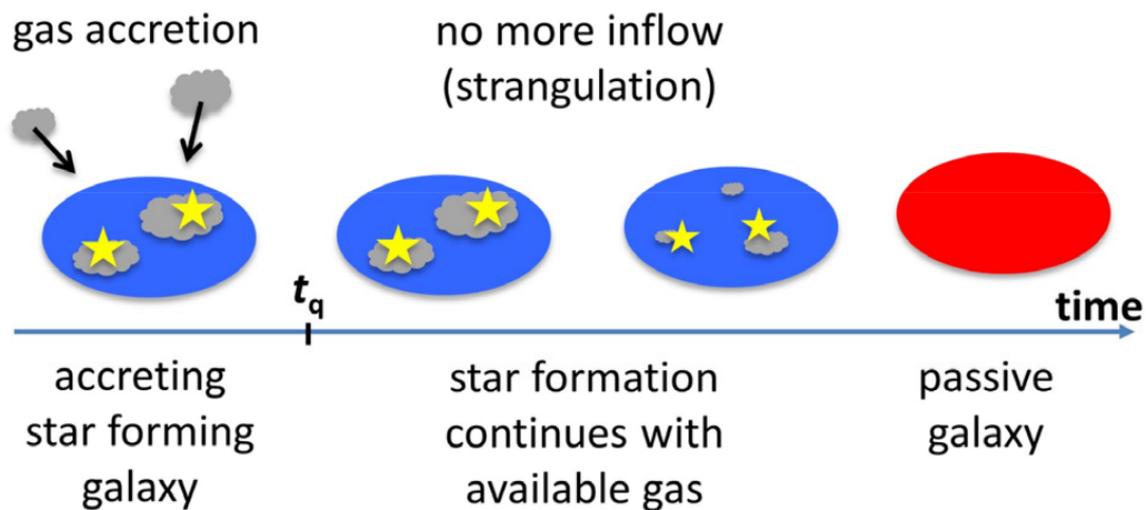


Figure 1.9 - A figura ilustra como ocorre o processo da diminuição da taxa de formação estelar por meio do estrangulamento. A galáxia perde o reservatório externo de gás; no entanto, a formação estelar não é cessada, pois a galáxia mantém a SFR com o conteúdo de gás presente na própria estrutura da galáxia. Fonte: Adaptado de (Peng et al., 2015).

Estudos sugerem (Peng et al., 2015; Paccagnella et al., 2016) que o estrangulamento seja o principal mecanismo de cessação da formação estelar em galáxias do universo local com  $M_* < 10^{11} M_\odot$ . Com o processo de *merger*, o estrangulamento consegue

reproduzir as relações entre a morfologia e a SFR em função do ambiente e da massa estelar (Paccagnella et al., 2016).

### 1.3.3 Fusão de galáxias (*merger*)

A pressão de arraste e o estrangulamento são fenômenos relacionados, principalmente ao ICM e ISM e que ocorrem majoritariamente em ambientes de alta densidade, como aglomerados de galáxias e grupos compactos. No entanto, galáxias também podem sofrer efeitos ambientais de interação totalmente gravitacional, como a fusão de galáxias (*merger*) e o assédio galáctico. Esses dois fenômenos podem ocorrer em escalas menores, por exemplo, em pequenos grupos e pares de galáxias; enquanto a pressão de arraste necessariamente deve ocorrer na presença de gás quente ionizado presente em aglomerados (ICM), *merger* e assédio galáctico ocorrem somente por interação gravitacional.

O processo de *merger* ocorre em sistemas de galáxias em pares com momento angular baixo o suficiente para que a interação gravitacional entre os dois objetos seja intensa o bastante para permitir o encontro. Isso faz com que no processo final de *merger* seja observada apenas uma galáxia com material proveniente de ambas. Estudos sugerem (Joseph; Wright, 1985; Sanders; Mirabel, 1996; Nevin et al., 2019; Pearson et al., 2019) que o processo de *merger* é importante para que ocorram surtos de formação estelar em galáxias, quando pelo menos um dos objetos apresenta uma componente gasosa predominante. Exemplos de galáxias nas quais é possível identificar o fenômeno de *merger* são apresentados na Figura 1.10. Em galáxias que apresentam a ocorrência desse processo, podem-se identificar filamentos de gás (caudas) e, geralmente, a presença de dois núcleos brilhantes para aqueles sistemas no qual o *merger* ainda está ocorrendo.

Outros estudos indicam que o aumento da SFR em sistemas que sofrem *merger* são minoria. Esses estudos encontraram que o fator de aumento da SFR em sistemas com *merger* é de  $\sim 2$ , valor menor que o observado em galáxias starburst (Ellison et al., 2013; Knapen et al., 2015; Silva et al., 2018). Nesse sentido, Knapen et al. (2015) encontraram que os sistemas que apresentam *merger* exibem uma taxa de formação estelar menor, quando comparados com sistemas normais e de massa estelar semelhante.

Ainda existe um debate a respeito da real contribuição do processo de *merger* no aumento da SFR e, conseqüentemente, do seu papel na evolução de galáxias. Um fato concreto é que cerca de 30% das galáxias star-forming são preferencialmente localizadas em sistemas que apresentam *merger* (Cibinel et al., 2019). É apresentado na literatura que a ocorrência desse processo é maior em alto redshift (Conselice et al., 2009; Lotz et al., 2011).

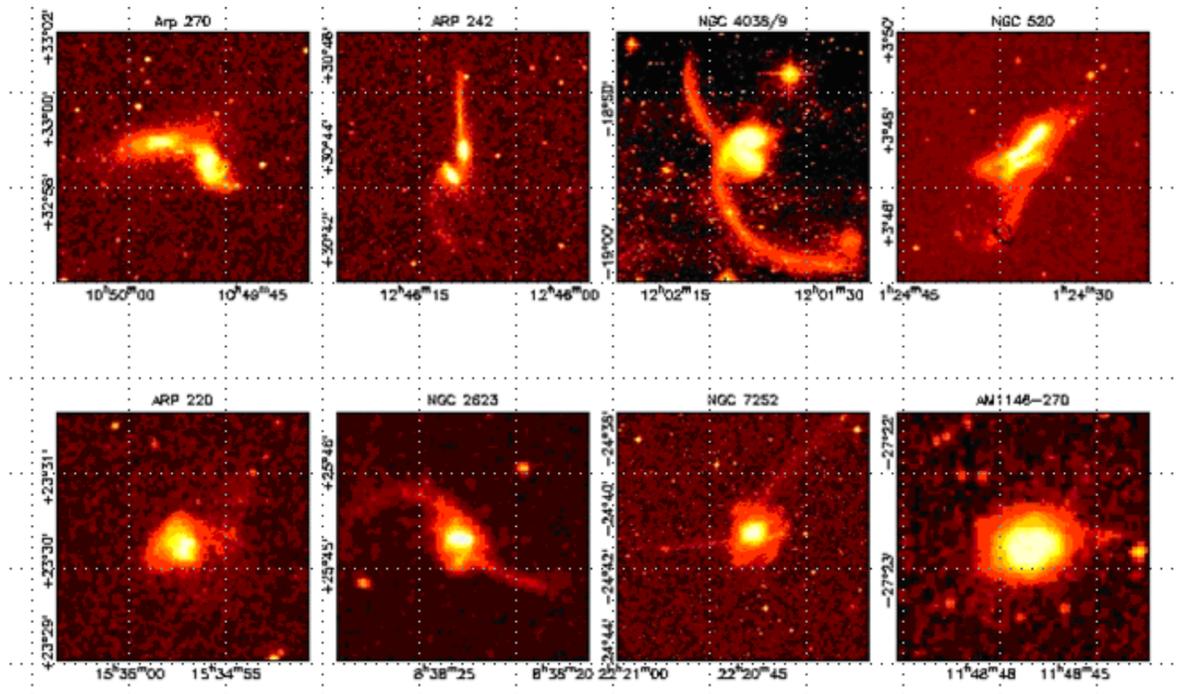


Figure 1.10 - Sequência de galáxias que apresentam fenômeno de merger. Cada galáxia representa a evolução temporal de diferentes instantes do processo de fusão. Fonte: (Beckman et al., 2008).

Na literatura, são apontadas diversas classificações para o fenômeno de *merger*. Se a fusão ocorre entre duas galáxias de massa semelhante, o fenômeno pode ser classificado como *major merger* ou fusão principal. Em simulações realizadas por Toomre (1977), o merger entre duas galáxias com estrutura de disco com aproximadamente a mesma massa produz uma galáxia elíptica.

No entanto, estudos posteriores feitos por Barnes (2002), Hopkins et al. (2009) mostraram que o produto de merger desse tipo pode ser uma galáxia *late-type*. Dependendo da quantidade de gás nas galáxias envolvidas na fusão, a mesma pode ser denominada como “*dry*” ou “*wet*”. Em mergers nos quais as galáxias apresentem uma grande componente gasosa (“*wet merger*”), por exemplo, duas galáxias espirais, a componente de disco pode permanecer no remanescente. Nesses casos, galáxias com grandes componentes gasosas ( $M_{gas}/(M_{gas} + M_{\star}) > 0.5$ ) conseguem manter a estrutura de disco após a fusão (Robertson et al., 2006). Por outro lado, em *mergers* com galáxias pobres em gás (*dry merger*), a galáxia remanescente é uma do tipo *early-type*. Em processos de fusão, o *wet merger* geralmente é o responsável pela ocorrência do surto de formação estelar. Assim, o *wet merger* pode ser o principal mecanismo para a intensa atividade de formação estelar observada em galáxias star-

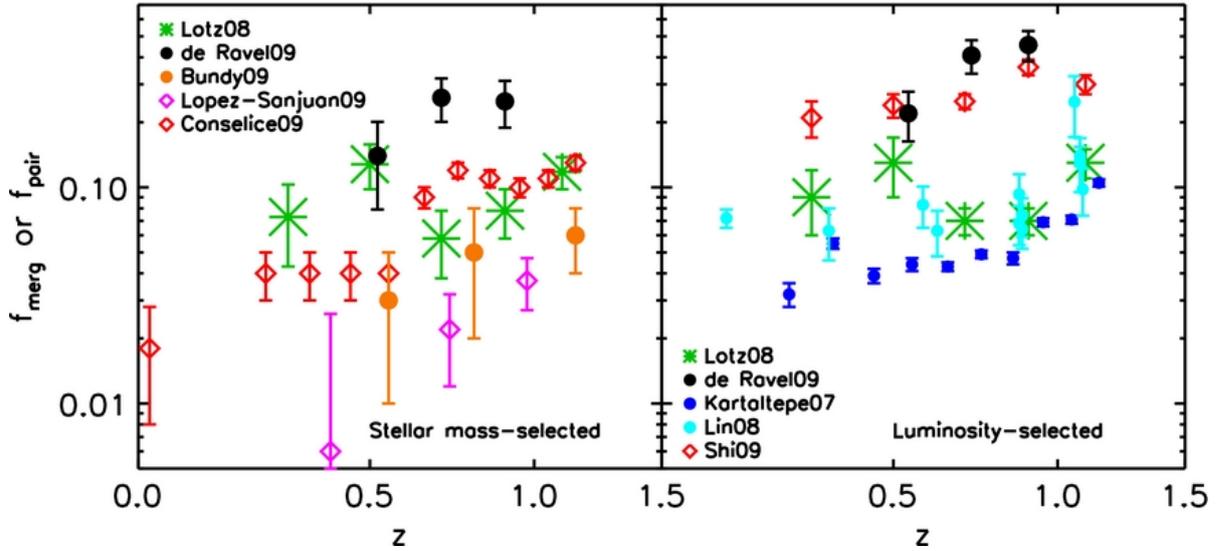


Figure 1.11 - No painel esquerdo, é mostrada a fração de mergers ou fração de pares em função do redshift para amostra de galáxias com massa estelar  $> 10^{10} M_{\odot}$ . Painel da direita, representa o mesmo para objetos selecionados dentro de um certo limite de luminosidade ( $M_B < 18.77$ ). Em ambos gráficos verificam-se que à medida que aumentamos o redshift, a fração de pares ou mergers se torna maior. Isso indica que o processo de merger é mais comum em altos redshifts. Fonte: (Lotz et al., 2011).

burst (Cibinel et al., 2019). No entanto, o processo mais comum de fusão é o *minor merger*. Esse fenômeno ocorre entre galáxias de diferentes massas, com uma de suas componentes podendo ser até quatro vezes mais massiva. Segundo Lotz et al. (2011) a taxa de *minor merger* é três vezes maior que a taxa de *major merger* até  $z \sim 0.7$ . A Figura 1.11 mostra como a fração de mergers evolui em função do redshift, até  $z = 1$ . Nota-se que a fração é crescente na direção de maiores redshifts.

As interações gravitacionais entre galáxias conectam a atividade de formação estelar com o processo de formação do universo segundo o modelo hierárquico. Partindo desses estudos que apontam que o processo de merger ocorre com maior frequência em alto redshift, é razoável supor que o principal mecanismo de formação estelar para as primeiras galáxias formadas no universo seja o processo de fusão galáctica.

## 1.4 Galáxias em alto redshift

O estudo de galáxias em alto redshift é de fundamental importância para compreender os processos evolutivos responsáveis pelas características observadas no universo atual. Uma ferramenta importante para esse estudo é a investigação das populações estelares desses objetos, incluindo sua evolução em diferentes intervalos de redshift e possíveis correlações com os tipos morfológicos de galáxias (McLure et al., 2011; Lonoce et al., 2020).

As instrumentações atuais permitem observar a região óptica e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, que correspondem ao comprimento de onda de repouso do ultravioleta e óptico de galáxias em alto redshift, respectivamente. As observações do UV, em particular, possibilitam medir a evolução da taxa de formação estelar em galáxias. Assim, pode-se verificar com que intensidade ocorre a atividade de formação estelar em diferentes tempos cósmicos (Madau; Dickinson, 2014). Diversas propriedades podem variar de maneira significativa quando comparamos medidas tomadas em baixo redshift com aquelas obtidas para regiões no universo distante. Uma que expressa diferença significativa é a atividade de formação estelar. Em alto  $z$  a SFR pode ser 30 vezes mais intensa que no universo Local (Madau; Dickinson, 2014; Whitaker et al., 2014).

Galáxias em alto redshift apresentam morfologias e taxas de formação estelar que diferem das observadas em objetos localizados no universo local. Predominantemente, esses objetos possuem estrutura irregular e intensa atividade de formação estelar (Lotz et al., 2006; Conselice et al., 2008). A Figura 1.12 mostra exemplos de galáxias localizadas em alto redshift  $2.2 < z < 3$  com diferentes características morfológicas que foram quantizadas a partir da medida do índice de assimetria ( $A^3$ ).

Galáxias que apresentam formação estelar seguem uma correlação entre suas massas e a SFR (Noeske et al., 2007). Essa relação ocorre para galáxias localizadas no universo local, mas também pode ser observada em alto redshift (Whitaker et al., 2014). Na Figura 1.13, Whitaker et al. (2014) mostraram como a sequência principal de galáxias star-forming varia em função do redshift. Nota-se que a relação linear entre SFR e  $M$  sofre um deslocamento positivo à medida que se observam galáxias mais distantes. Isso significa que a atividade de formação estelar é mais intensa no universo jovem do que em galáxias observadas em baixo redshift. Cowie et al. (1996) utilizaram observações na banda  $K$  e largura equivalente das linhas de  $[OIII]$  para investigar a

---

<sup>3</sup>É uma medida quantitativa baseada na comparação entre a imagem da fonte e a mesma rotacionada em 180.

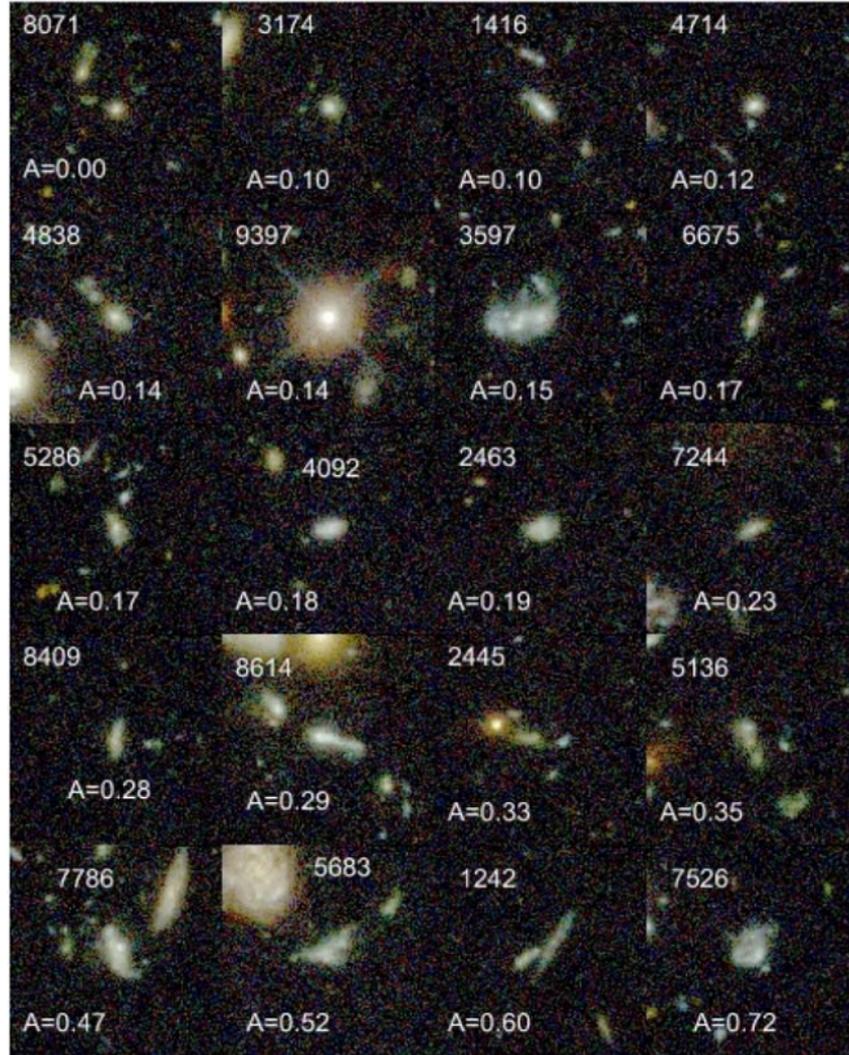


Figure 1.12 - Exemplos de galáxias observadas no *Hubble Ultra Deep Field* (HUDF). A figura expõe galáxias com massa estelar  $M_* > 10^{10} M_\odot$  localizadas em  $2.2 < z < 3$ . Cada imagem tem dimensão de 6 segundos de arco e é apresentada com seu respectivo índice de assimetria ( $A$ ). Nessa imagem, é possível verificar que esses objetos podem exibir estruturas compactas (baixo índice de assimetria) ou morfologias bastante irregulares (índice de assimetria  $\sim 1$ ). Fonte: (Conselice et al., 2008).

conexão entre a massa estelar e SFR, e encontraram uma predominância de galáxias star-forming massivas em alto-redshift. Isso é descrito como o efeito de *downsizing* e também é observado em análises da sequência principal de galáxias presentes em simulações cosmológicas (Cowie et al., 1996; Sparre et al., 2015).

Ainda não é totalmente compreendido como ocorre o processo de acreção de gás nesses objetos que permite manter a SFR elevada, da mesma forma que ainda não é totalmente compreendido se esses objetos convertem o gás em estrelas através de

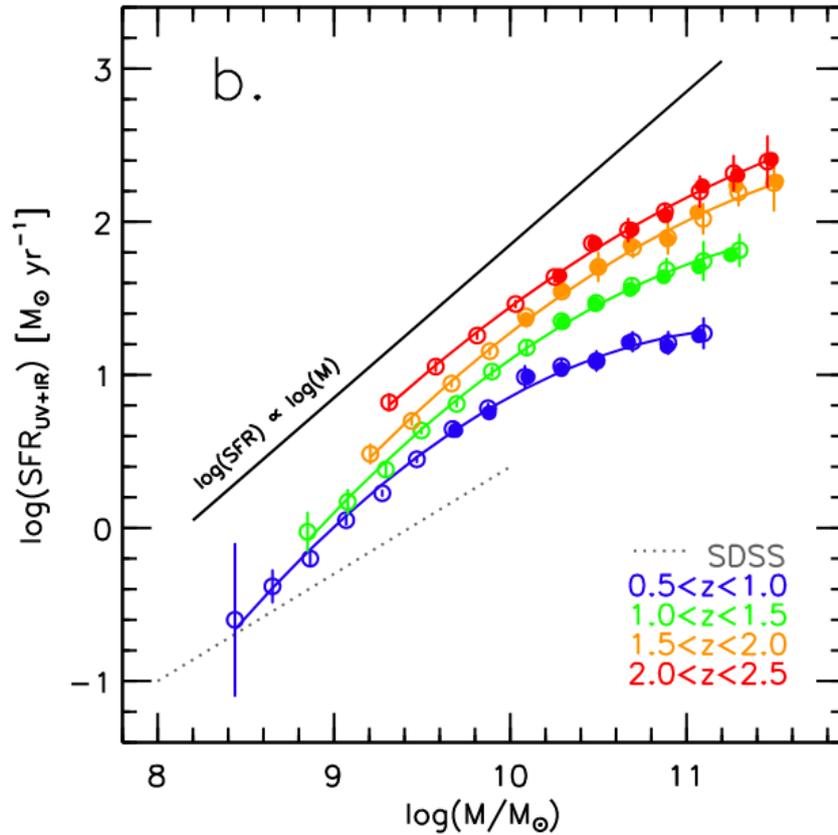


Figure 1.13 - Variação da sequência principal de galáxias starforming ao longo de diferentes intervalos de redshift. Fonte:(Whitaker et al., 2014).

processos físicos mais eficientes e ainda desconhecidos. Uma galáxia acreta gás de duas maneiras: interações com outras galáxias e acreção direta do gás de regiões externas ao halo (Kereš et al., 2005).

Na tentativa de explicar a formação de objetos com atividade intensa e alta eficiência na formação estelar, foram propostos dois cenários de formação mais complexos relacionados a maneira como as galáxias podem acretar gás. Esses cenários são regidos pela acreção de matéria e fusão de galáxias. De acordo com Dekel et al. (2009), uma maneira favorável de explicar a alta SFR observada em galáxias localizadas em alto redshift seria que o transporte de gás ocorresse por filamentos ("*cold-fows*"). O gás frio presente nesses filamentos seria o responsável pelo reabastecimento de gás no halo. Esses filamentos teriam origem em regiões externas ao halo e manteriam o gás a densidades altas. Isso acarretaria SFR mais elevadas, uma vez que esse processo expressa relação direta com a densidade de gás frio. A grande diferença neste caso é que o gás presente nesses filamentos já estaria resfriado e a alta densidade.

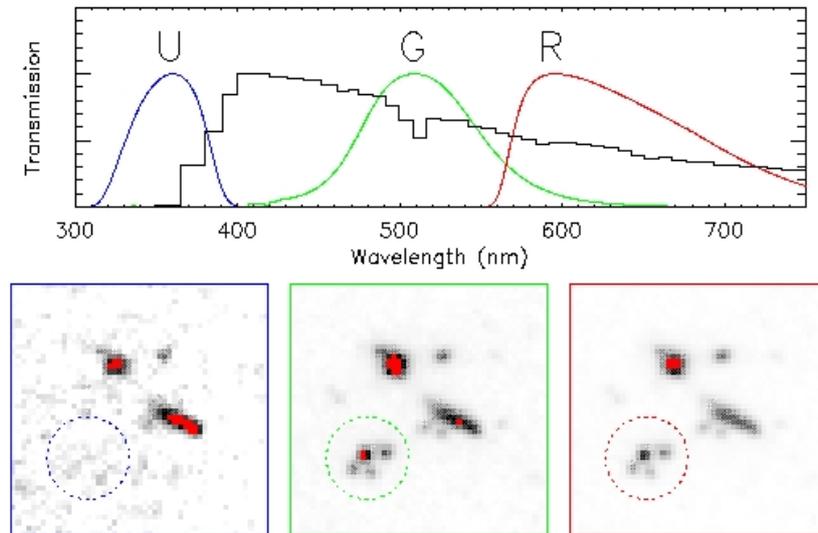


Figure 1.14 - Uma exemplo da técnica de drop-out usando os mesmos filtros utilizados por Steidel et al. (1996). As colunas abaixo apresentam imagens da galáxia em cada um dos filtros correspondentes, com o comprimento de onda aumentando para a direita. Nesse exemplo, percebe-se claramente que a galáxia observada não é detectada no filtro mais azul (imagem da esquerda). O painel superior retrata o perfil de sensibilidade de cada filtro (em azul, verde, e vermelho), juntamente com o espectro observado da galáxia (linha preta). Nota-se que existe detecção nos filtros G e R, em seguida o espectro apresenta uma queda brusca e a galáxia não é mais visível no filtro de menor comprimento de onda (U).

Uma das dificuldades em estudar galáxias em alto redshift é a difícil detecção desses objetos. Até poucas décadas atrás, a técnica de “*Drop-out*” era o principal método utilizado para identificar objetos distantes ( $\geq 2$ ). Essa técnica foi inicialmente proposta por Steidel e Hamilton (1992) e consiste em identificar a queda de fluxo em relação ao contínuo denominada *Lyman break*, que ocorre em  $912 \text{ \AA}$ . Um fóton emitido com comprimento de onda menor que  $912 \text{ \AA}$  (contínuo de Lyman) é completamente absorvido pelo hidrogênio em uma galáxia. Por essa razão, o que se observa no espectro de uma galáxia é uma queda brusca de fluxo (*Lyman break*) em comprimentos de onda menores que  $912 \text{ \AA}$ . Utilizando bandas fotométricas em telescópios terrestres, é possível identificar galáxias distantes localizadas em  $z \geq 2$  (Steidel et al., 1996). A forma prática como essa identificação ocorre é ilustrada na Figura 1.14.

Na Figura 1.14, nota-se no espectro da galáxia uma queda de fluxo brusca em comprimentos de onda menores. Isso ocorre devido à presença do limite de Lyman, fazendo com que a galáxia tenha fluxo mais pronunciado na região vermelha do

espectro. Em comparação com as outras bandas, a banda U exibe menor fluxo indicando que o limite de Lyman está localizado próximo dessa região. Galáxias que manifestam essa queda característica em fluxo do limite de Lyman são chamadas de Galáxias Lyman break (LBGs). Esses objetos são típicos do universo em alto redshift. A população de galáxias localizadas em  $z > 2 - 2.5$  e identificadas com a técnica de drop-out revelam características observacionais semelhantes às aquelas observadas na região central de galáxias starburst. Nesses dois tipos de galáxias as regiões com atividade de formação estelar apresentam SFRs por unidade de área de  $\approx 1 M_{\odot} yr^{-1} kpc^{-2}$  (Calzetti; Heckman, 1999).

Apesar das inúmeras detecções de galáxias localizadas em alto redshift, o estudo do ambiente ao redor dessas galáxias ainda encontra uma série de dificuldades. Estudos da densidade ambiental de LBGs revelam em sua maioria viés de luminosidade, fazendo com que somente as galáxias mais brilhantes sejam observadas (Hatfield et al., 2018). Por essa razão, identificar galáxias com propriedades análogas às observadas em alto redshift é uma maneira eficaz de inferir as condições ambientais desses objetos. Partindo do princípio que esses objetos apresentam propriedades físicas semelhantes, as características ambientais também devem ser semelhantes, assim como seus processos evolutivos. A próxima seção apresenta exemplos de galáxias análogas de alto redshift e como estas podem contribuir para o entendimento da formação e evolução das primeiras galáxias no universo.

## 1.5 Galáxias análogas de alto redshift

O conhecimento sobre galáxias localizadas em alto redshift cresceu significativamente devido aos estudos de galáxias star-forming acima de  $z \sim 1$  (Stark et al., 2010). Estudos anteriores sugerem que estas possuem propriedades que diferem daquelas observadas em star-forming do universo local. Essas galáxias são caracterizadas pela elevada taxa de formação estelar específica, 10 vezes maior quando comparadas às observadas no universo local (Stark et al., 2013), morfologias compactas (van der Wel et al., 2014), e apresentam morfologia de nódulos em suas estruturas internas que abrigam boa parte da atividade de formação estelar (Genzel et al., 2011).

O estudo dos processos físicos responsáveis pelas características observacionais do meio interestelar em alto redshift apresenta diversos desafios. Esses desafios são relacionados à detecção de objetos com baixo brilho superficial e pequenos tamanhos angulares. Isso faz que a maioria desses estudos apresentem viés de seleção relacionados, principalmente, à observação das galáxias mais massivas.

Diversos métodos foram desenvolvidos com o objetivo de identificar galáxias análogas de alto redshift. Esses métodos são baseados na seleção de propriedades da galáxia, aplicando-se cortes semelhantes aos identificados em alto redshift. Dentre essas propriedades, podemos citar o brilho superficial no ultravioleta (Heckman et al., 2005; Hoopes et al., 2007; Stanway; Davies, 2014), luminosidade do  $H\alpha$  (Green et al., 2014) ou baseado na largura equivalente da emissão de  $[OIII]$  (Cardamone et al., 2009). Consequentemente, galáxias selecionadas por essas técnicas compartilham propriedades semelhantes com aquelas observadas em galáxias star-forming em alto redshift, tais como metalicidade, extinção por poeira, morfologia, cinemática e gás molecular (Basu-Zych et al., 2007; Basu-Zych et al., 2009; Overzier et al., 2009; Overzier et al., 2010; Gonçalves et al., 2010; Gonçalves et al., 2014; Green et al., 2014).

Steidel et al. (2014) propuseram que o diagrama BPT (Baldwin et al., 1981)<sup>4</sup> também pode ser uma maneira de identificar galáxias análogas de alto redshift. Estudando linhas de emissão originadas de galáxias em  $z > 1$ , observaram que a razão  $[OIII]/H\beta$  de galáxias em alto  $z$  é 10 vezes maior em relação a galáxias *star-forming* presentes em baixo redshift. Essa comparação é demonstrada na Figura 1.15. Essa técnica pode ser usada para selecionar objetos análogos de alto redshift, a partir do critério de que a intensidade das linhas de emissão apresentam valores semelhantes aos observados em galáxias distantes. Isso pode ser obtido a partir de uma grande

---

<sup>4</sup>BPT(Baldwin, Phillips & Telervich)

amostra de objetos com dados espectroscópicos. Essa técnica foi utilizada por [Bian et al. \(2016\)](#).

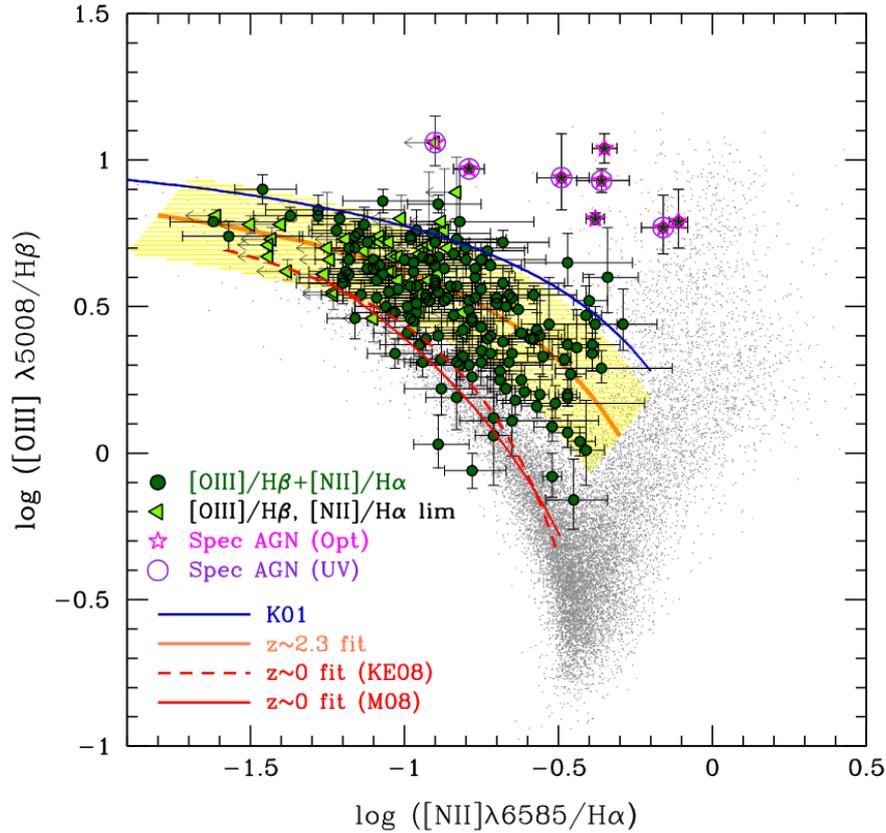


Figure 1.15 - Identificação do offset entre o locus de galáxias star-forming em baixo redshift e de alto redshift. Pontos cinzas representam o diagrama BPT para objetos localizados em baixo redshift. Demais pontos representam as galáxias analisadas e que estão localizadas em alto redshift. Nota-se que ocorre um deslocamento entre os dois locus. Esse deslocamento pode ser usado para selecionar objetos no universo local que apresentam características semelhantes às galáxias no universo distante. Esse deslocamento ocorre porque os parâmetros de ionização de regiões com formação estelar em galáxias localizadas em alto redshift são maiores do que os observados nas galáxias starburst do universo local. Fonte: [\(Steidel et al., 2014\)](#).

No que se refere ao ambiente, o processo de merger é um dos apontados como dominante na formação de galáxias em alto redshift. Todavia, estudos ambientais desses objetos apresentam dificuldades observacionais relacionadas, principalmente, à baixa luminosidade e resolução espacial. [Gonçalves et al. \(2010\)](#) estudando a cinemática de LBAs (um tipo de análoga de alto redshift) mostraram que esses objetos são ideais para entender a cinemática de galáxias distantes. LBAs estão localizadas

em baixo redshift; assim, é possível detectar a cinemática desses objetos até suas regiões mais externas e de menor luminosidade (Figura 1.16). Dessa forma, utilizar análogas de alto redshift para inferir o ambiente de galáxias no universo distante é uma excelente ferramenta, pois devido à proximidade desses objetos, é possível detectar sinais de merger, como também observar possíveis galáxias companheiras pouco brilhantes na vizinhança, que seriam quase impossíveis de serem observadas em suas contrapartidas de alto redshift.

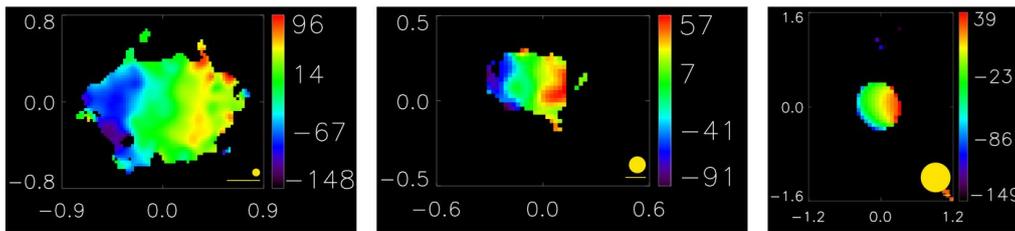


Figure 1.16 - Mapa de velocidades de uma galáxia análoga observada em diferentes redshifts. Painel esquerdo apresenta o objeto observado em seu redshift original 0.2. Painel central mostra a LBA observada a redshift  $z \sim 2.2$ , e o painel à direita expõe a LBA no mesmo redshift; mas, observada no telescópio SINFONI que possui menor resolução angular. Nota-se que observando a mesma em seu redshift natural é possível obter muitos detalhes de sua estrutura até regiões de baixo brilho superficial. Fonte:(Gonçalves et al., 2010).

## 1.6 O papel do ambiente na formação de galáxias

Estudar a variação das propriedades físicas de galáxias em função do ambiente é uma forma eficaz de entender os mecanismos de formação das galáxias. Assim, entender os fenômenos responsáveis por causarem essas variações pode fornecer pistas de como as primeiras galáxias do universo foram formadas e evoluíram ao longo do tempo cósmico.

Estudos indicam que o ambiente pode moldar diversas propriedades das galáxias, como, por exemplo: SFR (Cooper et al., 2008; Darvish et al., 2016; Ji et al., 2018), cores (Grützbauch et al., 2011), presença de AGN<sup>5</sup>(Malavasi et al., 2015) e quantidade de gás(Darvish et al., 2018). Além disso, durante o processo de formação do universo, galáxias e halos de matéria escura crescem através do processo de acreção de gás e matéria escura da “rede cósmica”. O fato de ocorrer acreção de matéria e fusão de halos de DM menos massivos indica mudanças ambientais nas regiões em que a matéria bariônica é processada, que permitem a formação de estrelas e galáxias.

Uma das principais evidências de mudança acentuada de propriedades medidas no universo distante em comparação com o universo local é a atividade de formação estelar que decresceu ao longo da evolução do universo. Ao longo de 10 bilhões de anos, a densidade da taxa de formação estelar diminuiu por um fator de 10 (Madau; Dickinson, 2014), ao passo que densidade de massa estelar aumentou por um fator 2 (Dickinson et al., 2003). Simultaneamente, galáxias massivas passaram por um processo rápido de transformação entre estruturas de disco com formação estelar para galáxias com estrutura de bojo dominante e com baixa atividade de formação estelar (Brown et al., 2007). Nesse contexto, estudos indicam que os processos de merger é um dos principais mecanismos de formação de galáxias que promove uma rápida e eficiente formação estelar, acreção de gás em buracos negros supermassivos e a formação de estruturas elípticas dominadas por dispersão de velocidades no universo distante (Hopkins et al., 2008; Di Matteo et al., 2008).

A seção 1.2 discorre sobre os processos externos que são os principais responsáveis por modificar a taxa de formação estelar e a morfologia em uma galáxia. Esses processos ocorrem em diferentes escalas de tamanho e de tempo, e podem atuar de maneira mais ou menos eficiente na modificação da estrutura e das propriedades de uma dada galáxia. Sabe-se que galáxias em aglomerados massivos estão mais suscetíveis a sofrer pressão de arraste, enquanto galáxias localizadas em grupos ou

---

<sup>5</sup>do inglês, Active Galaxy Nuclei.

pares podem sofrer mergers. Dessa forma, o ambiente que uma galáxia está localizada pode influenciar a sua evolução. No entanto, ainda é motivo de debate o quanto importante é essa influência. Assim, o que se discute a esse respeito é se os processos de interação que ocorrerem em galáxias contidas em diferentes ambientes é o principal ingrediente de suas evoluções; ou, se o mais importante são os processos internos ao objeto que determinam sua evolução. Essas discussões são conhecidas como “*Nature vs Nurture*”.

Nesse sentido, o conhecimento dos processos responsáveis pela alta taxa de formação estelar observada em alto redshift ainda é uma incógnita. Como mencionado na seção 1.2, processos ambientais podem ser responsáveis pela elevada taxa de formação estelar observada em alto redshift. No entanto, estudar em detalhes que tipo de ambiente cerca esses objetos não é trivial devido as dificuldades observacionais. Alguns estudos utilizam uma grande amostra de dados que consegue cobrir intervalos de redshift até  $\sim 1$  (Popesso et al., 2011; Papovich et al., 2018). No entanto, estudos ambientais e suas possíveis correlações com propriedades físicas observadas em galáxias localizadas em  $z \sim 2-3$  são pouco explorados e apresentam viés de seleção devido aos critérios de seleção utilizados na identificação de galáxias em alto  $z$ . Dessa forma, estudar galáxias que possuem similaridades com os objetos observados no universo distante é uma alternativa para entender o cenário de formação e evolução desses objetos.

### 1.7 O ambiente de galáxias análogas de Lyman break

Como foi explicado anteriormente, o ambiente pode ser correlacionado com diversas propriedades físicas das galáxias, como taxa de formação estelar, massa estelar, morfologia e quantidade gás (Dressler, 1980; Kauffmann et al., 2004; Cooper et al., 2008; Darvish et al., 2018). No universo local, até pelo menos  $z \sim 1$ , em ambientes de alta densidade e na região central de aglomerados são preferencialmente encontradas galáxias massivas e vermelhas (Butcher; Oemler A., 1978; Dressler, 1980; Houghton, 2015). Estudos do ambiente em torno de galáxias são intensamente explorados, principalmente aqueles relacionados com aglomerados de galáxias até  $z \sim 1$ . No entanto, tornam-se raros quando se trata da análise ambiental de galáxias localizadas em redshifts maiores que 1.5. Isso ocorre porque aglomerados de galáxias massivos são raros em alto redshift, como também devido à dificuldade de obter uma amostra completa de dados espectroscópicos de galáxias em alto redshift.

Do ponto de vista do modelo de formação hierárquica, galáxias formadas no universo jovem são os ancestrais dos objetos massivos observados em baixo redshift.

Isso mostra que entender os processos de formação e evolução das primeiras galáxias nos dá informação completa de como esses objetos evoluíram até atingirem as características observadas em  $z = 0$ .

Observar em redshifts nos quais galáxias massivas estão ainda em processo de formação é fundamental para entender como ocorre o pico de formação estelar observado em  $z = 2$ , como a massa estelar evolui e que processos são dominantes para a mudança de morfologia desses objetos ao longo da evolução do universo. Como mencionamos, executar um estudo ambiental em galáxias localizadas no universo jovem apresenta várias dificuldades relacionadas a aspectos observacionais (luminosidade, viés e incompletude). Por essa razão, o papel do ambiente na formação e evolução de galáxias localizadas em alto redshift ainda não foi totalmente explorado. Nesse contexto, o estudo do ambiente de galáxias análogas de alto redshift oferece importantes pistas à cerca da formação e evolução desses objetos e de suas contrapartidas no universo distante (Basu-Zych et al., 2009; Adelberger et al., 2004).

Imagens de alta resolução obtidas a partir do telescópio Hubble por Overzier et al. (2009) mostraram que LBAs apresentam morfologia irregular com fortes evidências para ocorrência de merger. Corroborando evidências de merger em LBAs, Hatfield et al. (2018) mostraram que LBGs devem residir em ambientes de alta densidade, o que facilitaria o processo de merger nesses objetos. Assim, LBAs talvez possam apresentar condições ambientais similares às encontradas para LBGs de alta luminosidade.

Basu-Zych et al. (2009) estudaram a função de correlação cruzada de UVLG (Galáxias Luminosas no Ultravioleta) e encontraram uma alta fração de pares para UVLGs com outros tipos de galáxias no mesmo campo (veja Figura 1.17). Isso sugere que o processo de fusão pode ser a principal razão para as elevadas taxas de formação estelar observadas em UVLGs. Outras galáxias com alta SFR, como LIRGS e ULIRGS também apresentam elevada fração de pares, porém exibem maior quantidade de poeira quando comparadas com LBAs.

Adelberger et al. (2005) usaram função de correlação para investigar a massa do halo de galáxias Lyman break. Eles encontraram uma discrepância entre a massa calculada e a observada para esses halos. Essa diferença era mais significativa para pequenas escalas (veja Figura 1.18), e propuseram que esse desacordo pode ser causado por objetos de baixa massa que habitam o mesmo halo, mas que não podiam ser detectados devido ao baixo brilho superficial. Esses resultados sugerem que o ambiente em que LBGs habitam pode abrigar estruturas menores, como galáxias de

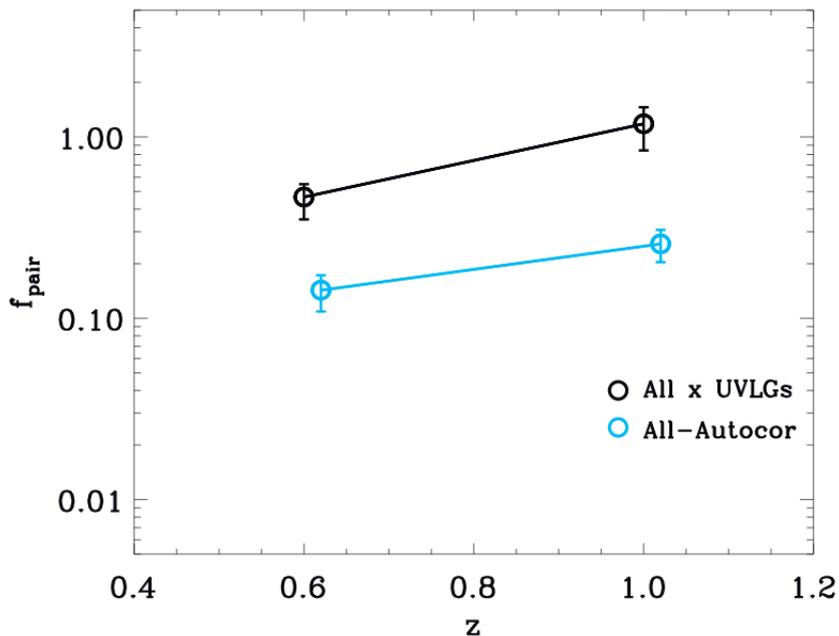


Figure 1.17 - O gráfico apresenta o resultado da função de correlação entre a amostra de UVLGs e outros tipos de galáxias no campo. Notamos que a fração de pares é maior para a função de correlação entre UVLGs e a população de galáxias no campo. Isso sugere que essa amostra de galáxias habita preferencialmente regiões com pelo menos uma companheira próxima. Fonte: (Basu-Zych et al., 2009).

baixa massa, que eventualmente podem passar por processo de fusão com LBGs.

Neste trabalho, busca-se compreender se o ambiente que circunda galáxias análogas de Lyman break exerce um papel importante nas suas características observadas. Sabemos que essas galáxias apresentam propriedades similares às observadas em LBGs, no entanto os aspectos ambientais destes objetos ainda não são totalmente compreendidos. Nesse sentido, estudos do ambiente que cerca LBAs foram realizados com uma amostra em  $z \sim 1$  (Basu-Zych et al., 2009). Porém, esses estudos não apresentavam completeza considerável para explorar o comportamento ambiental de LBAs em comparação com outros objetos em função da massa e de outros observáveis. Neste trabalho, utilizamos observações provenientes da DECam (Dark Energy Camera) que permitem detectar objetos com um limite inferior de  $\sim 10^{8.5} M_{\odot}$  em regiões que contêm LBAs em  $z \sim 0.2$ . Assim, este trabalho representa a primeira tentativa de explorar em detalhes o ambiente que cerca LBAs com uma sensibilidade que permite detectar objetos menos massivos que porventura estejam habitando o mesmo halo de LBAs. Dessa forma, é possível obter plausíveis evidências para os

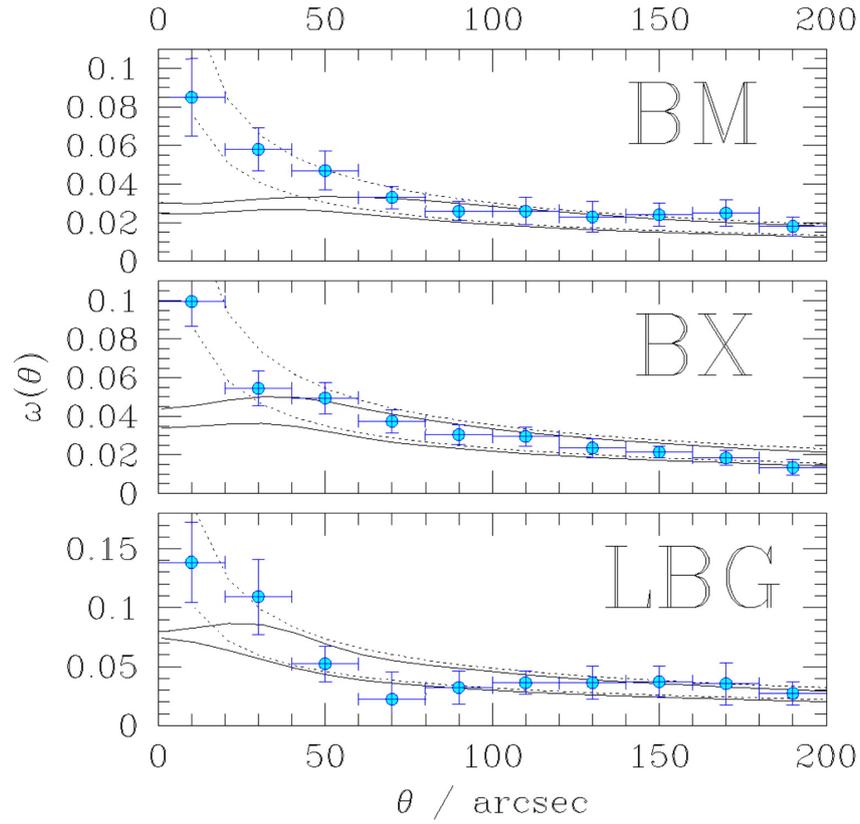


Figure 1.18 - Resultados da função angular de correlação para galáxias localizadas em alto redshift. Linhas tracejadas representam o ajuste obtido, linhas sólidas é o ajuste do modelo. Para pequenas escalas (abaixo de 50arcsec) nota-se uma diferença entre a medida e o modelado. Fonte: (Adelberger et al., 2005).

principais mecanismos de formação que possam ocorrer em suas contrapartidas no universo distante.

## 2 DADOS: ENVIRONMENT OF LYMAN BREAK ANALOGS SURVEY

### 2.1 Amostra

Utilizando dados provenientes do telescópio espacial GALEX (Martin et al., 2005, Galaxy Evolution Explorer), Heckman et al. (2005) selecionaram uma amostra de galáxias com luminosidades no ultravioleta distante (FUV) similares às observadas em galáxias no universo distante. Nesse estudo, foram identificadas 215 galáxias com luminosidades no ultravioleta  $L_{FUV} \geq 10^{10} L_{\odot}$ . Essa é a luminosidade típica observada em galáxias Lyman break localizadas em  $z \sim 3$  (Arnouts et al., 2005,  $10^{10.8} L_{\odot}$ ) e comparável com galáxias similares a LBGs localizadas em menores distâncias como as galaxias BX e BM (Adelberger et al., 2004).

Esses 215 objetos constituem a amostra de Galáxias Luminosas no Ultravioleta (UVLGs, *Ultraviolet Luminous Galaxies*). As UVLGs foram identificadas pelo cruzamento dos catálogos do *Galaxy Evolution Explorer* (GALEX) e *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) por Heckman et al. (2005), Hoopes et al. (2007). Hoopes et al. (2007) baseando-se nas medidas de brilho superficial das UVLGs identificadas as dividiram em três subamostras: grandes ( $I_{FUV} < 10^8 L_{\odot} Kpc^{-2}$ ), compactas ( $I_{FUV} > 10^8 L_{\odot} Kpc^{-2}$ ) e supercompactas ( $I_{FUV} > 10^9 L_{\odot} Kpc^{-2}$ ). As propriedades físicas desses objetos são apresentadas na Tabela 2.1. Dentre essas três subamostras, as galáxias presentes no grupo das supercompactas se destacam por apresentarem propriedades mais semelhantes com LBGs em comparação com os objetos contidos nos outros dois grupos. Essa subclasse é denominada de galáxias análogas de Lyman break (LBAs, do inglês *Lyman break analogs*).

LBAs são definidas como uma subamostra de UVLGs com elevado brilho superfi-

Table 2.1 - Comparação das propriedades das UVLGs com as observadas em galáxias Lyman break (Hoopes et al., 2007).

Propriedades	Grandes	Compactas	Super Compactas	LBG
$\log L_{FUV}(L_{\odot})$	10.3-11.2	10.3-11.0	10.3-10.9	10.3-11.3
$\log I_{FUV}(L_{\odot} Kpc^{-2})$	6.0-8.0	8.0-10.3	9.0-10.3	9.0-10.0
$\log M_{\star}(M_{\odot})$	10.3-11.7	9.2-11.0	9.0-10.7	9.5-11.0
$\log SFR(M_{\odot} yr^{-1})$	0-1.5	0.2-2.0	0.5-2.0	0.5-2.5
$A_{FUV}(mag)$	0-5.0	0-2.5	0-2.0	0-3.0
$12 + \log \frac{O}{H}$	8.6-9.3	8.5-9.2	8.2-8.9	7.7-8.8

cial ( $I_{FUV} > 10^9 L_{\odot} Kpc^{-2}$ ), caracterizadas por apresentarem morfologia compacta, fração de gás, cinemática e atenuação por poeira cujos valores são semelhantes aos observados na sequência principal de galáxias star-forming em altos redshifts (Hoopes et al., 2007; Basu-Zych et al., 2007; Basu-Zych et al., 2009; Basu-Zych et al., 2013; Overzier et al., 2010; Gonçalves et al., 2010; Gonçalves et al., 2014,  $2 \leq z \leq 3$ ). Dessa forma, LBAs representam uma amostra confiável de objetos que possibilitam estudar em detalhes os processos que ocorrem em galáxias do universo distante, pois estas compartilham propriedades físicas semelhantes.

Por estarem localizadas em baixo redshift LBAs tampouco sofrem do fenômeno de escurecimento cósmico (*cosmic dimming*). Isso nos permite estudos detalhados de suas estruturas sem a ocorrência de viés observacional relacionado a detecção de galáxias com elevado brilho superficial. Nesse contexto, LBAs oferecem uma observação favorável de processos físicos que possam estar ocorrendo no universo distante sem a ocorrência de viés observacional, atingindo limites mais profundos de brilho superficial. Além disso, LBAs representam uma amostra singular porque são galáxias raras no universo local com uma densidade espacial típica de  $\sim 10^{-5} Mpc^{-3}$  (Heckman et al., 2005). A Figura 2.1 apresenta imagens de uma amostra de LBAs observadas utilizando o HST (*Hubble Space Telescope*). Nessas imagens, é possível notar os traços característicos de suas morfologias que apresentam estrutura irregular com a presença de regiões compactas (Overzier et al., 2009).

LBAs exibem espectros com intensas linhas de emissão, uma característica típica de galáxias com população estelar jovem e elevada atividade de formação estelar (veja Figura 2.2). Overzier et al. (2009) analisaram a distribuição de LBAs no diagrama BPT (veja Figura 2.3) e constataram que LBAs povoam a região de transição entre galáxias *starforming* e AGN. No diagrama BPT, LBAs habitam regiões que abrangem regiões  $\log\left(\frac{[OIII]}{H\beta}\right) \sim 0.08$  até regiões menores que  $\log\left(\frac{[NII]}{H\alpha}\right) \sim 0.04$ . LBAs apresentam elevada atividade de formação estelar e conseqüentemente apresentam populações estelares predominantemente jovens. Essas populações estelares são dominadas preferencialmente por estrelas OB que emitem com maior intensidade em UV que permite a ionização do gás presente nessas galáxias. Nesse contexto, LBAs também poderiam ser selecionadas por diagnósticos utilizando o diagrama BPT (Steidel et al., 2014; Bian et al., 2016). Os objetos localizados na região de transição apresentam luminosidades em raios-X maiores que a esperada para galáxias que visivelmente não apresentam características de AGN (Basu-Zych et al., 2013). Isso sugere que a população de buracos negros presentes em LBAs são únicas e podem ser utilizadas como ferramentas para análise das suas contrapartidas no universo

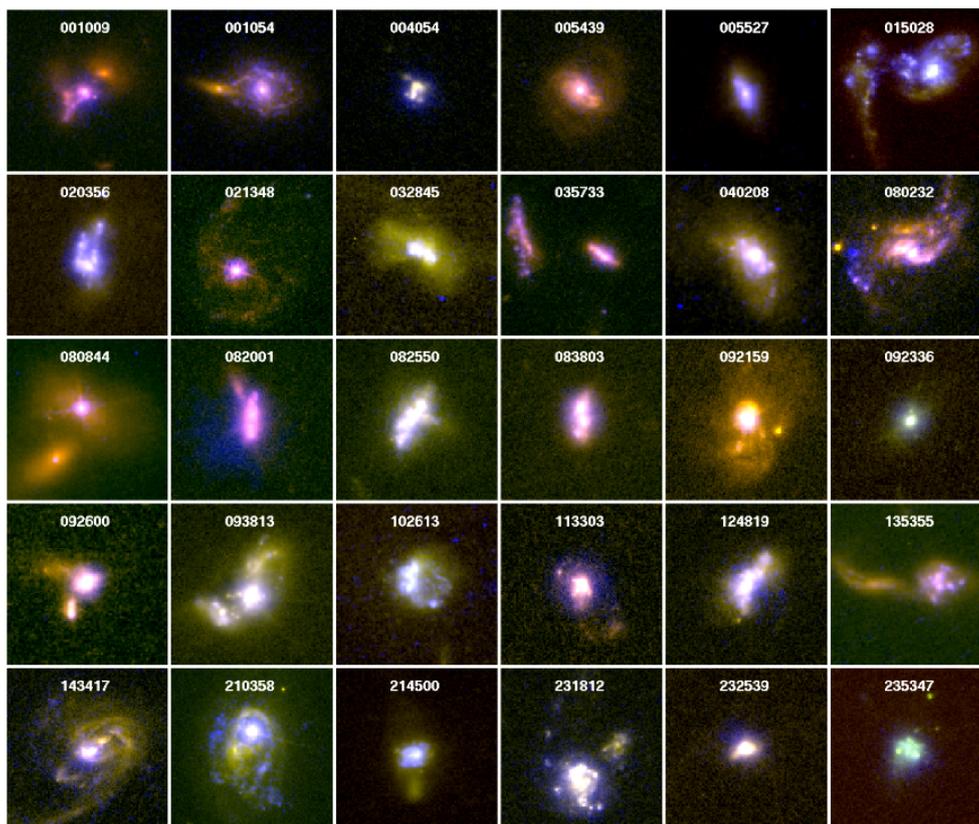


Figure 2.1 - A figura apresenta as imagens coloridas obtidas pela combinação de bandas observadas pelos telescópios Hubble e GALEX obtidas por Overzier et al. (2009). Nessas observações, é possível verificar que esses objetos exibem morfologias irregulares, regiões compactas não resolvidas e discos com baixo brilho superficial, além de algumas apresentarem indícios de processos de fusão com outros objetos.

distante.

Estudar o ambiente em torno das LBAs é uma maneira de verificar se as propriedades observadas nesses objetos podem ser influenciadas por fatores externos, tais como fusões de galáxias e efeitos de maré. Seguindo o estudo prévio de Basu-Zych et al. (2009), estamos analisando o ambiente de uma amostra de LBAs localizadas em redshift menor se comparadas com as analisadas por Basu-Zych et al. (2009). A amostra de LBAs estudadas neste trabalho está localizada em redshift  $z \sim 0.2$ . Isso permite observar objetos menos brilhantes que porventura habitem regiões em torno de LBAs. Dessa maneira, é possível obter uma estimativa mais completa da quantidade de objetos que podem estar habitando o mesmo ambiente das LBAs. As propriedades observadas para esses objetos são apresentadas na Tabela 2.2. Os dados foram obtidos utilizando a DECam (Dark Energy Camera), permitindo alcançar

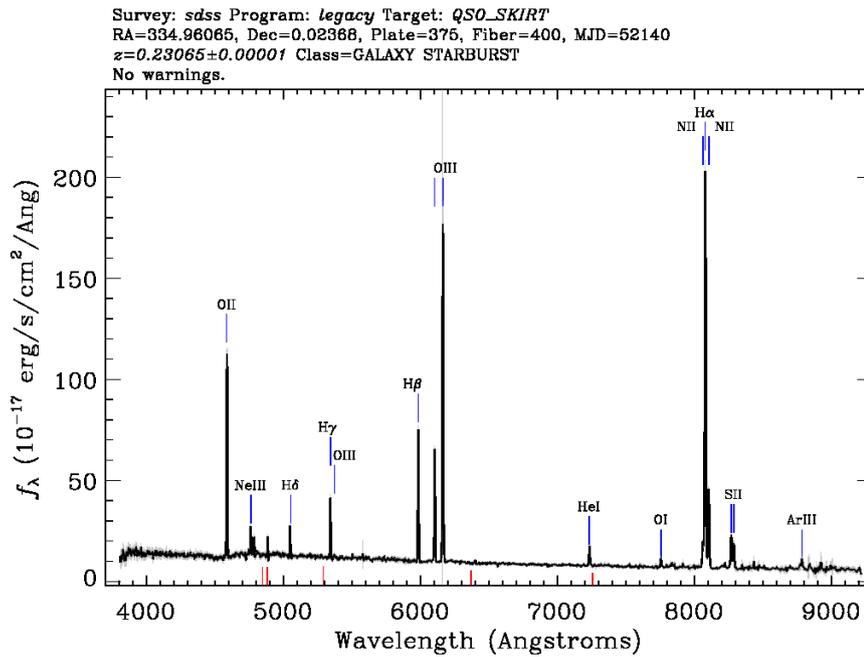


Figure 2.2 - Espectro característico de uma das LBAs presentes na amostra deste trabalho. O espectro é proveniente do SDSS. O espectro desse tipo de galáxia é dominado por linhas de emissão devido a presença de populações estelares jovens. Fonte: SDSS

magnitudes altas o bastante para ser possível detectar objetos com baixo brilho superficial e massa estelar que possam estar habitando a vizinhança das LBAs.

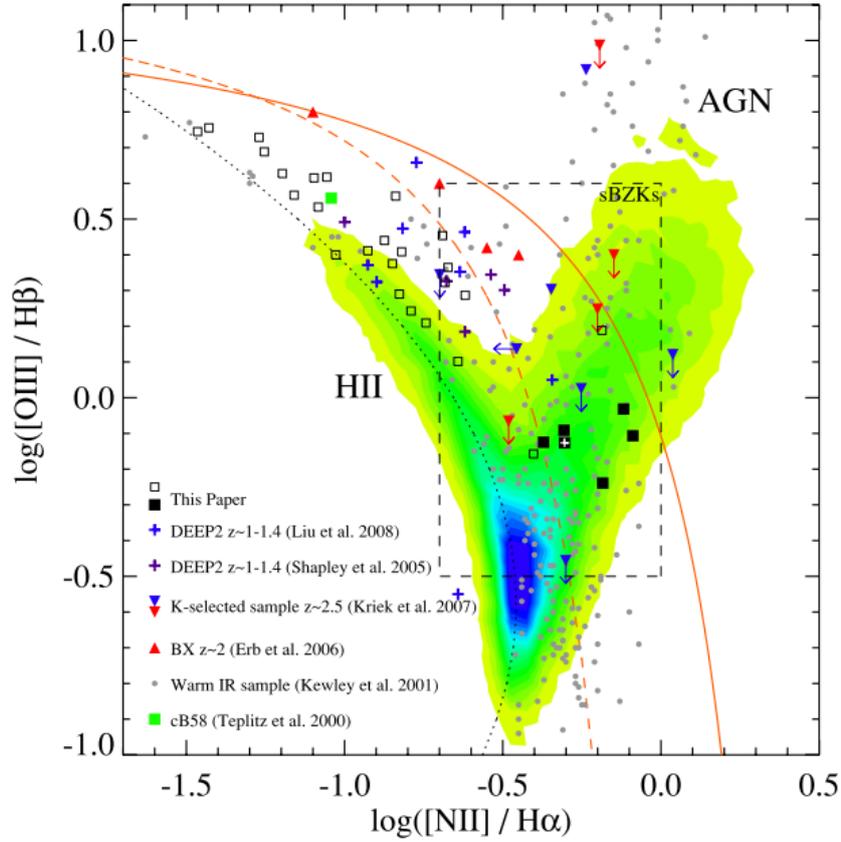


Figure 2.3 - Distribuição da amostra de LBAs estudadas por Overzier et al. (2009) no diagrama BPT. LBAs são representadas por quadrados sólidos e vazios. Os demais pontos correspondem a amostras de galáxias localizadas em alto redshift.

Table 2.2 - LBAs observadas no ELBA (*Environment of Lyman Break Analogs*)

Galaxy	z	$\log M_*(M_\odot)$	$R_{50}^1$	SFR( $M_\odot \text{yr}^{-1}$ )
LBA218	0.18	10.7	4.61	7.48
LBA223	0.18	10.3	2.53	6.14
LBA228	0.21	9.30	0.93	13.16
LBA242	0.25	10.6	1.57	7.09
LBA246	0.22	10.0	2.07	16.50
LBA334	0.23	9.8	0.87	18.99
LBA315	0.13	10.8	2.77	23.14
LBA349	0.25	10.0	3.07	16.07
LBA326	0.20	10.0	1.30	9.18
LBA231	0.14	10.4	2.46	3.00
LBA238	0.08	9.8	0.21	2.77

## 2.2 Observações com Dark Energy Camera (DECam)

As observações foram feitas entre os anos de 2014 e 2017, totalizando 10 noites de observação por meio dos programas 2014A-0632, 2015A-0619, 2017A-0913. Utilizamos o telescópio Blanco, localizado no *Cerro Tololo Inter-American Observatory* (CTIO). Usamos o instrumento DECam (*Dark Energy Camera*). DECam é uma câmera composta por um mosaico de 62 CCDs, que possui campo de visão de 3 graus quadrados e escala de placa igual a 0.236 "/pixel (Flaugher et al., 2015). O imageamento foi realizado nos quatro filtros de banda larga  $u, g, r$  e  $i$ . As observações na banda  $u$  foram incluídas para obter fotometria na região mais azul, em comprimentos de onda menores que 4000 Å, permitindo redshifts fotométricos mais confiáveis para objetos nos campos imageados. Os tempos de exposição foram de 3600s para as bandas  $g$  e  $r$ , 1800s para a banda  $i$  e 5000s para a banda  $u$  considerando o menor valor esperado de  $M^*/L$  entre todos os tipos galácticos para que consigamos detectar acima de  $10^{8.5} M_{\odot}$  de acordo com Taylor et al. (2011). A totalidade dos tempos de exposição foram obtidas seguindo a estratégia do DES. Dessa forma, essas imagens foram subdivididas em imagens com tempo exposição individual de 100 s.

Neste trabalho, foram observados 11 campos, cada um contendo uma LBA na região central, em quatro bandas fotométricas ( $u, g, r$  e  $i$ ). Esse conjunto de dados constitui o ELBA survey. As LBAs que constituem o ELBA são apresentadas na Tabela 2.2 e as posições de cada um dos campos observados são mostradas na Figura 2.4. Pelo fato de todos os campos estarem localizadas na região do SDSS (York et al., 2000, Sloan Digital Sky Survey), uma fração significativa das fontes com maior luminosidade em nossos dados possuem dados espectroscópicos, isso nos permite testar a qualidade dos redshifts fotométricos derivados a partir dos dados do ELBA.

Na Figura 2.5, são apresentadas imagens das LBAs observadas no levantamento ELBA. Essas imagens foram produzidas pelo empilhamento das imagens obtidas nas bandas  $g, r$  e  $i$ . A Figura 2.5 exhibe, para alguns objetos, sinais de potenciais eventos de fusão ou interações das LBAs com outras galáxias. Por exemplo, algumas apresentam objetos próximos, enquanto em outras é possível observar traços fracos de interações de maré (Overzier et al., 2009; Overzier et al., 2010, também observados pelo telescópio espacial Hubble). Por apresentar um campo de visão maior que o HST, o survey ELBA permite analisar o ambiente em torno das análogas em grande ou pequena escala. Além disso, o instrumento DECam nos permite imagear uma grande área no céu (3 graus quadrados) em uma pequena escala de tempo por meio de uma única exposição. Essa característica faz com que o Blanco seja o único

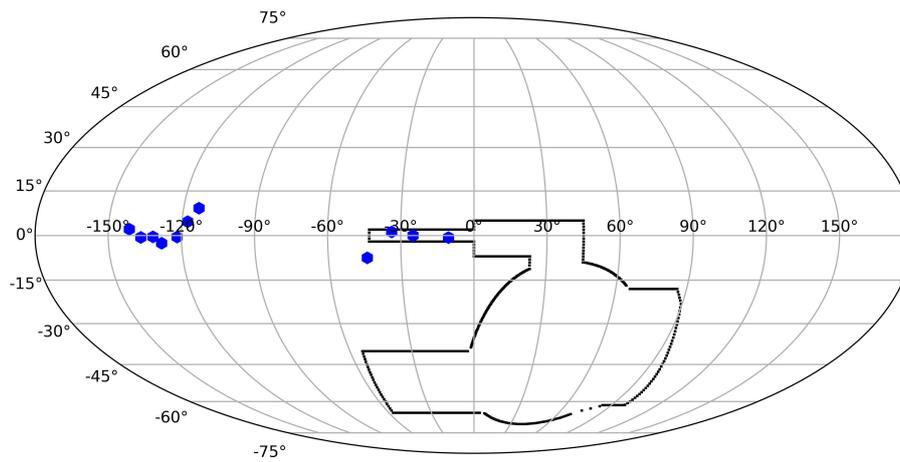


Figure 2.4 - O levantamento ELBA consiste em imagens profundas em posições individuais (representadas pelos pontos azuis), cada uma centrada em uma LBA. Cada uma das regiões observadas, cobrem uma área física de 3 graus quadrados no céu. Essa larga cobertura espacial nos permite comparar o ambiente em torno das LBAs com outras galáxias de massa estelar e taxa de formação semelhante. Na mesma imagem, destacamos o *footprint* observado pelo levantamento DES.

telescópio terrestre no hemisfério sul com a capacidade de imagear grandes áreas do céu com elevada profundidade em magnitude.

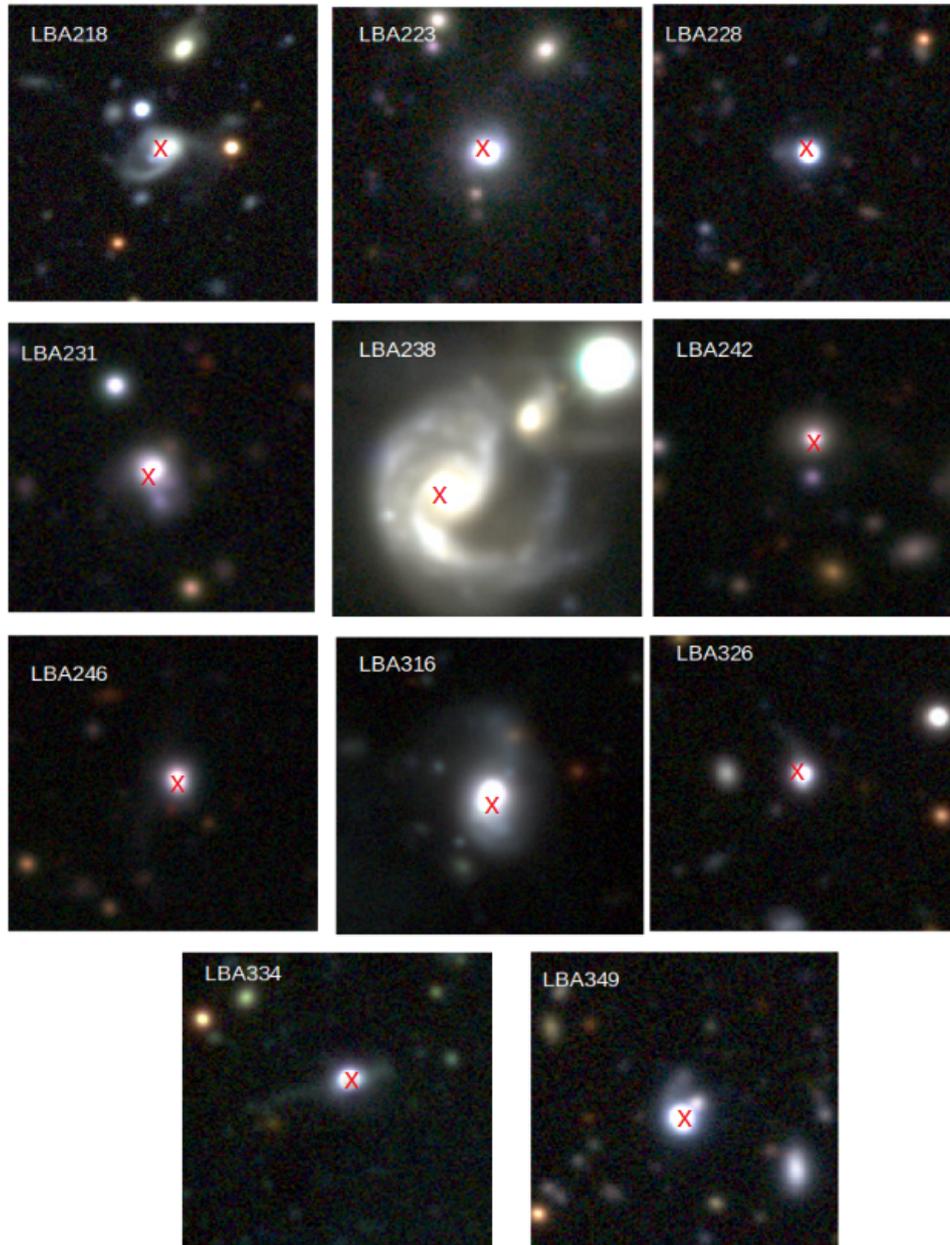


Figure 2.5 - Imagens das LBAs observadas no levantamento ELBA que foram produzidas pelo empilhamento dos dados obtidos nas bandas  $g$ ,  $r$  e  $i$ . Os objetos da amostra são destacados por cruces vermelhas. Essas imagens mostram sinais de potenciais eventos de fusão ou interações das LBAs com outras galáxias. Por exemplo, algumas apresentam objetos próximos, enquanto outras exibem traços fracos de interações de maré (Overzier et al., 2009, também observados pelo telescópio espacial Hubble). Por apresentar um campo de visão maior que o HST, o survey ELBA permite analisar o ambiente em torno das análogas em grande ou pequena escala.

## 2.3 Catálogos

Nessa seção, descrevemos o processo de redução dos dados obtidos no ELBA, incluindo o processamento de imagens, e também o processo das medidas de fotometria das fontes que constituem os catálogos usados neste trabalho. Empilhamos as imagens de acordo com o método proposto por [Morganson et al. \(2018\)](#). Todas as exposições individuais foram processadas usando o DESDM (*Dark Energy Survey Data Management*). Utilizamos o SCAMP ([Bertin, 2006](#)) para calcular a solução astrométrica com o objetivo de garantir que todas as fontes estarão localizadas na mesma região ou pixel da imagem final. Para somar as imagens, usamos o código SWARP ([Bertin et al., 2002](#)), que reamostra as exposições individuais e constrói a imagem final composta pelo somatório das exposições individuais dos campos e bandas observadas.

Usamos o Source Extractor ([Bertin; Arnouts, 1996](#)) para produzir os catálogos de objetos a partir das imagens empilhadas. As imagens na banda  $r$  foram usadas como imagens de detecção. Assim, foi possível identificar a localização das fontes em cada imagem. Rodamos o SExtractor utilizando o modo de imagem dupla, no qual utilizamos as dados observados na banda  $r$  para determinar a magnitude e a posição das fontes em cada imagem (catálogos de detecção) e nas imagens empilhadas para determinar a magnitude em cada uma das bandas. Os parâmetros presentes nos catálogos produzidos pelo SExtractor incluem *Flags*, posições (ALPHAWINJ2000, DELTAWINJ2000) e a fotometria dos objetos detectados em cada banda (MAGAUTO, MAGPSF) com seus respectivos erros associados. Esse mesmo processo para construção de catálogos de fontes também foi utilizado no estudo de [Mau et al. \(2019\)](#), [Mau et al. \(2020\)](#).

Analisando as fontes presentes nestes catálogos, foi possível detectar objetos com baixo brilho superficial com aproximadamente magnitude 25 com  $S/N \sim 3$ . Para estimar a magnitude limite nas observações do ELBA medimos o  $S/N$  utilizando as incertezas em magnitudes obtidas a partir dos SExtractor. O  $S/N$  para cada objeto é estimado com o inverso do erro da magnitude corrigido pela constante de Pongson para cada uma das bandas observadas.

Para obter a correta classificação entre estrelas e galáxias, foi utilizado o parâmetro *ModestClass*. Esse parâmetro foi proposto por [Drlica-Wagner et al. \(2018\)](#) como critério para divisão entre fontes pontuais e estendidas nos dados disponíveis do DES (*Dark Energy Survey*). O *Modest Class* é uma grandeza associada com SPREAD-MODEL e SPREADERR-MODEL na banda  $i$  (Figura 2.6) e é representada pela ex-

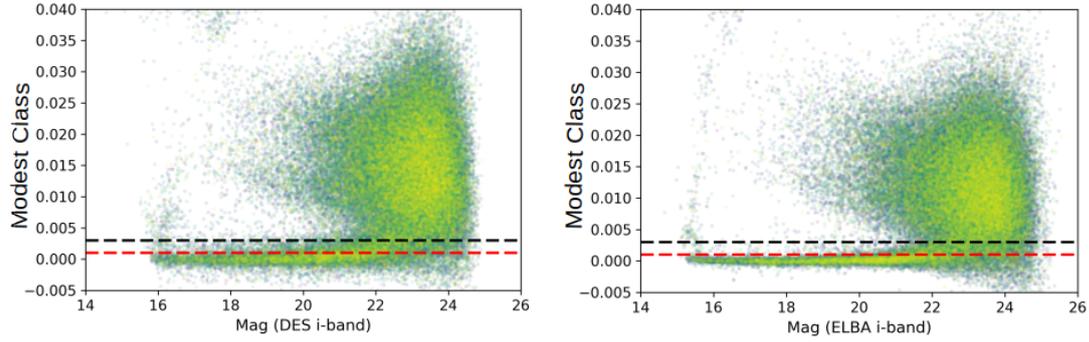


Figure 2.6 - Com o objetivo de distinguir entre fontes pontuais e estendidas, usamos o parâmetro *ModestClass*. Fixamos esse parâmetro no valor de 0.002, o que significa que todas as fontes com valores de modest class menores que 0.002 são classificadas como fontes pontuais. Nos gráficos, são apresentados o *ModestClass* para o grau quadrado central das regiões, em torno das LBAs analisadas neste trabalho, que apresentam observações na região do Dark Energy Survey com a distribuição do *ModestClass* em função das magnitudes na banda *i* do DES e ELBA retratadas nos gráficos da esquerda e da direita, respectivamente. Ambos os gráficos identificam claramente uma região de fontes pontuais onde o parâmetro *ModestClass* é próximo de zero. Nos gráficos expostos, as linhas tracejadas pretas (vermelhas) correspondem a valores limites desse parâmetro para uma seleção pura de galáxias. As linhas vermelha e preta representam onde esse parâmetro é igual a 0.002 e 0.004, respectivamente. Usamos os mesmos cortes nos dados disponíveis do DES para demonstrar que usar esses limites não causam nenhum impacto negativo na separação estrela-galáxia no ELBA survey.

pressão  $SPREADMODEL + 5/3 \times SPREADERRMODEL$ . O SPREAD-MODEL é um parâmetro morfológico obtido a partir do SExtractor pela normalização entre a melhor PSF modelada e um modelo circular de disco convoluído com a PSF. Adotamos  $ModestClass \leq 0.002$  para identificar fontes pontuais (Drlica-Wagner et al., 2018).

Na figura 2.6, comparamos como o critério de separação estrela-galáxia se comportava para fontes presentes no DES and ELBA. Mostramos que, dentro dos valores limites adotados, a classificação nesses diferentes conjuntos de dados concordam entre si.

A distribuição de magnitudes para fontes pontuais em função do S/N são apre-

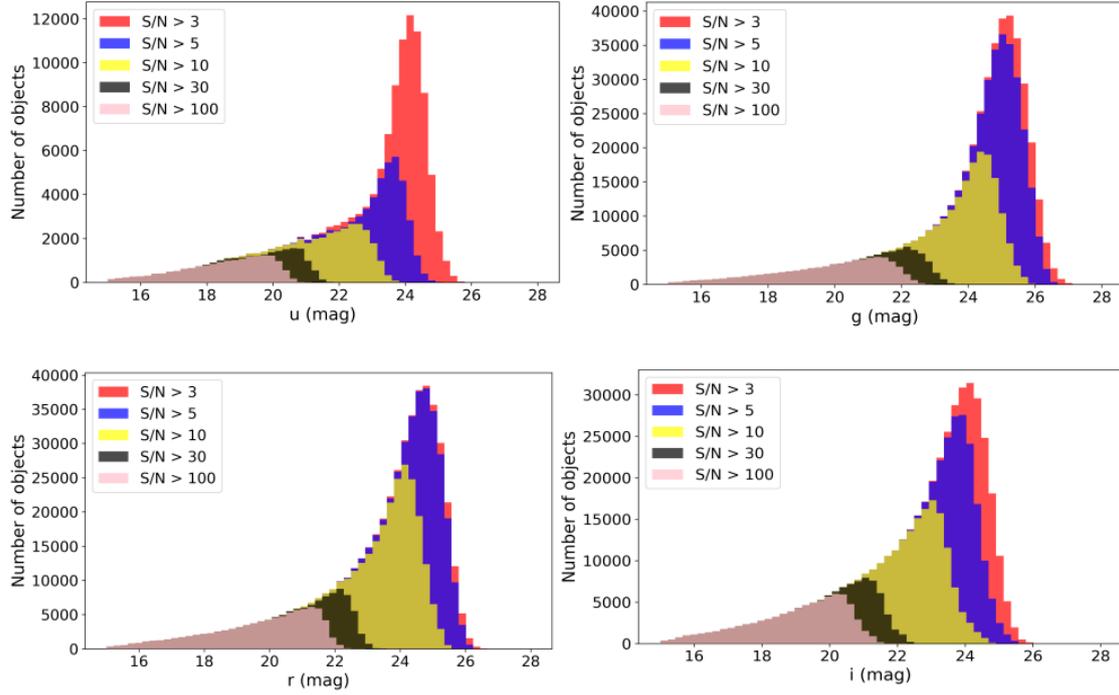


Figure 2.7 - Distribuição de magnitudes para fontes pontuais em função de S/N para as quatro bandas observadas no ELBA. Adotamos o pico da distribuição para fontes com S/N  $\sim 10$  como o valor de magnitude limite para cada banda observada no survey. Assim, conseguimos obter 22.5, 24.4, 24.0, 23.2 para as bandas  $u$ ,  $g$ ,  $r$  e  $i$ , respectivamente.

Table 2.3 - Comparação de magnitudes limite entre ELBA,SDSS and DES para detecções de  $10\sigma$ .

Filter	ELBA ( $10\sigma$ )	DES ( $10\sigma$ )	SDSS ( $10\sigma$ )
$u$	22.5	—	22.0
$g$	24.4	23.5	22.2
$r$	24.0	23.1	22.2
$i$	23.2	22.5	21.3

sentadas na Figura 2.7. Adotamos o pico da distribuição em magnitudes como a magnitude limite para fontes pontuais com uma detecção de  $10\sigma$ . Assim, obtemos magnitudes limites 22.5, 24.4, 24.0, 23.2 para as bandas  $u$ ,  $g$ ,  $r$  e  $i$ , respectivamente. A tabela 2.3 compara os valores de magnitude limite entre ELBA, Dark Energy Survey DR-1 (Abbott et al., 2018) e SDSS (York et al., 2000).

A confiabilidade da fotometria disponível no ELBA foi testada comparando as mag-

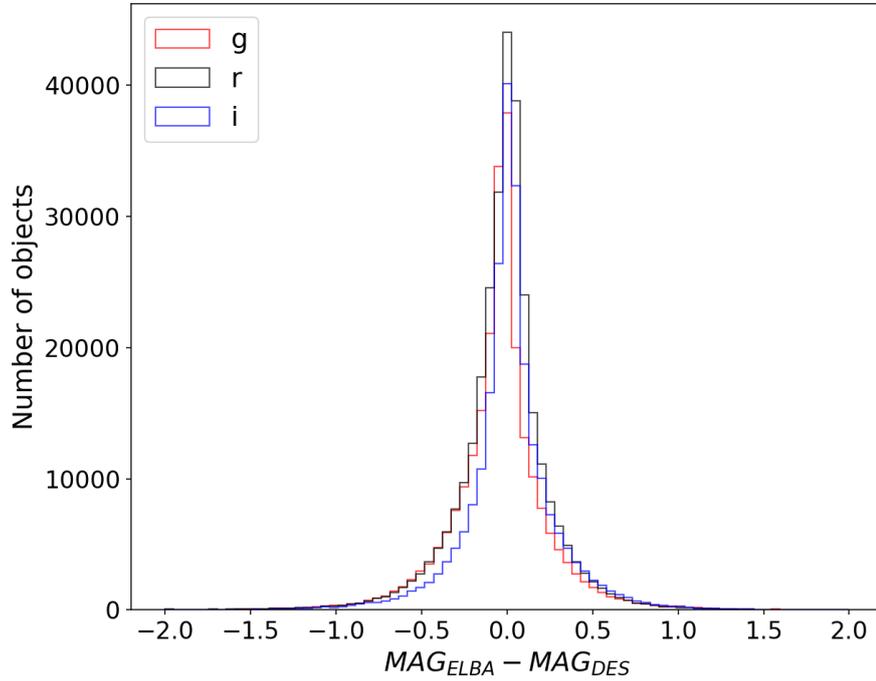


Figure 2.8 - Comparação da fotometria entre ELBA e DES para os filtros  $g, r$  e  $i$ . Com o objetivo de testar a precisão da fotometria presente nos dados do ELBA, comparamos as medidas com as disponíveis no DES. A diferença de magnitude é tipicamente próxima de zero, com uma diferença de 0.008 para fontes com  $S/N \geq 3$ .

nitudes das fontes observadas em campos do ELBA que possuem fotometria no DES (Figura 2.8). A dispersão média da diferença entre as magnitudes medidas entre nossos dados e do DES é de  $\sim 0.008$ . A diferença de magnitude para algumas fontes são devido à baixa precisão para objetos com brilho superficial, além dos valores possíveis de detecção em ambos os surveys.

Os catálogos obtidos neste trabalho foram utilizados com objetivo de medir a densidade ambiental em torno das LBAs. No entanto, devido à cobertura obtida em cada umas das regiões observadas, esses dados podem ser utilizados para outros objetivos científicos. Utilizamos esse conjunto de catálogos, com as respectivas magnitudes, para obter medidas de redshift fotométrico.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Redshifts fotométricos

Redshift fotométrico é uma maneira eficaz de medir distâncias de galáxias na ausência de dados espectroscópicos. Para isso, é utilizada a fotometria de banda larga, que consiste na observação de objetos de interesse com diferentes filtros que permitam cobrir o maior intervalo possível em comprimento de onda ou regiões que abriguem linhas de emissão. De maneira geral, podemos dividir os métodos de calcular redshift fotométrico em dois conjuntos: métodos empíricos e ajustes de templates. Métodos empíricos utilizam uma amostra de dados fotométricos que possuem contrapartidas espectroscópicas, permitindo que essas medidas sejam utilizadas como amostra de treinamento em códigos que utilizam *machine learning*, por exemplo, (De Vicente et al., 2016, DNF). Os métodos de ajuste de templates utilizam bibliotecas ou modelos de SED (*Spectral Energy Distribution*) em vez de medidas espectroscópicas previamente obtidas. Esse método permite que as templates sejam simuladas em qualquer redshift; e, depois, são convoluídas com as curvas de transmissão dos filtros observados, possibilitando a criação de um conjunto de templates que são utilizadas para medir o redshift fotométrico (Ilbert et al., 2006, LePhare).

O primeiro estudo que utilizou essa abordagem foi feito por Baum (1962), que usou 9 filtros que cobriam o intervalo de  $\lambda$  igual a 3730 - 9875 Å. Neste trabalho, utilizaram magnitudes observadas para compor a SED de galáxias localizadas no aglomerado de Virgo.

A utilização de SEDs nos permite obter medidas de redshift para objetos com baixo brilho superficial que possam estar localizados em alto redshift, além de ser possível obter essa informação para um número maior de fontes em uma mesma região do céu. No entanto, a precisão alcançada com essa técnica é inferior quando comparada com medidas obtidas utilizando dados espectroscópicos (Ilbert et al., 2006). Por outro lado, quando se utiliza redshifts fotométricos com filtros de bandas estreitas centradas em regiões características do espectro de uma galáxia, como linhas de Balmer e Lyman, por exemplo, essas medidas tornam-se bastante precisas (Ilbert et al., 2006). Essas regiões apresentam fluxos menores em relação ao contínuo do espectro de uma galáxia, o que permite que sejam facilmente identificadas em diferentes bandas fotométricas. A precisão do redshift fotométrico é obtida em função das medidas existentes de suas contrapartidas espectrais (redshift espectroscópico) e é relacionada pela expressão 3.1. Valores típicos para 3.1 encontram-se no intervalo de 0.01 a 0.1 (1 a 10%). A precisão da medida do redshift fotométrico está

intrinsecamente relacionada com o número de bandas fotométricas e na acurácia da fotometria utilizada (Ilbert et al., 2009; Molino et al., 2019).

$$\frac{\delta_z}{1 + z_{spec}} \quad (3.1)$$

Outro fator importante que apresenta grande influência nas medidas de redshifts fotométricos e propriedades físicas de galáxias é a biblioteca de templates. Medidas que utilizam esse método podem ser influenciadas por fatores que não estão diretamente relacionados aos modelos utilizados. Dados que apresentem linhas de emissão, avermelhamento devido à poeira e presença de objetos com características de AGN, necessitam para o ajuste, uma biblioteca de templates que consiga reproduzir todas essas características (Polletta et al., 2007). Nesse sentido, é importante que o conjunto de templates utilizado, consiga representar com maior completeza possível os objetos presentes na amostra (Walcher et al., 2011; Mitchell et al., 2013). Isso é particularmente crítico quando esse conjunto é composto por modelos empíricos. Em geral, esses modelos são baseados em objetos de baixo redshift e podem apresentar características espectrais completamente diferentes daqueles presentes no universo distante.

Além disso, diferentes modelos de populações estelares podem fornecer resultados divergentes para um mesmo objeto. Os modelos atuais mais utilizados são aqueles propostos por Bruzual e Charlot (2003) e Maraston (2005). Maraston et al. (2006) mediram idade e massa de galáxias em alto redshift obtiveram que essas medidas são 60% mais jovens quando comparadas com medidas obtidas utilizando modelos de Bruzual e Charlot (2003). A principal diferença entre esses dois modelos é que Maraston (2005) considera uma fase evolutiva chamada TP-AGBS (*thermally-pulsing asymptotic branch*). Essas estrelas são frias e podem ser responsáveis por dominar a luz proveniente de populações estelares com 0.2 – 2 Gyr. Nesse contexto, utilizar diferentes modelos de populações estelares, ainda que apresentem pequenas diferenças entre si, podem nos conduzir a resultados e interpretações físicas divergentes para um mesmo objeto. Nesse contexto, utilizar diferentes modelos para medir essas propriedades físicas em LBAs pode nos fornecer um cenário mais detalhado a respeito do histórico de formação estelar desses objetos. Em um estudo posterior iremos refazer essa análise considerando diferentes modelos de SED.

Existem diferentes códigos públicos que permitem medir redshifts a partir de dados

---

<sup>1</sup>onde  $\delta_z = z_{phot} - z_{spec}$

fotométricos, como LePhare (Ilbert et al., 2006), EAZY (Brammer et al., 2008) e DNF (De Vicente et al., 2016). Esses códigos obtêm medidas de redshift por meio do ajuste de templates de galáxias ou de conjuntos de objetos com redshifts previamente medidos. Essas templates consistem em SEDs que representam diferentes tipos morfológicos de galáxias (elípticas, espirais, *starburst*) que têm medidas de cores simuladas para múltiplos valores de redshifts.

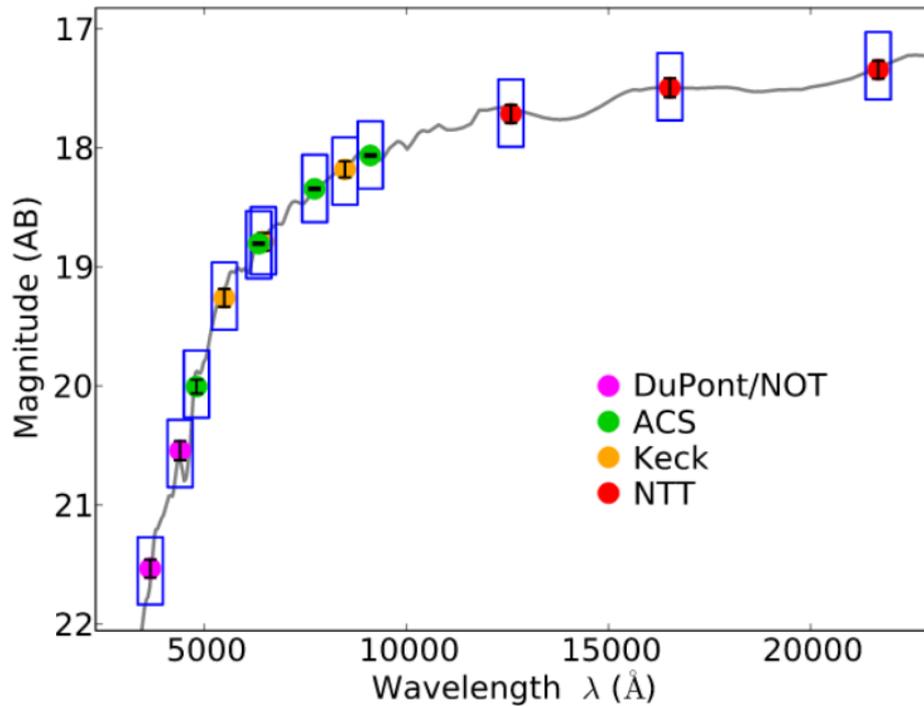


Figure 3.1 - Exemplo de ajuste de SED utilizando, a fotometria de uma galáxia elíptica observada em diferentes bandas fotométricas. Os pontos coloridos representam magnitudes medidas em diferentes filtros que são ajustadas por uma template (linha sólida). Fonte: (Coe et al., 2010).

Neste trabalho, utilizamos o código LePhare para estimar os redshifts fotométricos. LePhare (Ilbert et al., 2006) é um código público que usa ajuste de templates e minimização de  $\chi^2$  entre as magnitudes observadas e teóricas para estimar a template melhor ajustada e redshift. O código fornece diversos conjuntos de templates e leis de extinção que podem ser utilizadas pelo usuário. Para este estudo, optamos pelo conjunto de templates CFHTLS (Ilbert et al., 2006). Esse conjunto é composto por 66 templates que reproduzem todos os tipos morfológicos de Hubble, incluindo galáxias *starburst*, e é bastante utilizado em trabalhos que apresentam objetos localizados

em alto redshift, pois conseguem reproduzir satisfatoriamente as características das SEDs observadas (Ilbert et al., 2006).

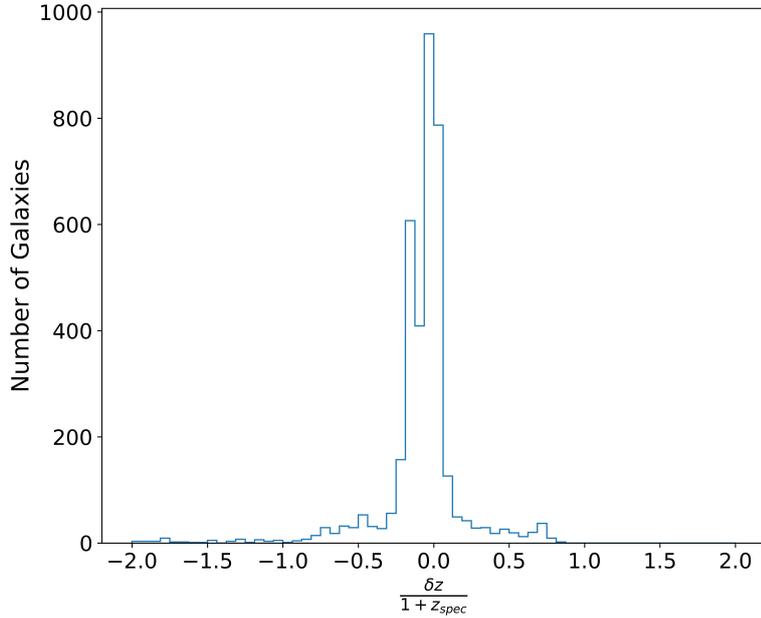
Para estimar a precisão dos redshifts fotométricos obtidos com os dados do ELBA, usamos o desvio absoluto da média normalizado (NMAD). NMAD é uma medida robusta para obter a precisão do redshift fotométrico de uma amostra para a qual haja contrapartidas espectroscópicas (Brammer et al., 2008). Adicionalmente, isso permite medir as incertezas da distribuição do redshift fotométrico sem interferência de erros catastróficos (Molino et al., 2014). A função que expressa NMAD é definida como:

$$\sigma_{NMAD} = 1.48 \times \text{median} \left| \frac{\delta_z - \text{median}(\delta_z)}{1 + z_s} \right|, \quad (3.2)$$

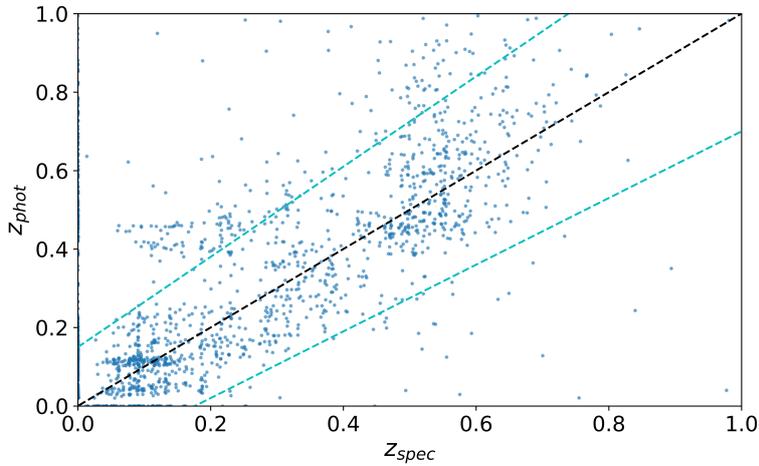
onde  $\delta_z \equiv z_b - z_s$  é a diferença entre o redshift fotométrico obtido utilizando o código Lephare  $z_{phot}$  e o redshift espectroscópico  $z_{spec}$ .

Inicialmente utilizamos às quatro bandas (*ugri*) fotométricas observadas no ELBA. A precisão utilizando as bandas *ugri* é apresentada na Figura 3.2. Com as entradas iniciais utilizando apenas 4 bandas, recuperamos 75% dos redshifts espectroscópicos para galáxias até  $i_{AB} \leq 24$  com  $\sigma_{\delta_z/(1+z)} = 0.0684$  e bias médio de  $\delta_z/(1+z) = 0.0462$ .

Com o objetivo de aumentar a precisão das medidas de redshift fotométrico no ELBA, adicionamos fotometria da região do infravermelho próximo por meio da adição das bandas fotométricas do UKIDSS (Lawrence et al., 2007, UKIRT Infrared Deep Sky Survey). UKIDSS cobre uma área de 7500 graus quadrados na região norte do céu e em baixas latitudes galáticas. Adicionando as bandas JHK disponíveis no UKIDSS, fizemos novas medidas de redshift fotométrico e recuperamos 87% dos redshifts espectroscópicos para objetos com  $i_{AB} \leq 24$  com  $\sigma_{\delta_z/(1+z)} = 0.0228$  e bias médio de  $\delta_z/(1+z) = 0.0186$  (Figura 3.3). As respectivas variações de  $\sigma_{NMAD}$  para diferentes intervalos de redshift são apresentadas na Figura 3.4. Usamos essas medidas de redshift fotométrico no processo de estimativa da densidade ambiental. A metodologia utilizada para obter medidas de densidade ambiental é explicada em detalhes na seção subsequente.

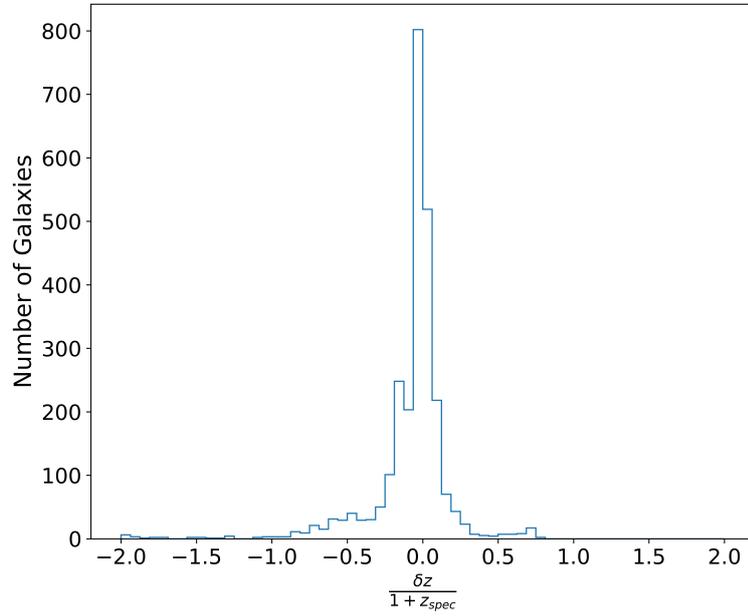


(a)

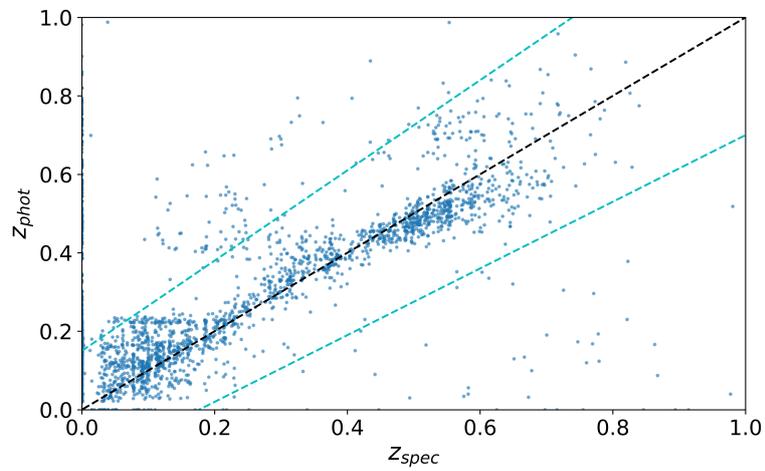


(b)

Figure 3.2 - Avaliamos a precisão do redshift fotométrico comparando as medidas no ELBA com os redshifts espectroscópicos disponíveis no Sloan Digital Sky Survey (SDSS). O painel superior mostra a distribuição de valores para  $\delta_z/(1+z_{spec})$ , para medições desses redshifts usando apenas as bandas *ugri* observadas no ELBA. O painel inferior mostra a correlação entre redshifts fotométricos obtidos no ELBA e redshifts espectroscópicos disponíveis no SDSS. A linha sólida corresponde aos valores em que os redshifts fotométricos e espectroscópicos são idênticos e as linhas pontilhadas representam  $z_{phot} = z_{spec} \pm 0,15(1+z_{spec})$ . Usando apenas quatro bandas disponíveis no ELBA, recuperamos 75 % dos redshifts espectroscópicos para fontes com  $I_{AB} \leq 24$ , com  $\sigma_{\delta z/(1+z)} = 0.0684$  e um desvio médio de  $\delta_z/(1+z) = 0.0462$ .



(a)



(b)

Figure 3.3 - Mesmas grandezas apresentadas na Figura 3.2 , porém com as bandas JHK do UKIDSS adicionadas à fotometria do ELBA. Percebe-se uma melhoria nas medidas de redshift fotométrico. Adicionando as bandas JHK disponíveis no UKIDSS, fizemos novas medidas de redshift fotométrico e recuperamos 87% dos redshifts espectroscópicos para fontes com  $i_{AB} \leq 24$  com  $\sigma_{\delta z/(1+z)} = 0.0228$  e bias médio de  $\delta z/(1+z) = 0.0186$ .

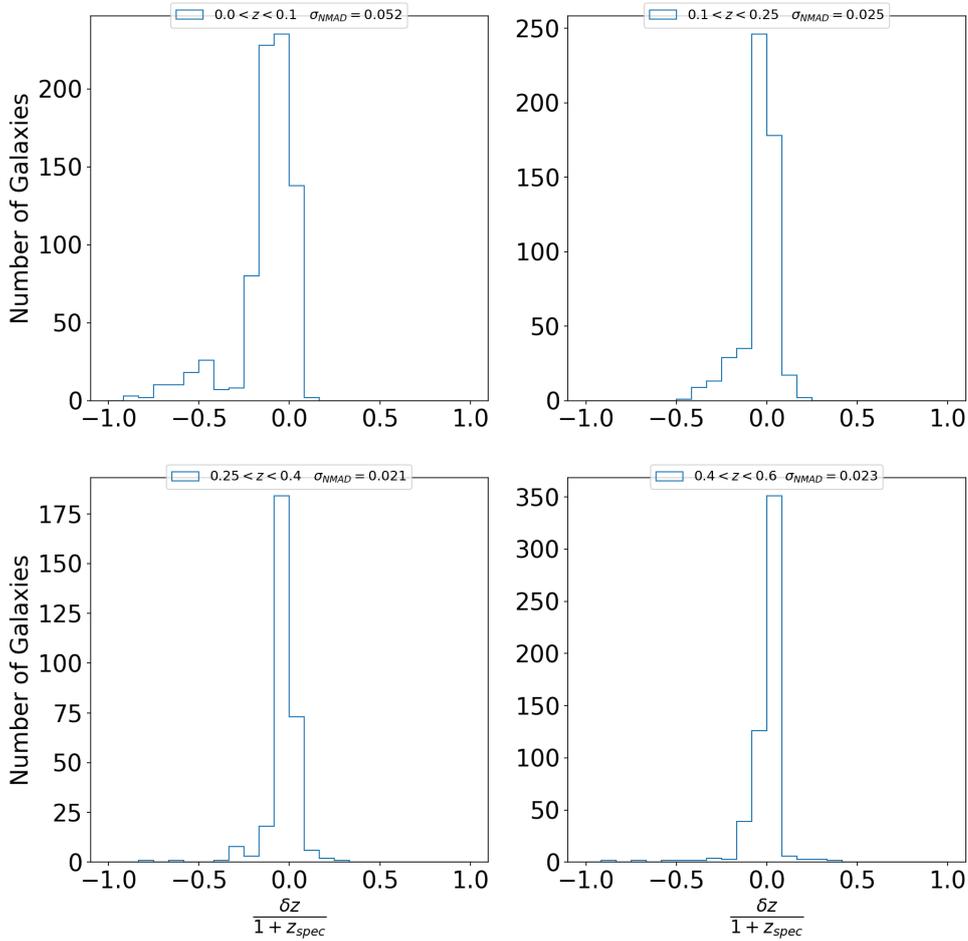


Figure 3.4 - A figura apresenta o comportamento das medidas de  $\sigma_{NMAD}$  para diferentes bins de redshift fotométrico analisados neste trabalho.

### 3.2 Método dos vizinhos mais próximos

Nesta seção, apresentamos a metodologia adotada para estimar a densidade ambiental em torno das LBAs, como também em todas as galáxias presentes nos campos imageados. Existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para medir a densidade ambiental em torno de uma galáxia em diferentes escalas físicas. Cada umas dessas técnicas apresentam suas vantagens e desvantagens (Darvish et al., 2015). Essas medidas podem incluir massa do halo, tamanho do halo, densidades locais, agrupamento de cluster, distância ao centro do halo e associação com diferentes componentes da teia cósmica.

Com o objetivo de medir a densidade local para cada uma das galáxias no catálogo do ELBA, construímos primeiro uma amostra limitada em  $S/N \geq 2$ . Aplicamos esse corte em  $S/N$  com o objetivo de evitar objetos com pouca precisão na fotometria e, conseqüentemente, que apresentam baixa exatidão nas medidas de redshift fotométrico. Para medir a densidade de objetos utilizamos, o método de vizinhos próximos (KNN, *Nearest Neighbour Method*). Para um dado valor de  $K$ , é medida a distância ao  $k$ -ésimo vizinho mais próximo da galáxia estudada. Assim, computamos a densidade projetada,  $\delta_k$ , que é definida por:

$$\delta_k = \frac{k}{\pi r_k^2} \quad (3.3)$$

onde  $k$  é o número de vizinhos próximos a serem identificados e  $r_k$  é a distância do raio projetado ao  $k$ -ésimo vizinho mais próximo. No entanto, como estamos observando galáxias dispostas na esfera celeste, dois objetos podem estar próximos um do outro e, devido a efeitos de projeção, estar localizados a distâncias totalmente diferentes. Por essa razão, além da posição desses objetos no céu (RA e DEC), também é necessária uma terceira dimensão para inferir suas distâncias. Neste trabalho, utilizamos o redshift como sendo a terceira dimensão. Em geral, no estudo de densidade ambiental, costuma-se adotar cortes em velocidades ou em redshift em torno da galáxia alvo com o objetivo de diminuir os efeitos de projeção nas medidas. Esses cortes são tipicamente da ordem de  $\pm 1000 \text{ km s}^{-1}$  para dados espectroscópicos com  $dz \sim 0.0015$  (Muldrew et al., 2012; Malavasi et al., 2015).

Neste trabalho, usamos o mesmo método de (Darvish et al., 2018). Usamos uma amostra de galáxias com um range de velocidade de recessão de  $\Delta v = c \Delta z = \pm 2000 \text{ km s}^{-1}$ . O  $\Delta v$  utilizado neste trabalho corresponde ao valor típico para dados que apresentam redshifts fotométricos com incertezas da ordem de  $dz \sim 0.01$  (Gallazzi et al., 2009). Devido à amostra ser limitada em  $S/N$ , corrigimos todos os valores de densidade por uma função de seleção. Assim, a expressão que definia a densidade projetada foi reescrita como:

$$\Sigma_i = \frac{1}{\psi(D_i)} \frac{k}{\pi d_i^2}, \quad (3.4)$$

onde  $\Sigma_i$  é a densidade projetada para uma galáxia  $i$ ,  $d_i$  é a distância projetada ao  $k$ -ésimo vizinho mais próximo.  $\psi(D_i)$  é a função de seleção usada para corrigir as medidas de densidade do viés de Malmquist em função de distância comóvel de

acordo com a seguinte relação:

$$N(D)dD = AD^2\psi(D)dD, \quad (3.5)$$

onde

$$\psi(D) = e^{-\left(\frac{D}{D_c}\right)^\alpha}, \quad (3.6)$$

$A$  é um fator de normalização, e  $D_c$  é a distância comóvel característica que corresponde ao pico da distribuição de redshifts.  $D$  é a distância comóvel e  $N(D)$  é o número de galáxias com medidas de  $D$ . Assim, ajustamos a função de seleção à distribuição de redshifts da amostra de objetos limitados em S/N e obtivemos que o melhor ajuste é dado por  $A = (2.09 \pm 0.30) \times 10^{-3}$ ,  $D_c = 1713.39 \pm 106.14$ , e  $\alpha = 3.016 \pm 0.478$  (Figura 3.5).

Usando a função de seleção, corrigimos a densidade local medida para cada uma das galáxias pelo fator  $1/\psi(D)$ . O painel inferior na Figura 3.5 apresenta a função de seleção como função da distância comóvel. Na Figura 3.5, destacamos o ponto preto no painel inferior que representa a distância comóvel com valor  $D = 2344.4$   $Mpc$  que corresponde a  $z \sim 0.6$  onde  $\psi(D) = 0.1$ . Para evitar incertezas grandes e flutuações nas densidades medidas, utilizamos na análise de densidade somente galáxias com  $\psi(D) \geq 0.1$ . Adicionalmente, foi feito um corte inferior de  $D = 85$   $Mpc$  que corresponde a  $z \sim 0.02$  para evitar fontes muito brilhantes que possam apresentar problemas na fotometria.

Com o objetivo de testar a eficiência do método aqui aplicado, tentamos recuperar a relação bem estabelecida entre a morfologia de galáxias e suas densidades ambientais (Dressler, 1980, relação Morfologia-Densidade). Sabemos que no universo, a fração de galáxias vermelhas depende da massa estelar e do ambiente que a galáxia habita (Baldry et al., 2006; Peng et al., 2010). Usando galáxias localizadas até  $z \sim 1.0$ , Peng et al. (2010) mostraram que a fração de galáxias vermelhas e massivas é maior em ambientes com alta densidade. Kovač et al. (2014) mostraram que essa dependência ocorre ao menos até  $z = 0.7$ .

Neste trabalho, definimos galáxias vermelhas como sendo aquelas com taxa de formação estelar específica  $\log(\text{sSFR}) \leq -11.0$  ( $yr^{-1}$ ). Calculamos a densidade ambiental para todas as galáxias, usando o método de vizinhos mais próximos na amostra

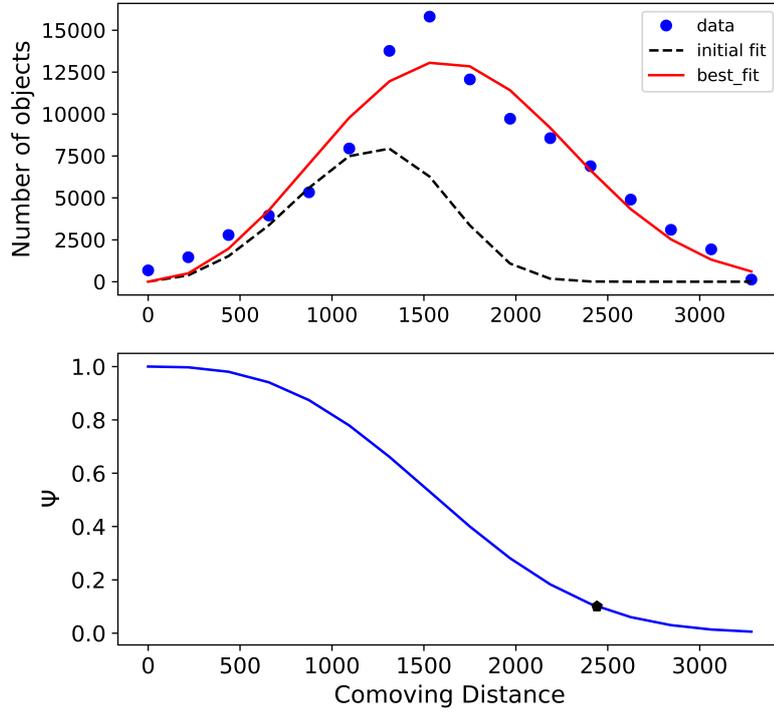


Figure 3.5 - Painel superior: distribuição das distâncias comóveis nos dados do ELBA (em bins de  $\Delta D = 200 Mpc$ ). O melhor ajuste de  $(D^2 e^{-\frac{D}{D_c}^\alpha}$ ; linha sólida vermelha) é dado por  $A = (2.09 \pm 0.30) \times 10^{-3}$ ,  $D_c = 1713.39 \pm 106.14$ ,  $\alpha = 3.016 \pm 0.478$ , e o ajuste inicial (linha tracejada). Painel inferior: função de seleção ( $\psi$ ) em função da distância comóvel. O ponto preto mostra onde  $\psi = 0.1$ . Isso corresponde a  $D = 2441.2660$  Mpc ou  $z \sim 0.6$ .

limitada em sinal ruído, descrita anteriormente. Nós, finalmente, determinamos a fração de galáxias vermelhas para cada bin de densidade, considerando o intervalo de redshift selecionado a partir da função de seleção. A Figura 3.6 apresenta os resultados desse teste, mostrando que conseguimos reproduzir a relação citada anteriormente. Assim, concluímos que a partir desse teste, o método aqui aplicado é confiável o bastante para ser utilizado no estudo da densidade ambiental das galáxias análogas de Lyman break.

### 3.2.1 Testando o método no aglomerado de Coma

Com o objetivo de verificar a acurácia do método, decidimos testá-lo novamente em uma amostra de dados sem nenhuma dependência com os apresentados no ELBA e que tivesse medidas espectroscópicas disponíveis. Para isso, utilizamos a base de

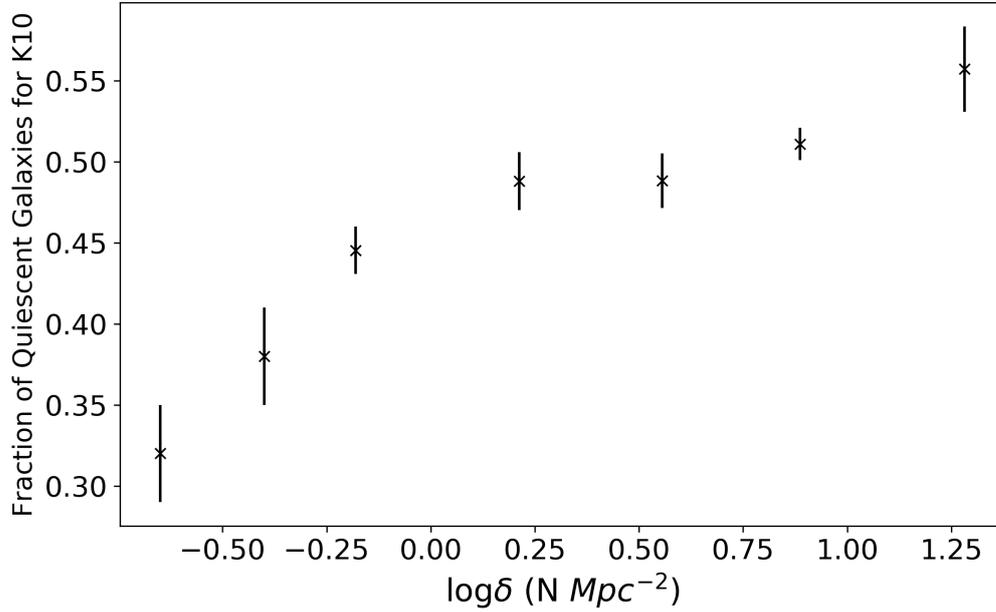


Figure 3.6 - Como um teste de nossa metodologia de estimativa de densidade local, medimos a fração de galáxias quiescentes em função da densidade ( $\log \delta$ ) e obtivemos a clássica correlação entre a morfologia e o ambiente ocupado por uma galáxia. De acordo com a relação morfologia-densidade, a fração de galáxias vermelhas é maior em ambientes densos.

dados do *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS). Obtivemos informações de RA, DEC,  $Z_{\text{espectroscópico}}$ , massa, SFR e sSFR de todos os objetos classificados como galáxias dentro de uma região com tamanho aproximado de 1 grau quadrado em torno do aglomerado de Coma (Figura 3.7). Escolhemos essa região devido à presença desse aglomerado massivo que permite a obtenção da relação morfologia-densidade de maneira direta.

Como todos os objetos utilizados nesse teste já haviam sido previamente selecionados, obedecendo ao critério de apresentarem dados espectroscópicos, os mesmos já apresentam alta S/N como consequência. Dessa maneira, não foi necessário estabelecer uma amostra limitada em magnitude. Assim, aplicamos a mesma função de seleção apresentada na seção anterior à distribuição de distâncias para os dados de galáxias na região do aglomerado de coma (veja Figura 3.8).

A função de seleção nesse teste não apresentou um bom ajuste porque a distribuição não é Gaussiana. Utilizando essas medidas, corrigimos as densidades locais por um fator  $1/\psi(D)$ . O painel inferior na Figura 3.8 apresenta a função de seleção como

função da distância comóvel. Na Figura 3.8, destacamos o ponto preto no painel inferior que representa a distância comóvel com valor  $D = 320 \text{ Mpc}$  que corresponde a  $z \sim 0.078$  onde  $\psi(D) = 0.1$ . Para evitar incertezas grandes e flutuações nas densidades medidas, utilizamos na análise de densidade somente galáxias com  $\psi(D) \geq 0.1$ .

Em seguida, utilizamos os mesmos critérios apresentados anteriormente para definir galáxias quiescentes na amostra do aglomerado de Coma. Aplicando esses cortes em diferentes bins de densidade, obtivemos a relação Morfologia-Densidade proposta por Dressler (1980). Esse resultado é apresentado na Figura 3.9.



Figure 3.7 - Imagem do aglomerado de Coma. Fonte: Dan Zowada Memorial Observatory.

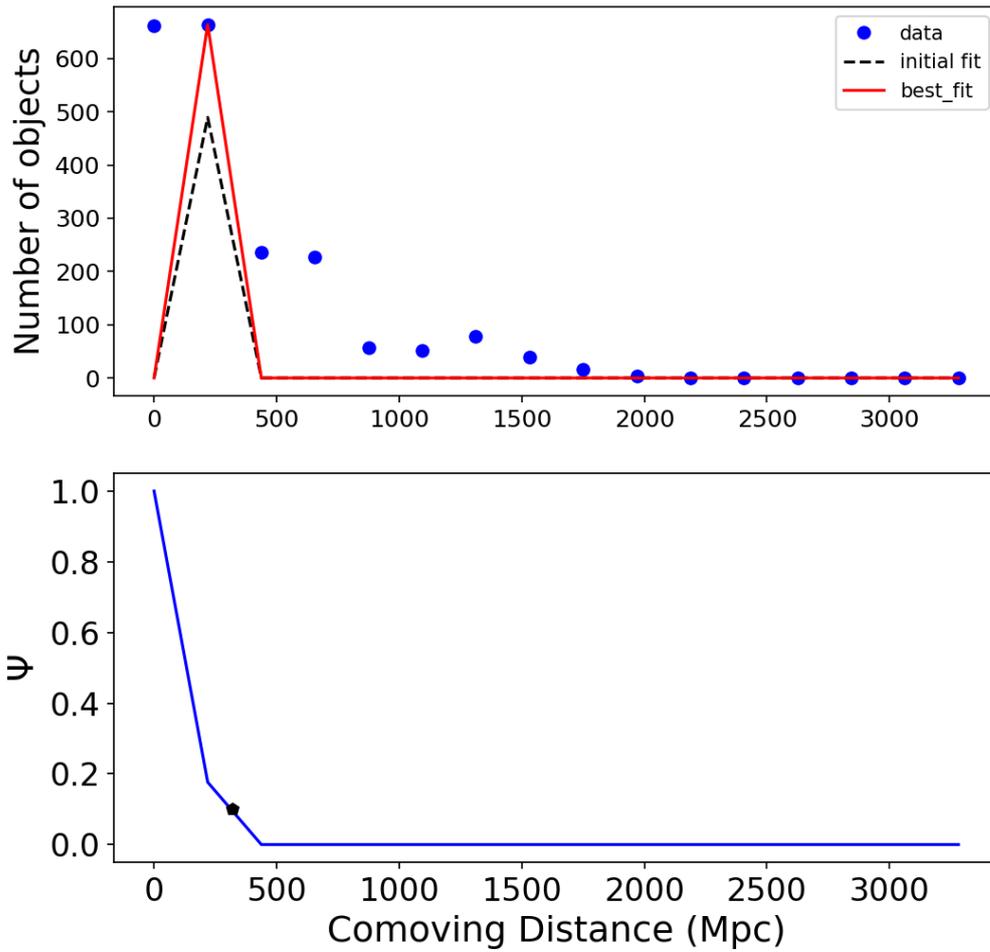


Figure 3.8 - *Painel superior*: distribuição das distâncias comóveis nos dados do ELBA (em bins de  $\Delta D = 220 \text{ Mpc}$ ). O melhor ajuste de  $(D^2 e^{-\frac{D}{D_c}^\alpha}$ ; linha sólida vermelha) é dado por  $A = (0.07 \pm 0.01) \times 10^{-3}$ ,  $D_c = 200.13 \pm 40.81$ ,  $\alpha = 6.15 \pm 0.68$ , e o ajuste inicial (linha tracejada). *Painel inferior*: função de seleção ( $\psi$ ) em função da distância comóvel. O ponto preto mostra onde  $\psi = 0.1$ . Isso corresponde a  $D = 320 \text{ Mpc}$  que corresponde a  $z \sim 0.078$ .

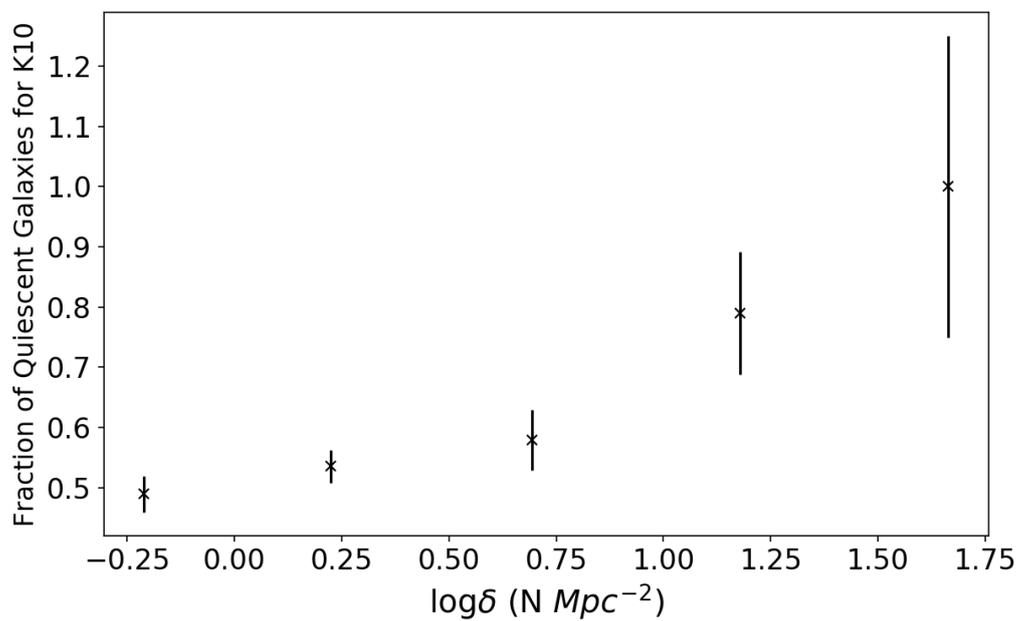


Figure 3.9 - Como um teste de nossa metodologia de estimativa de densidade local, medimos a fração de galáxias quiescentes em função da densidade ( $\log \delta$ ) e obtivemos a clássica correlação entre a morfologia e a ambiente ocupado por uma galáxia. De acordo com a relação morfologia-densidade, a fração de galáxias vermelhas é maior em ambientes densos.

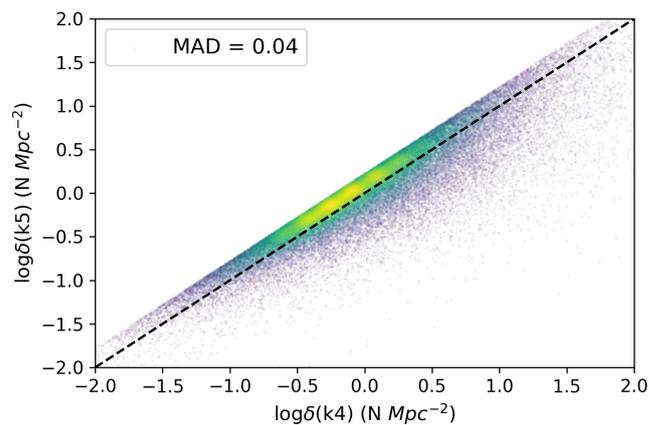
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 LBAs estão presentes em grupos ou pares?

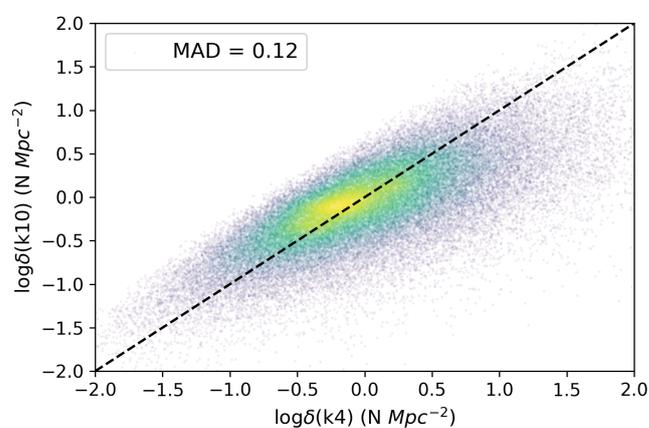
Neste trabalho, os resultados para o estudo ambiental das LBAs foram obtidos através da aplicação do método de vizinhos próximos. Aplicamos esse método aos catálogos do ELBA com as medidas de redshift fotométrico, utilizando as bandas  $u, g, r, i, J, H, K$ . Usando a função de seleção, apresentada na seção Metodologia, corrigimos as medidas de densidade por um fator  $\frac{1}{\psi(D)}$ . Para mais detalhes veja o capítulo 3. Na Tabela 4.1, são apresentadas as medidas de densidade para cada um dos objetos que compõe o conjunto de LBAs estudadas neste trabalho.

Comparamos as medidas de densidade obtida com os estimadores k4 (quarto vizinho próximo), k5 (quinto vizinho próximo) e k10 (décimo vizinho próximo). Calculamos o desvio absoluto da média (MAD, *Median Absolute Deviation*) entre essas medidas, para verificar a semelhança entre as medidas. Os valores da MAD entre k4 e k5, k4 e k10, e k5 e k10 foram de 0.04, 0.12 e 0.09, respectivamente (veja Figura 4.1). Como as medidas obtidas com k4 e k5 apresentam valores similares e com pequena dispersão entre si, os resultados principais apresentados neste trabalho consideram somente aqueles valores de densidade superficial obtidos com os estimadores k4 e k10. Na Figura 4.2, apresentamos a distribuição de densidade superficial para os estimadores k4 e k10. Galáxias com densidades maiores que 0.7 podem estar associadas a pares ou grupos. Já aqueles objetos localizados em regiões com densidades maiores que 1.5, podem estar associados a aglomerados de galáxias ou a pequenos grupos de galáxias (Houghton, 2015). Nos nossos resultados, são encontrados objetos com densidades que podem ser associadas a aglomerados. No entanto, não foi feita uma análise detalhada para identificar essas estruturas. Encontramos que LBAs estão localizadas em regiões com valores de densidade similares às galáxias no mesmo campo, com um desvio menor que 0.2 dex quando consideramos as medidas obtidas para k10. k10 geralmente assume valores elevados para galáxias localizadas em grandes aglomerados. Dessa forma, concluímos que LBAs não estão associadas a aglomerados de galáxias.

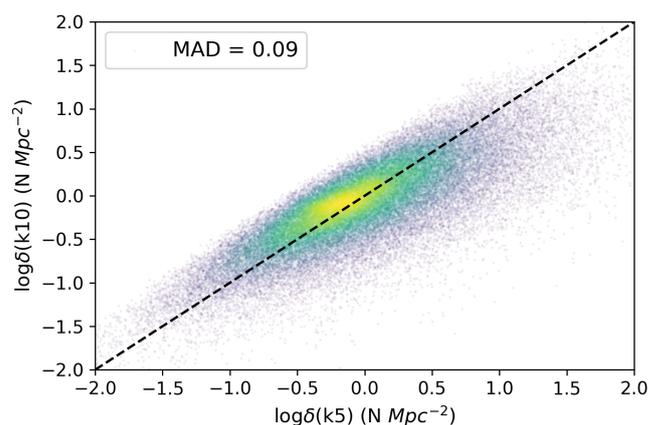
O principal objetivo deste trabalho é verificar se o ambiente que hospeda LBAs apresenta densidade semelhante àquelas observadas no mesmo campo ou se detectamos alguma discrepância significativa. Comparamos a média das medidas de densidade obtidas, utilizando k4 e k10, com a amostra global de galáxias (todas as galáxias no campo) com as obtidas para LBAs. Fizemos essa abordagem porque, considerando que o ambiente pode ser um fator determinante nas características observadas em



(a)



(b)



(c)

Figure 4.1 - Comparação entre as medidas de densidade superficial usando os estimadores  $k_4$ ,  $k_5$  e  $k_{10}$ . (a) comparação entre  $k_4$  e  $k_5$ . (b) comparação entre  $k_4$  e  $k_{10}$ . (c) comparação entre  $k_5$  e  $k_{10}$ . O desvio absoluto da média é apresentado em cada gráfico. O aparente corte presente no primeiro painel representa casos extremos em que a distância ao quarto vizinho próximo é igual a distância ao quinto vizinho mais próximo e trata-se de uma particularidade do método quando se compara valores de  $k$  semelhantes.

Table 4.1 - Medidas de densidade obtidas utilizando o método de vizinhos próximos para cada LBA da amostra. Todas as medidas foram corrigidas pela função de seleção.

Galáxia	$\log \delta_{k4}$ ( $N \text{ Mpc}^{-2}$ )	$\log \delta_{k5}$ ( $N \text{ Mpc}^{-2}$ )	$\log \delta_{k10}$ ( $N \text{ Mpc}^{-2}$ )
LBA223	-0.31	-0.75	-0.49
LBA231	0.78	0.21	0.13
LBA218	1.05	1.38	0.55
LBA238	1.66	1.55	1.18
LBA242	0.04	0.16	-0.39
LBA246	2.04	1.01	0.45
LBA326	1.44	1.22	0.74
LBA334	1.57	1.02	-0.58
LBA349	-1.25	-1.07	-0.08

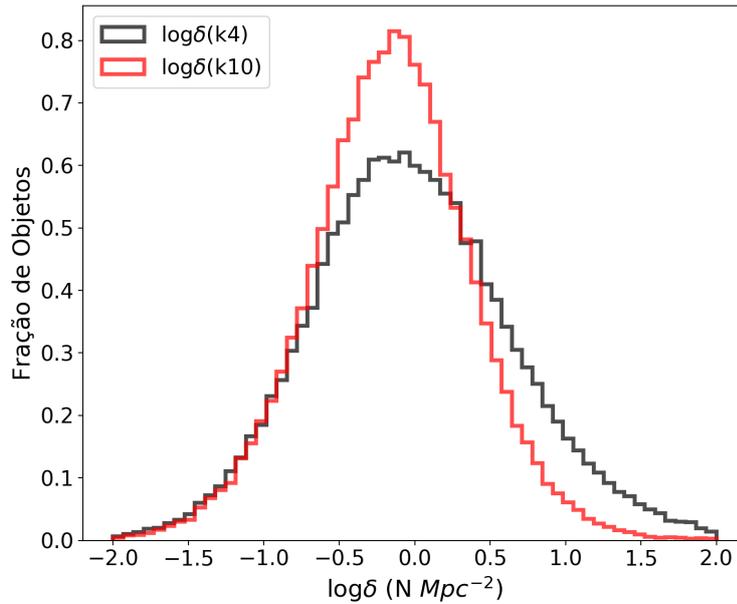


Figure 4.2 - Fração de objetos em função das medidas de densidade para os estimadores k4(preto) e k10(vermelho).

uma galáxia, diferenças significativas nas medidas de densidade para essas duas populações podem apontar processos ou estágios evolutivos diferenciados.

Considerando a média da densidade obtida para cada um dos estimadores, para essas duas populações, encontramos que o valor de k4 para LBAs tem valor de densidade maior que k10. Isso sugere que a alta densidade em pequenas escalas pode

ser associada a pequenos grupos ou pares nos quais LBAs podem estar inseridas.

Aplicamos o teste KS (Kolmogorov-Smirnov) entre os valores de densidade para LBAs e para população de galáxias no campo. Fizemos isso com o objetivo de verificar se existe uma diferença estatística significativa entre as densidades obtidas para esses diferentes conjuntos. Utilizando o teste KS entre as duas populações (LBAs e amostra geral), comparamos as distribuições de densidade física obtidas com o estimador k10, e determinamos que as mesmas não apresentam uma diferença considerável. Para densidade física obtida com k10, obtemos  $p - value \sim 30\%$  ( $D = 0.3273$  e  $p - value = 0.29016$ ). No entanto, aplicando o mesmo teste para as distribuições das densidades obtidas com o estimador k4 entre as mesmas populações, encontramos que as mesmas são diferentes. Para esse caso, encontramos  $p - value$  abaixo de 1% ( $D = 0.5456$  e  $p - value = 0.0095$ ). Onde  $D$  é a diferença de fração cumulativa entre as distribuições.

Analisando a Figura 4.3, é possível verificar que LBAs, na média, habitam regiões mais densas que a população geral de galáxias, considerando medidas obtidas com o estimador k4. Por outro lado, LBAs compartilham ambientes com densidade física similar aos ambientes que abrigam a população geral de galáxias, se considerarmos somente as medidas de densidade obtidas utilizando o estimador k10. Esses resultados têm significância reforçada pelos valores obtidos no teste KS, onde encontramos que a diferença nas distribuições de densidades das duas populações é mais significativa para as medidas obtidas com o estimador k4.

Nesse contexto, o processo de fusão entre galáxias pode funcionar como um gatilho para intensa atividade de formação estelar (Cibinel et al., 2019). LBAs apresentam características morfológicas que são tipicamente associadas a objetos que passaram pelo processo de fusão. Dentre essas características, as mais notáveis são a presença de estruturas filamentosas em torno desses objetos e presença de uma ou mais regiões brilhantes que podem ser associadas a diferentes galáxias que participaram do processo de fusão (veja Figura 2.1). Nesse contexto, os processos de acreção e fusão com outras galáxias causam instabilidades no gás contido nesses objetos, podendo promover um aumento abrupto da densidade de gás molecular em algumas regiões. Esse aumento da densidade de gás molecular pode favorecer surtos de formação estelar. Dessa maneira, o processo de merger é um dos principais mecanismos para elevada taxa de formação estelar em objetos localizados em regiões de maior densidade durante seus estágios iniciais de evolução (Nevin et al., 2019; Pearson et al., 2019). Sugerimos que o ambiente em pequenas escalas que cerca LBAs (até 1 Mpc)

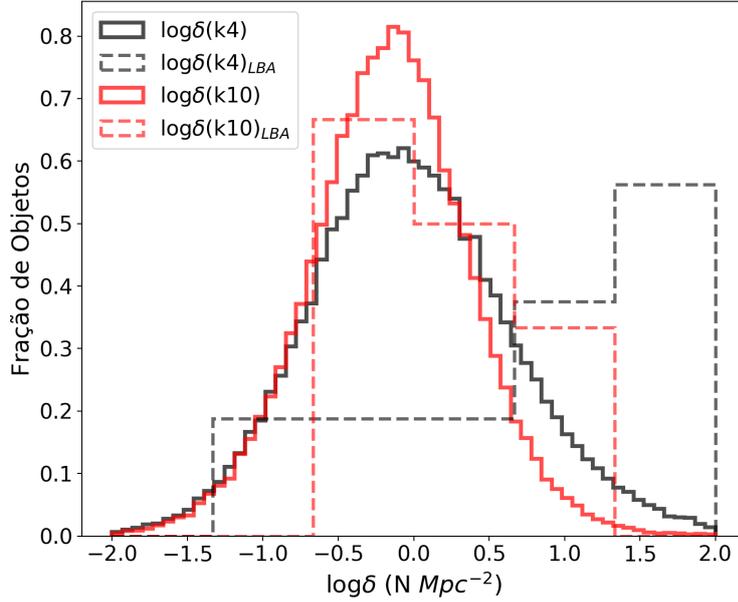


Figure 4.3 - Distribuição das medidas de densidade para os estimadores k4(preto) e k10(vermelho). Linhas tracejadas representam a densidade física média somente para LBAs, obtidas com ambos os estimadores (k4, linha tracejada preta, e k10, linha tracejada vermelha). Comparando as densidades para os estimadores k10, as distribuições são suavemente diferentes. Para esse caso, obtemos  $p$ -value  $\sim 30\%$  ( $D = 0.3273$  e  $p$ -value = 0.29016), enquanto para o teste KS nas distribuições de densidades obtidas com k4, obtivemos  $p$ -value abaixo de 1% ( $D = 0.5456$  e  $p$ -value = 0.0095). Essas medidas apontam para uma forte evidência de que LBAs habitam regiões mais densas que aquelas onde localiza-se a população geral de galáxias quando consideramos o estimador para regiões de menor escala (k4).

é um ingrediente importante para as elevadas taxas de formação estelar observadas nesses objetos. Adicionalmente, sinais de merger e estruturas compactas observadas na morfologia dessas galáxias foram detectados em imagens de alta resolução obtidas pelo HST (Overzier et al., 2009). Essas estruturas são geralmente associadas a *minor mergers* (Garland et al., 2015). Estudos da cinemática de LBAs feitos por Gonçalves et al. (2010) encontraram que as mesmas são dominadas por dispersão que é uma característica da ocorrência de *mergers*.

## 4.2 Ambiente das LBAs em comparação com galáxias de propriedades semelhantes

Na seção anterior, mostramos como o ambiente que LBAs habitam é de fato diferente daqueles habitados pelas outras galáxias no campo quando consideramos o grau de aglomeração em pequenas escalas. Nesta seção, é feita comparação semelhante. No entanto, iremos tomar como base as propriedades físicas observadas nesses objetos que são comparáveis com as exibidas em LBAs.

### 4.2.1 Propriedades Físicas

Parâmetros físicos obtidos a partir da técnica de SED dependem de uma série de fatores, principalmente aqueles relacionados com os modelos de SED utilizados, curvas de extinção e históricos de formação estelar adotados. Muitos estudos investigaram os limites do método de ajuste de SED para obtenção de parâmetros físicos (Walcher et al., 2011; Mitchell et al., 2013). Walcher et al. (2011), Mitchell et al. (2013) mostraram que parâmetro de massa estelar geralmente é considerado o mais preciso dentre os parâmetros obtidos, enquanto a taxa de formação estelar apresenta uma forte dependência com as curvas de extinção consideradas.

Para medir as propriedades físicas de massa estelar, taxa de formação estelar e taxa de formação estelar específica, utilizamos o código LePhare (Ilbert et al., 2006). Usamos as medidas de redshift fotométrico obtidas com as bandas observadas no ELBA somadas àquelas presentes no UKIDSS (como mostrado na seção photo-z). Com o código LePhare, utilizamos os modelos de populações estelares de Bruzual e Charlot (2003) com curvas de extinção de Calzetti e Heckman (1999) para obter as medidas de SFR, M e sSFR para cada uma das galáxias que compõe as observações do ELBA.

Na Figura 4.4, apresentamos a relação entre a taxa de formação estelar e massa estelar que resulta na sequência principal de galáxias star-forming. Mesmo que esse método não apresente robustez nas medidas de SFR, verificamos que ainda assim conseguimos recuperar essa relação. Na mesma Figura (4.4), destacamos a localização nessa relação para as LBAs estudadas neste trabalho. A localização das LBAs neste diagrama é preferencialmente acima da sequência principal de galáxias star-forming, e para alguns objetos com um offset de 2 dex em relação à região povoada por galáxias starburst normais.

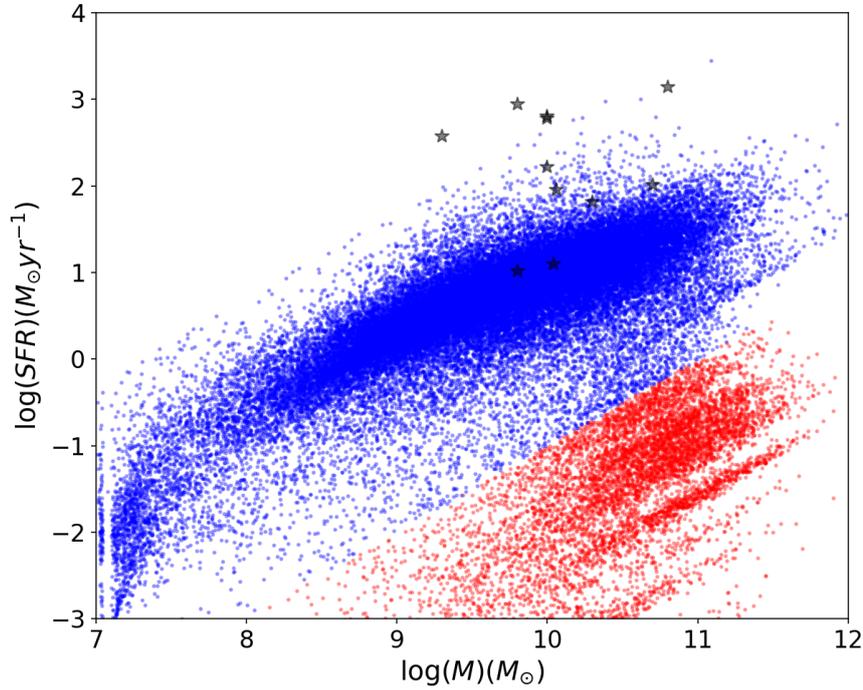


Figure 4.4 - Relação entre a taxa de formação estelar e massa para galáxias  $0 < z < 0.5$  presentes nos dados do ELBA. As estrelas em preto representam cada uma das galáxias que compõe a amostra de LBAs estudadas neste trabalho. Nessa figura, destacamos as duas principais distribuições de galáxias. Na nuvem azul, geralmente, estão localizados os que apresentam atividade de formação estelar recente. Na nuvem vermelha, apresentamos as galáxias que não apresentam atividade de formação estelar intensa e exibem  $\log(\text{sSFR}) \leq -11.0$ . Esse critério de divisão foi sugerido por Ilbert et al. (2010).

#### 4.2.2 LBAs habitam regiões de maior densidade

Comparamos a densidade ambiental obtida para LBAs com medidas para população geral de galáxias no campo e suas respectivas propriedades físicas. Dividimos a população de galáxias em diferentes bins de massa estelar, SFR e sSFR com o objetivo de verificar se o ambiente também difere para galáxias com propriedades similares àquelas observadas em análogas.

Comparando as medidas de densidade para bins de massa, SFR e sSFR com valores próximos aos observados em LBAs, encontramos que em grandes escalas (estimador k10), os valores obtidos para LBAs diferem  $\sim 0.2$  dex em relação à população geral

de galáxias no campo. Esse resultado é consistente com teste KS, segundo o qual não existe uma diferença significativa para os ambientes das análogas, considerando essas escalas; ou seja, pelo teste KS a distribuição de densidades nos fornece uma hipótese nula não desprezível. No entanto, analisando as medidas para pequenas escalas, o resultado é oposto. Em pequenas escalas (estimador k4), obtivemos que a densidade média das LBAs alcança valores  $\sim 1$  dex maiores que os medidos para galáxias de massas, SFR e sSFR similares. Esse resultado sugere que o ambiente habitado por LBAs, em relação às galáxias de massas semelhantes apresenta de fato uma maior densidade de objetos.

Os resultados obtidos com o estimador k4, em que a diferença ambiental é estatisticamente mais significativa, concorda com estudos anteriores feitos por [Basu-Zych et al. \(2009\)](#). [Basu-Zych et al. \(2009\)](#) utilizaram função de correlação para medir o grau de aglomeração dessas galáxias, e encontraram que UVLGs, com maior brilho superficial (as mais compactas), habitam com maior frequência, regiões com pares de galáxias e pequenos grupos.

No entanto, as LBAs analisadas por [Basu-Zych et al. \(2009\)](#) estão localizadas em  $z \sim 0.7$ , enquanto os objetos analisados neste trabalho estão em  $z \sim 0.2$ . Nesse contexto, apesar do número menor, essa amostra permite um estudo mais detalhado da quantidade de objetos que cercam LBAs. Como LBAs são uma subamostra de UVLGs com brilho superficial de valores mais elevados, concluímos neste trabalho que LBAs fazem parte de pequenos grupos de galáxias ou pares, o que também é consistente com os sinais de ocorrência de mergers observados em imagens do HST por [Overzier et al. \(2009\)](#). Na contrapartida de LBGs, o estudo feito por [Adelberger et al. \(2005\)](#) mostrou que existe um desacordo entre a massa medida do halo e aquela obtida por ajustes de modelos em regiões de menor escala. Considerando que LBAs são como LBGs em propriedades físicas (veja Tabela 2.1), sugerimos a partir deste estudo que o ambiente que cerca LBAs também pode apresentar características semelhantes às observadas em suas contrapartidas de alto redshift. Dessa forma, uma função de correlação mais intensa em regiões de pequena escala pode ser um reflexo da presença de galáxias de baixo brilho superficial que não eram possíveis de detectar em alto redshift. No entanto, quando se estuda LBAs os dados são mais sensíveis a esses objetos.

Como foi mostrado neste trabalho, uma das principais conclusões obtidas é que a densidade física ambiental do ambiente que cerca LBAs é na média maior que as medidas para a população geral de galáxias. Na Tabela 4.2, comparamos a densidade

física média obtida para LBAs com galáxias em bins de massa, SFR e sSFR que apresentam essas propriedades semelhantes. Na Tabela 4.3, apresentamos os valores médios de densidade para essas duas populações que foram medidos utilizando os estimadores k4 e k10. Com essas medidas, é possível notar que a densidade física do ambiente que circunda LBAs também é mais elevada em comparação com objetos de propriedades semelhantes, não importando qual o estimador utilizado. Como esperado, a densidade ambiental é mais elevada em pequenas escalas, como pode ser observada nas medidas de k4. As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam essas medidas para todos os bins com suas respectivas incertezas. As incertezas nessas medidas foram obtidas seguindo as equações 4.1 e 4.2:

Table 4.2 - Medidas de densidade obtidas, utilizando o método de vizinhos próximos para LBAs em comparação com galáxias em bins de massa, SFR e sSFR com valores similares aos observados em LBAs. Todas as medidas foram corrigidas pela função de seleção.

Densidade	$M_{\odot}$	SFR	sSFR
$\log \delta_{k4}$ (N $Mpc^{-2}$ ) $LBA$	0.78	0.78	0.78
$\log \delta_{k4}$ (N $Mpc^{-2}$ ) $ALL$	-0.0029	-0.02	0.06
$\log \delta_{k10}$ (N $Mpc^{-2}$ ) $LBA$	0.16	0.16	0.16
$\log \delta_{k10}$ (N $Mpc^{-2}$ ) $ALL$	-0.15	-0.17	-0.090

Table 4.3 - Medidas de densidade média obtidas utilizando o método de vizinhos próximos para LBAs em comparação com todas as galáxias observadas.

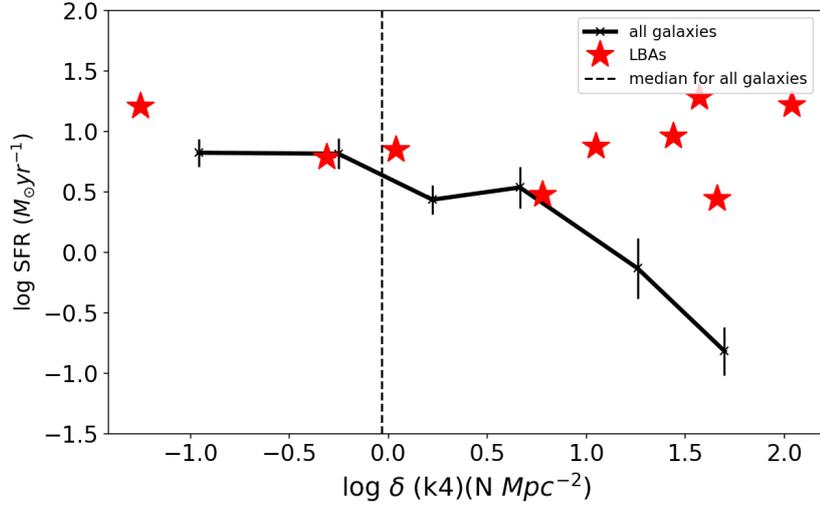
$\log \delta$	Média (LBAs)	População Geral
$\log \delta_{k4}$ (N $Mpc^{-2}$ )	0.78	-0.0097
$\log \delta_{k10}$ (N $Mpc^{-2}$ )	0.16	-0.1577

$$\sigma(\langle x \rangle)^2 = \sum_i \sigma_i^2 / N^2 = N * \sigma^2 / N^2 \quad (4.1)$$

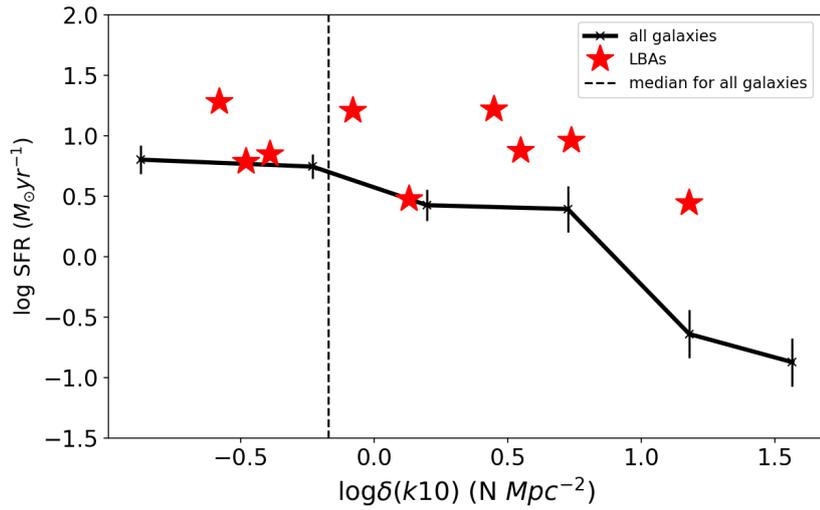
onde

$$\sigma(\langle x \rangle) = \sigma / \sqrt{N} \quad (4.2)$$

Parte das mudanças na estrutura de galáxias ocorre em períodos iniciais de sua formação e não são observadas facilmente em aglomerados de galáxias (Dressler et al.,

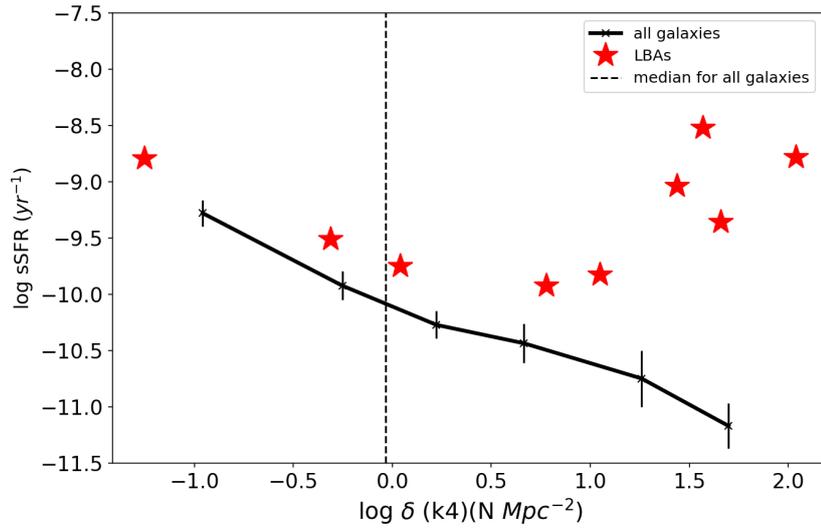


(a)

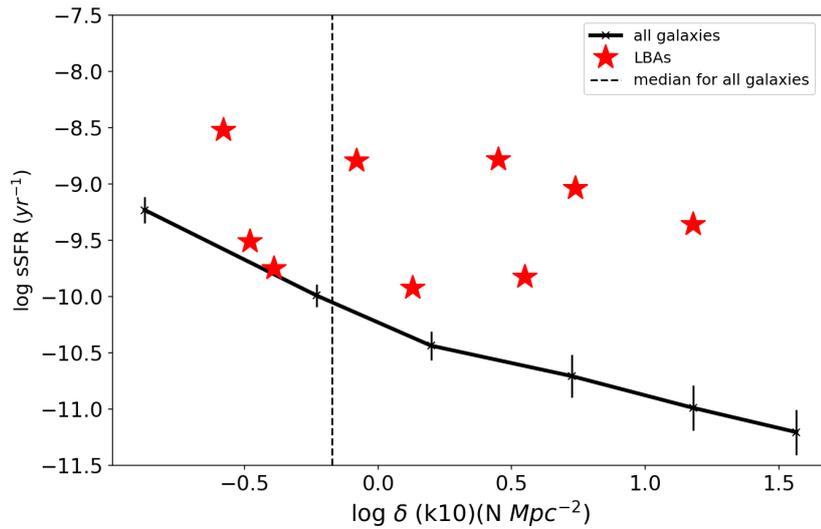


(b)

Figure 4.5 - Dependência ambiental da taxa de formação estelar em função dos estimadores de densidade  $k4$  (a) e  $k10$  (b). Linhas escuras mostram a SFR média para galáxias em bins de densidade. As barras de erro representam a incerteza estatística para cada bin, e as linhas tracejadas verticais representam o valor médio de densidade para todos os objetos neste intervalo de redshift. Estrelas vermelhas representam medidas individuais para cada uma das LBAs da nossa amostra. Em pequenas escalas ( $k4$ ), LBAs habitam ambientes mais densos que a população geral de galáxias localizadas neste intervalo de redshift, podendo exibir valores de densidade ambiental 10 vezes maior que a média quando consideramos o estimador  $k4$ . Por outro lado, quando consideramos o estimador  $k10$  LBAs habitam regiões com densidade semelhante a população geral de galáxias.



(a)



(b)

Figure 4.6 - Dependência ambiental da taxa de formação estelar específica em função dos estimadores de densidade  $k4$  (a) e  $k10$  (b). Linhas escuras mostram a SFR média para galáxias em bins de densidade. As barras de erro representam a incerteza estatística para cada bin, e as linhas tracejadas verticais representam o valor médio de densidade para todos os objetos neste intervalo de redshift. Estrelas vermelhas representam medidas individuais para cada uma das LBAs da nossa amostra. Em pequenas escalas ( $k4$ ), LBAs habitam ambientes mais densos que a população geral de galáxias localizadas neste intervalo de redshift, podendo exibir valores de densidade ambiental 10 vezes maior que a média quando consideramos o estimador  $k4$ . Por outro lado, quando consideramos o estimador  $k10$  LBAs habitam regiões com densidade semelhante a população geral de galáxias.

2004). Porém, esses processos podem ser observados em pequenas escalas como filamentos e pares de galáxias. Estima-se que cerca de 50% das LBAs sejam classificadas como sistemas com ocorrência de mergers devido à morfologia e cinemática irregular (Gonçalves et al., 2010; Overzier et al., 2010). Aliado a esses fatos e a medidas de densidade obtidas neste trabalho, sugerimos que o ambiente que circunda LBAs exerce um papel importante na estrutura em pequena escala e na atividade de formação estelar observada. Sugerimos também que, como LBAs possuem características físicas distintas de galáxias starburst normais localizadas em mesmo redshift, elas podem representar um estágio inicial de pré-processamento de material anterior ao que é comumente observado em objetos que sofrem interação com grandes aglomerados de galáxias.

LBAs representam galáxias que habitam a sequência principal de galáxias star-forming em alto redshift. Ou seja, esses objetos apresentam taxas de formação estelar típicas de outras galáxias com mesma massa estelar em  $z \sim 1.5-2.0$  (Contursi et al., 2017). Isso pode indicar que o processo de fusão nesses objetos não é violento o bastante para produzir surtos intensos de formação estelar. Sugerimos que os processos observados são consistentes com o cenário em que o gás é acretado do meio intergaláctico. No entanto, o cenário mais favorável que pode explicar as elevadas SFRs e morfologias destes objetos é o de fusão das LBAs com outros objetos. Nesse cenário, a componente gasosa acretada contribui com o aumento da quantidade de gás molecular podendo favorecer a formação de novas estrelas. Esse contexto é corroborado pela nossa descoberta de que LBAs habitam preferencialmente regiões de maior densidade quando consideramos o estimador de densidade  $k_4$  e por estudos morfológicos destes objetos realizados por Overzier et al. (2010). Esse processo promove a compactação do disco de gás e permite o crescimento do bojo galáxias no universo distante (Barro et al., 2013; Genzel et al., 2014; Ceverino et al., 2015). Dessa forma LBAs estariam em um estágio intermediário desse processo.

Do ponto de vista de acreção de gás do meio intergaláctico, uma possível explicação seria o cenário de *cold-flows*. Esse cenário foi proposto por Dekel et al. (2009) e ocorre quando a galáxia acreta gás frio e armazenado em alta densidade de regiões externas ao halo. No entanto, esse fenômeno deve ocorrer com pouca frequência em baixo redshift. A primeira evidência observacional desse cenário foi apresentada por Martin et al. (2015). Dessa forma, uma análise que considera apenas dados fotométricos não é possível obter nenhuma conclusão sobre esse fenômeno e suas possíveis implicações no cenário de formação e evolução de LBAs.

### 4.3 Populações estelares em LBAs

Fizemos um estudo adicional de como se comportam as populações estelares presentes em LBAs. Esse estudo permite não só obter medidas de propriedades físicas, mas também fornece um histórico aproximado de como se dá a atividade de formação estelar nestes objetos. Para isso, utilizamos a base de dados do *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS).

Obtivemos os espectros observados das LBAs estudadas neste trabalho e realizamos o ajuste de populações estelares simples. Essa técnica funciona de maneira semelhante ao ajuste de SED apresentado em capítulos anteriores. No entanto, o ajuste de populações estelares é realizado em cada unidade de comprimento de onda em vez de em grandes intervalos de  $\lambda$ .

Para realizar o ajuste, foi utilizado o código público STARLIGHT (Cid Fernandes et al., 2005) associado a templates de Bruzual e Charlot (2003). STARLIGHT combina técnicas de síntese de populações empíricas somadas a síntese evolutiva. Esse código ajusta o espectro observado  $O_\lambda$  utilizando uma combinação linear de populações estelares previamente definida, além de trajetórias evolutivas e curvas de extinção. Um dos grandes desafios nessa técnica é ajustar as linhas de emissão presentes em diferentes objetos astrofísicos. Neste trabalho, ajustamos somente o contínuo e linhas de absorção do espectro das LBAs, sem considerar nenhuma linha de emissão presente nesses objetos.

Os resultados obtidos são coerentes com a elevada atividade de formação estelar medida em LBAs. As idades das populações estelares melhores ajustadas aos espectros apresentam idades inferiores a 150 milhões de anos. Os ajustes apresentam uma maior contribuição de populações com idades de  $\sim 100$  milhões de anos. As medidas de massa obtidas neste trabalho são coerentes com as apresentadas em Hoopes et al. (2007), em que LBAs apresentam massa estelar que podem atingir valores de  $10^{11.0} M_\odot$ . Considerando as medidas obtidas utilizando síntese de populações estelares com STARLIGHT e ajuste de SED com o código LePhare, os resultados são em sua maioria consistentes dentro das incertezas presentes no ajuste de SED e dentro do erro típico de até 0.81 com medidas utilizando o STARLIGHT (Cid Fernandes et al., 2005). Nesse contexto iremos explorar em mais detalhes os aspectos das populações estelares presentes em LBAs com o objetivo de compreender as implicações das elevadas SFR observadas nestes objetos com suas populações de estrelas.

Nas Tabelas 4.4 e 4.5 apresentamos estes resultados. Nesse processo, utilizamos os

Table 4.4 - Medidas de massa obtidas com o método de síntese de populações estelares para todas LBAs da amostra em comparação com outros métodos. 1: Síntese de populações estelares utilizando o código STARLIGHT, 2: Medidas de Overzier et al. (2009), Hoopes et al. (2007), 3: ajuste de SED utilizando o código LePhare.

LBA	$\log M_{\star} (M_{\odot})^1$	$\log M_{\star} (M_{\odot})^2$	$\log M_{\star} (M_{\odot})^3$
LBA223	10.0	10.3	$9.56^{+0.59}_{-0.34}$
LBA228	10.2	9.30	$9.62^{+0.25}_{-0.27}$
LBA231	9.8	10.4	$10.04^{+0.30}_{-0.17}$
LBA238	10.5	9.80	$10.72^{+0.29}_{-1.00}$
LBA242	10.0	10.6	$10.50^{+0.20}_{-0.37}$
LBA246	10.3	10.0	$9.49^{+0.23}_{-0.28}$
LBA326	10.1	10.0	$9.60^{+0.25}_{-0.27}$
LBA334	10.5	9.80	$10.8^{+0.21}_{-1.38}$
LBA349	9.5	10.0	$10.1^{+0.11}_{-0.14}$

modelos de SSPs propostos por Bruzual e Charlot (2003). Utilizamos nesses ajustes 45 SSPs com três metalicidades  $Z = 0.2, 1$  e  $2.5 Z_{\odot}$  e idades de 0.001, 0.003, 0.005, 0.01, 0.025, 0.04, 0.101, 0.286, 0.640, 0.904, 1.434, 2.5, 5, 11 e 13 Gyr. A massa final é obtida pela média das massas de cada uma das SSPs melhores ajustadas considerando suas respectivas contribuições. Quando comparamos estes resultados com os medidos por Hoopes et al. (2007) para LBAs da nossa mostra, os resultados concordam entre si mesmo que não tenhamos considerado a contribuição das linhas de emissão destes objetos.

No que tange a medida de idade, o código STARLIGHT permite obter duas medidas distintas, uma considera a contribuição das SSPs de maior luminosidade e a outra que apresenta menor contribuição em luminosidade que é associada a populações estelares mais velhas. Cid Fernandes et al. (2005) analisaram galáxias no SDSS e constataram que a idade ponderada por luminosidade apresenta uma boa correlação com  $EW(H\alpha)$  e  $sSFR(H\alpha)$ , fazendo com que esse parâmetro possa ser diretamente relacionado a SFR e consequentemente melhor representa a contribuição de populações estelares jovens. Considerando essas medidas, obtivemos que a idade média das populações estelares presentes nas LBAs estudadas neste trabalho é tipicamente de  $\sim 100$  milhões de anos e seus históricos de formação estelar apresentam maior predominância de SSPs com idades menores que 100 Myr. Essas idades são coerentes com as obtidas por Overzier et al. (2009) que obtiveram idades com valores de 5–100 milhões de anos para os núdulos de LBAs que concentram maior parte da SFR nessas galáxias. Considerando que as medidas obtidas neste trabalho utilizaram os

Table 4.5 - Parâmetros obtidos com o método de síntese de populações estelares para todas LBAs da amostra

LBA	$\log M_{\star} (M_{\odot})$	$\log(IDADE_{luminosidade})$	$\log(IDADE_{massa})$
LBA223	10.0	8.11	9.95
LBA228	10.2	7.28	9.69
LBA231	9.8	8.66	9.22
LBA238	10.5	8.80	9.32
LBA242	10.0	7.24	9.97
LBA246	10.3	7.81	8.52
LBA326	10.1	7.44	8.72
LBA334	10.5	7.31	9.85
LBA349	9.5	7.64	9.08

espectros integrados obtidos pelas fibras óticas do SDSS, a diferença entre nossas medidas e as obtidas por [Overzier et al. \(2009\)](#) são esperadas porque nesta análise obtivemos a luz da galáxia como um todo e não somente das regiões que concentram a maior parte das populações estelares jovens. Nesse contexto, é esperado que os valores de idades obtidos com o STARLIGHT se comportem como um limite superior de idades pois a utilização de fibras para extrair o espectro de uma galáxia torna o isolamento de regiões específicas do objeto pouco eficiente. Dessa maneira, uma alternativa que poderia nos fornecer a distribuição das populações estelares em LBAs seria a partir de dados obtidos com espectroscopia de campo integral. Essa técnica poderia possibilitar analisar os diferentes aspectos das populações contidas em LBAs para diferentes regiões destas galáxias.

Ainda que nessa metodologia não tenhamos considerado as linhas de emissão presentes nesses objetos, a aplicação da síntese de população estelares mostrou-se bastante promissora. Os resultados preliminares obtidos com essa técnica são coerentes com o da literatura e ainda apresentaram consistência com medidas obtidas a partir do ajuste de SEDs se levarmos em consideração as incertezas nesses métodos. Além disso, explorar dados espectrais destes objetos também permitiu explorar com mais detalhes o histórico de formação estelar das LBAs e assim obter qual a contribuição de suas componentes jovens em seus respectivos espectros integrados.

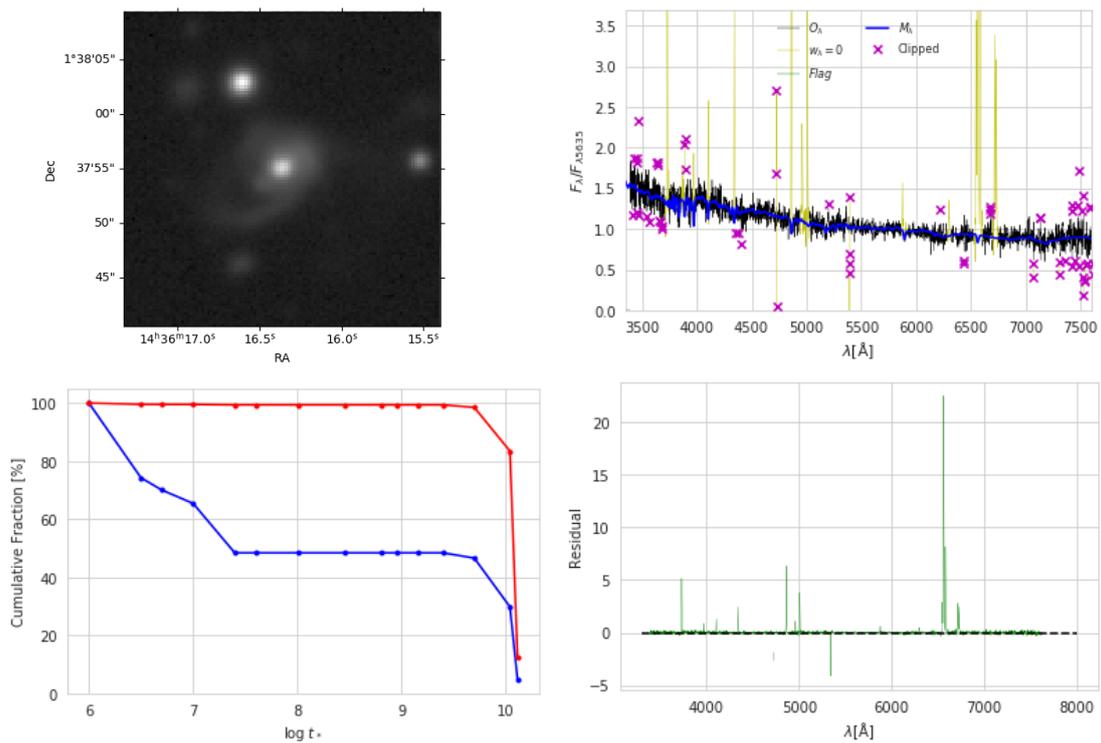


Figure 4.7 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA218. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

## 5 OUTROS PROJETOS DESENVOLVIDOS DURANTE O DOUTORADO

### 5.1 Blanco Imaging the Southern Sky Survey (BLISS)

*Blanco Imaging the Southern Sky Survey* (BLISS, PI: Marcelle Soares-Santos) é um levantamento multibanda que utiliza a *Dark Energy Camera* (DECam). Esse levantamento imageou o céu do hemisfério do Sul nas bandas  $g$ ,  $r$ ,  $i$ ,  $z$ . BLISS teve uma proposta de observação aprovada em que foram destinadas 11 noites completas por meio do projeto 2017A-0386. Adicionalmente BLISS processou todos os dados públicos obtidos com a DECam até o ano de 2018 e que apresentavam tempos de exposição  $\geq 30s$ . Todas as imagens individuais foram reduzidas utilizando a estrutura de processamento de dados disponível no *DES Data Management System*, que utiliza a mesma *pipeline* de redução de dados do DES (*Dark Energy Survey*). Em relação à pipeline pública, apresenta melhorias na calibração fotométrica e identificação de pixels. Atualmente, o BLISS apresenta uma cobertura total de 7000 graus quadrados (Figura 5.1) que não foram observados pelo DES, ou seja, BLISS completa o vazio de observações do hemisfério Sul enquanto ainda não temos os dados do LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*), além de agregar em seus catálogos fontes observadas na primeira versão de dados públicos do DES. Os dados disponíveis do BLISS estão sendo usados pela colaboração em diferentes projetos. O primeiro estudo utilizando dados do BLISS foi feito por [Mau et al. \(2019\)](#).

Em [Mau et al. \(2019\)](#) realizamos a detecção de um sistema estelar de baixa magnitude  $M_V = 0.0_{-0.7}^{+1.7}$  mag e compacto  $r_h = 4.1_{-1.0}^{+1.0}$  pc. Utilizando as medidas de posição e velocidades obtidas a partir dos dados do BLISS com simulações de acreção de populações da Grande Nuvem de Magalhães (LMC), concluímos que o sistema BLISS J0321 + 0438 (BLISS1) tenha sido originado na LMC. Esse trabalho representa uma grande contribuição na descoberta de sistemas estelares de baixa luminosidade porque esse campo ainda não é muito bem explorado pelos levantamentos atuais que são em geral pouco profundos para permitir a detecção de tais sistemas. À medida que a cobertura e profundidade em magnitude dos próximos levantamentos forem melhoradas (e.g Large Synoptic Survey Telescope, LSST), um número maior de sistemas como BLISS1 serão descobertos. A Figura 5.3 apresenta algumas das componentes estelares que compõe BLISS1.

Outra aplicação importante desses dados está relacionada à área da astronomia multimessageira, mais especificamente a detecção da contrapartida óptica de ondas gravitacionais ([Soares-Santos et al., 2017](#)). Nessa vertente, as imagens presentes no

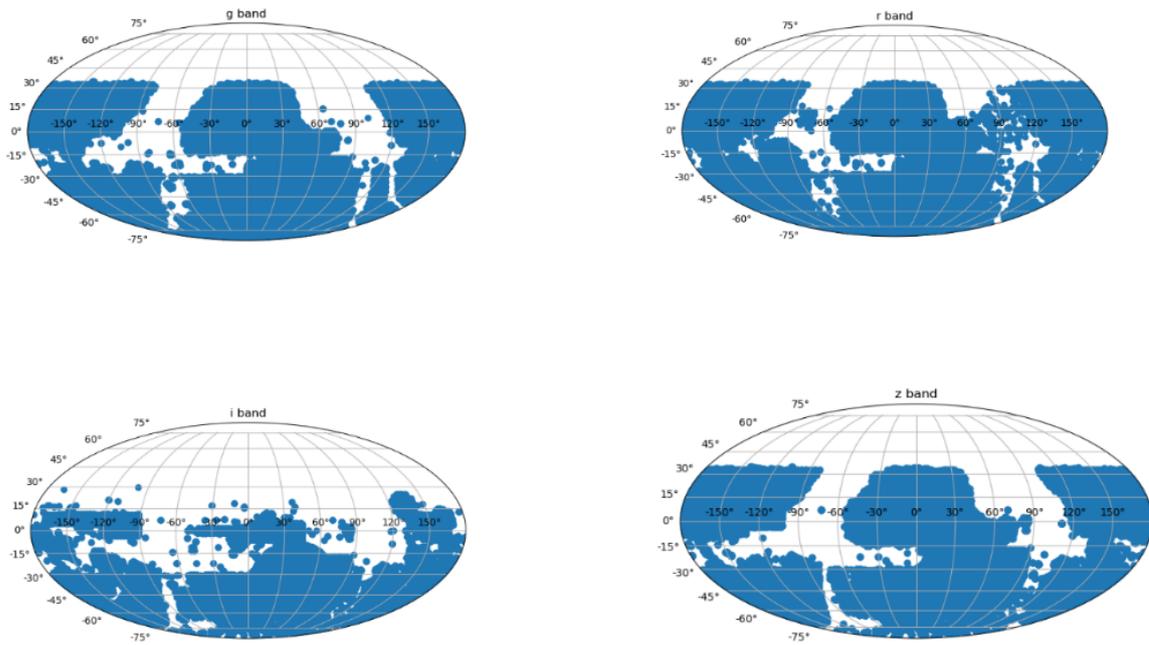


Figure 5.1 - Nessa figura, apresentamos com pontos azuis a área coberta pelo BLISS que possui dados propriamente reduzidos. Existem alguns vazios, pois algumas regiões preenchidas com observações públicas não possuem cobertura uniforme para todas as bandas. A área que não é observada pelo DES e que apresenta cobertura nos dados do BLISS corresponde a  $\sim 7000$  graus quadrados observados em *griz*.

banco de dados do BLISS são utilizadas como templates para a identificação de fontes transientes.

A minha principal contribuição no BLISS é a construção dos catálogos iniciais de objetos a partir das imagens observadas, o gerenciamento da base de dados interna na qual os dados são armazenados e a identificação de possíveis exposições que possam afetar a qualidade final das imagens *coadded*. Também colaboro na atualização dos dados, em que a cada 6 meses verificamos a quantidade de observações públicas que foram obtidas pela DECam e transferimos aquelas que possam contribuir com a uniformidade do levantamento. A construção dos catálogos iniciais é obtida por meio da rotina de construção de imagens empilhadas (veja Apêndice B). A partir das imagens obtidas na pipeline, construímos o catálogo de objetos final. Esse catálogo é composto por todas as fontes presentes na imagem, sem apresentar nenhuma distinção entre estrelas e galáxias. O processo de separação entre fontes pontuais e estendidas é feito a depender do caso científico e é utilizada a mesma metodologia

## Modest Class to BLISS 2017

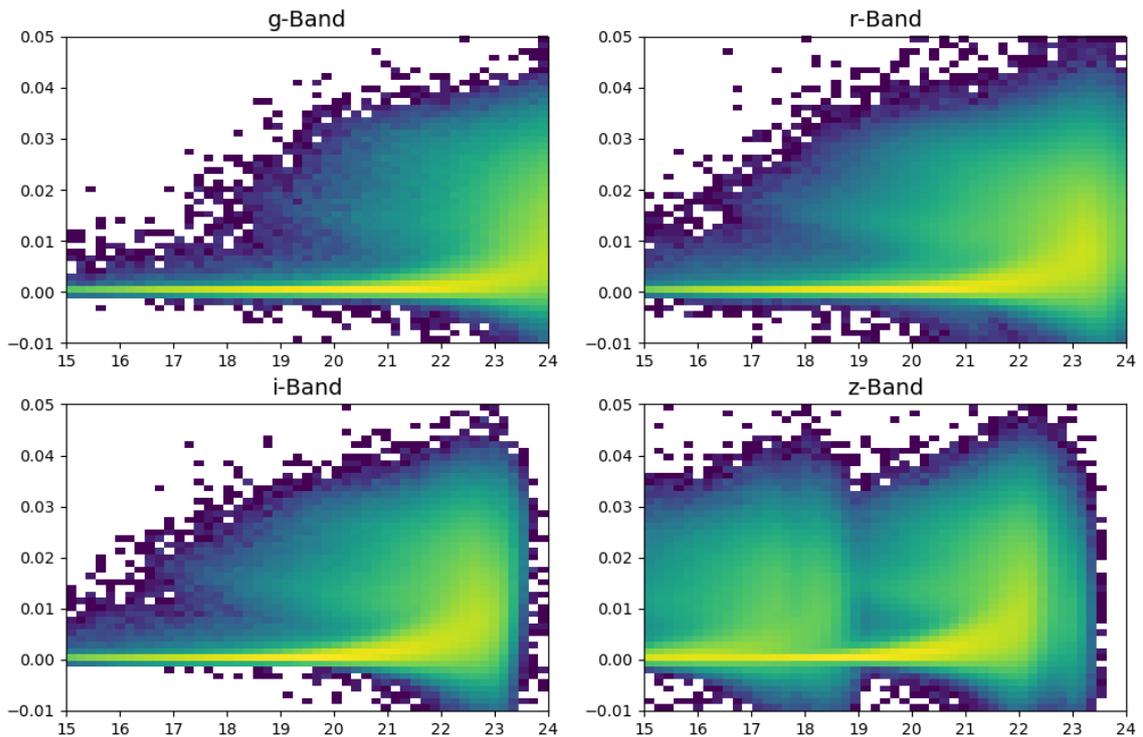


Figure 5.2 - A figura apresenta o modest class (eixo y) e magnitude para as bandas g, r, i e z (eixo x). Esses gráficos foram obtidos somente para os dados de 2017. Nesse processo inicial de avaliação dos dados, foi detectado um problema na fotometria de algumas exposições na banda z. Isso pode ser notado no gráfico em que é apresentada a separação estrela-galáxia para a banda z.

aplicada aos dados do ELBA e que foi apresentada no capítulo 2, veja Figura 5.2.

Além disso, o BLISS pode contribuir de maneira significativa na pesquisa que irei desenvolver após o doutorado. A amostra atual de LBAs encontra-se majoritariamente limitada ao hemisfério norte celeste. Utilizando os dados do BLISS e aplicando aos seus filtros critérios iniciais de cor, iremos usar esses dados como uma ferramenta importante para identificar novas análogas de alto redshift no hemisfério sul. Dessa forma, podendo aumentar a completeza na amostra dos objetos analisados neste trabalho.

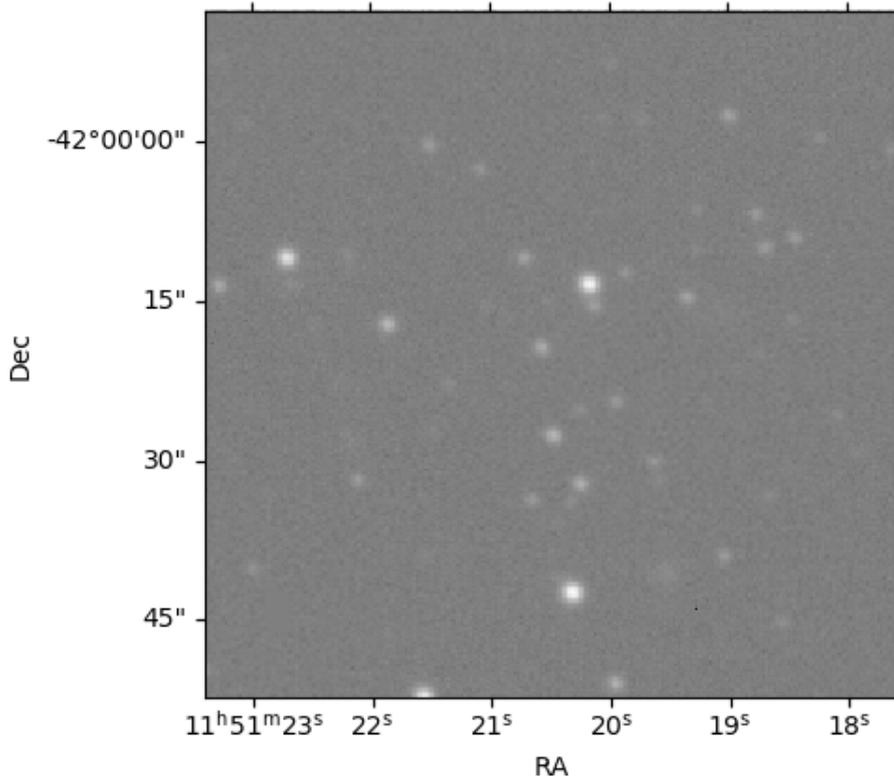


Figure 5.3 - Imagem do BLISS1 observada na banda  $g$  obtida a partir do empilhamento das imagens observadas, em que foi utilizada a mesma rotina de criação de imagens do ELBA.

## 5.2 DECam Local Volume Explorer (DELVE)

DELVE (*DECam Local Volume Explorer*, PIs: Alex Drlica-Wagner, Andrew Pace, Yumi Choi) é um levantamento que terá duração de 3 anos com 126 noites de observação alocadas no telescópio Blanco. Esse levantamento consiste em: (1) uma área maior de observação (DELVE-Wide) que tem o objetivo de completar o vazio de observações da DECam de maneira mais uniforme ( $\sim 10500$  graus quadrados), cobrindo regiões de alta latitude galáctica e o céu do hemisfério sul nas bandas  $g$ ,  $r$ ,  $i$ ,  $z$ ; 2) Observações profundas e contíguas de  $\sim 1075$  graus quadrados em  $g$ ,  $r$ ,  $i$  em torno da pequena e da grande nuvem de magalhães (DELVE-LMC-SMC); 3) imagens com alta sensibilidade ( $\sim 24.0$  mags para detecções de  $10\sigma$ ) que cobrem uma área de  $\sim 150$  graus quadrados em  $g$  e  $i$  para detecção de análogos das nuvens de magalhães dentro do volume local (DELVE-Deep). Cada uma das frentes do DELVE utiliza novas observações da DECam e também dados públicos existentes. Assim,

todos os dados são processados com a mesma metodologia e pipelines. Até agora, DELVE coletou por volta de 7000 novas exposições.

Nesse sentido, DELVE é um levantamento que se encontra em progresso, e teve início da coleta de dados em fevereiro de 2019. Todos os produtos públicos do DELVE estão sendo disponibilizados utilizando o NSF OIR Labs Science Archive. Todas as exposições (DELVE e da comunidade) são processadas nos computadores do NCSA utilizando a pipeline do Dark Energy Survey. Atualmente, foram iniciados os primeiros testes para obtenção de imagens e catálogos *coadded*, que terão sua produção iniciada e serão disponibilizadas publicamente. A área final que compõe o DELVE e as que atualmente já possuem dados processados são apresentadas na Figura 5.4.

Com os dados observados do DELVE, foi possível identificar uma galáxia satélite da Via Láctea (Mau et al., 2020). Neste trabalho, realizamos análise similar a Mau et al. (2019). Devido à cobertura apresentar maior uniformidade e sensibilidade em comparação com o BLISS, foi possível detectar sistemas com magnitudes menores que BLISS1. O primeiro, Centaurus I (DELVE J1238-4054) que possui magnitude de  $M_V = -5.55^{+0.11}_{-0.11}$  mag. As medidas obtidas para esse sistema são consistentes com a população de galáxias satélites de baixa luminosidade e a nossa descoberta aponta que Centaurus I é uma das galáxias anãs mais brilhantes recentemente descobertas. O segundo sistema, DELVE 1 (DELVE J1630-0058) apresenta magnitude absoluta  $M_V = -0.2^{+0.8}_{-0.6}$ . Essa medida é consistente com a população de aglomerados estelares que habitam o halo da nossa galáxia. Utilizando simulações de acreção de satélites para a população da Grande Nuvem de Magalhães obtivemos que ambos os sistemas não devem ter associação com LMC.

Minhas contribuições no DELVE estão relacionadas à construção dos catálogos de fontes obtidas a partir das imagens disponíveis, como testes de fotometria e qualidade das exposições adquiridas. Também contribuo na construção das primeiras imagens *coadded* que serão disponibilizadas publicamente na primeira *data release*. Na primeira versão interna dos dados e que foram utilizadas na descoberta de Centaurus I e DELVE 1, construí catálogos das imagens obtidas nas primeiras noites alocadas. Nessa versão, utilizamos exposições que apresentam latitude galáctica  $> 10^\circ$  e  $\text{dec} < 0^\circ$  e que apresentassem o número de objetos detectados em cada exposição menor que  $7.5 \times 10^5$ . Esses dados totalizam 203 Gb de imagens com 24648, 8550, 5807, 5197, 5112 exposições individuais nas bandas g, r, i e z, respectivamente. Durante o processo de escrita deste capítulo foram realizadas mais observações. Dessa

forma, o número de exposições seguramente sofreu um acréscimo.

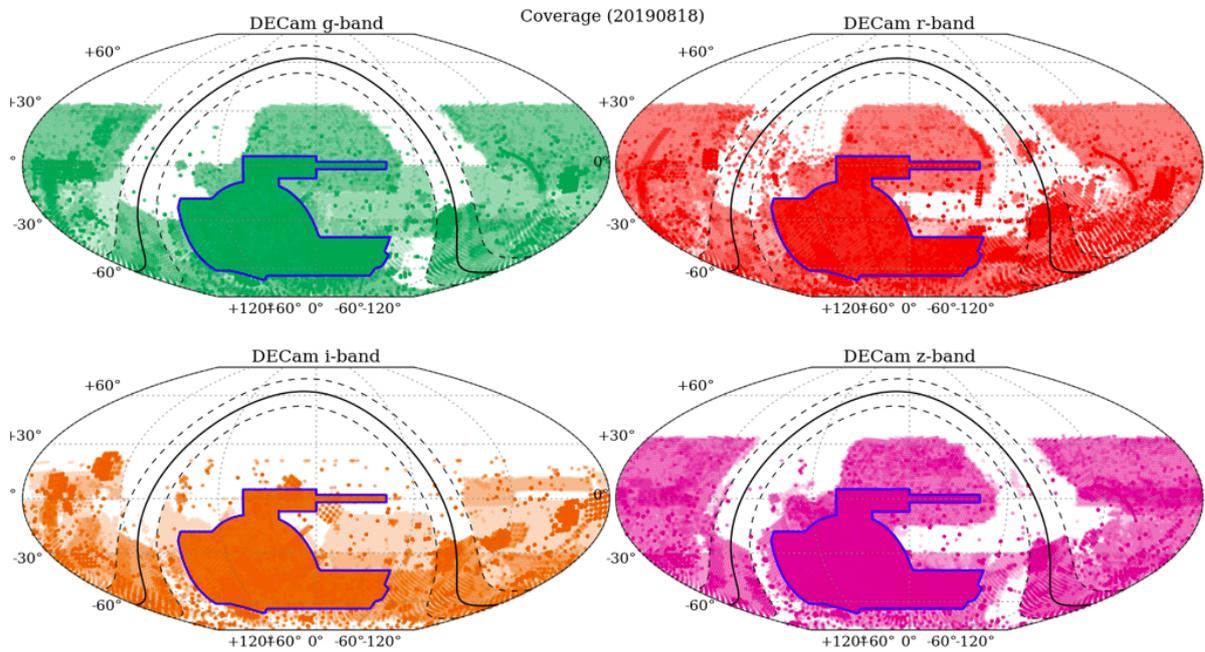


Figure 5.4 - Nessa figura, apresentamos em diferentes cores a área de cobertura final do DELVE. As regiões escuras representam aquelas que já possuem dados devidamente processados, enquanto áreas claras representam regiões ainda a serem cobertas por observações subsequentes.

### 5.3 Blanco *i*-band Kilo Degree Survey (BLINK)

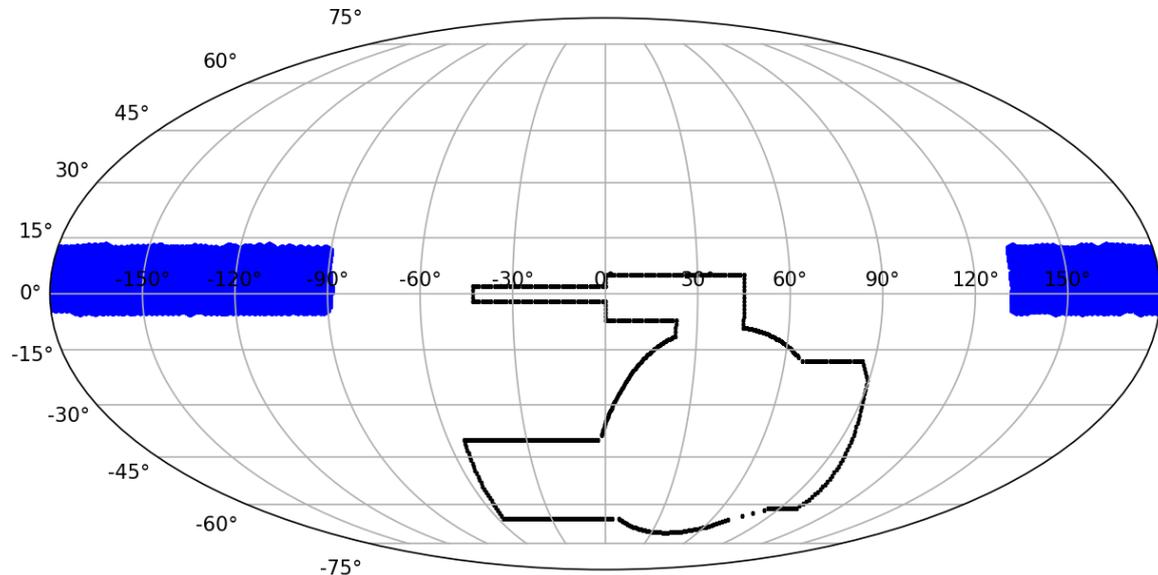


Figure 5.5 - Nessa Figura apresentamos a região observada pelo BLINK (região azul) em comparação com o *footprint* do DES (Dark Energy Survey).

BLINK (*Blanco i-band kilo Degree Survey*, PI: Martín Makler) é um levantamento com observações na banda *i* que cobre  $\sim 1000$  graus quadrados até magnitude 22.5 em uma região que não havia sido previamente observada com boa qualidade de dados. A região escolhida (Figura 5.5) apresenta dados públicos nas bandas *g*, *r* e *z* feitas a partir da DECam, que fazem parte de outros projetos como o BLISS e DELVE, por exemplo. Essa região também apresenta observações fotométricas e espectroscópicas do SDSS, o que permite comparar diversas medidas de propriedades para objetos mais brilhantes.

Minhas contribuições neste projeto estão majoritariamente relacionadas à construção do catálogo de objetos para a banda *i* e para outras bandas na mesma região que apresentem observações públicas. Também colaboro com os testes de qualidade dos catálogos e imagens obtidos, por exemplo, verificando critérios para a separação entre estrelas e galáxias nesse conjunto de dados. Para a construção do catálogo inicial, utilizei os mesmos critérios de seleção que foram aplicados nos dados do DELVE. O próximo passo nesse processo será obter as imagens *coadded* a partir da rotina utilizada no ELBA.

Os dados coletados no BLINK apresentam profundidade em magnitude e qualidade de imagem superior ao SDSS. Na análise inicial das exposições do BLINK, obtivemos para fontes pontuais  $i = 22 \text{ mag}_{AB}$  para detecções de  $5\sigma$ . Isso foi medido para exposições individuais. A partir do momento que obtivermos imagens *coadded*, o limite de magnitude poderá alcançar valores similares aos obtidos no ELBA. Na Figura 5.6, apresentamos o critério de separação estrela-galáxia para a banda  $i$  observada no BLINK e também para dados da mesma região observada nas bandas g, r, e z. Esses dados permitirão obter medidas da morfologia de galáxias para estudos de lenteamento gravitacional fraco. E com adição de fotometria de outros dados observados pela DECam, será possível também obter medidas de redshift fotométrico.

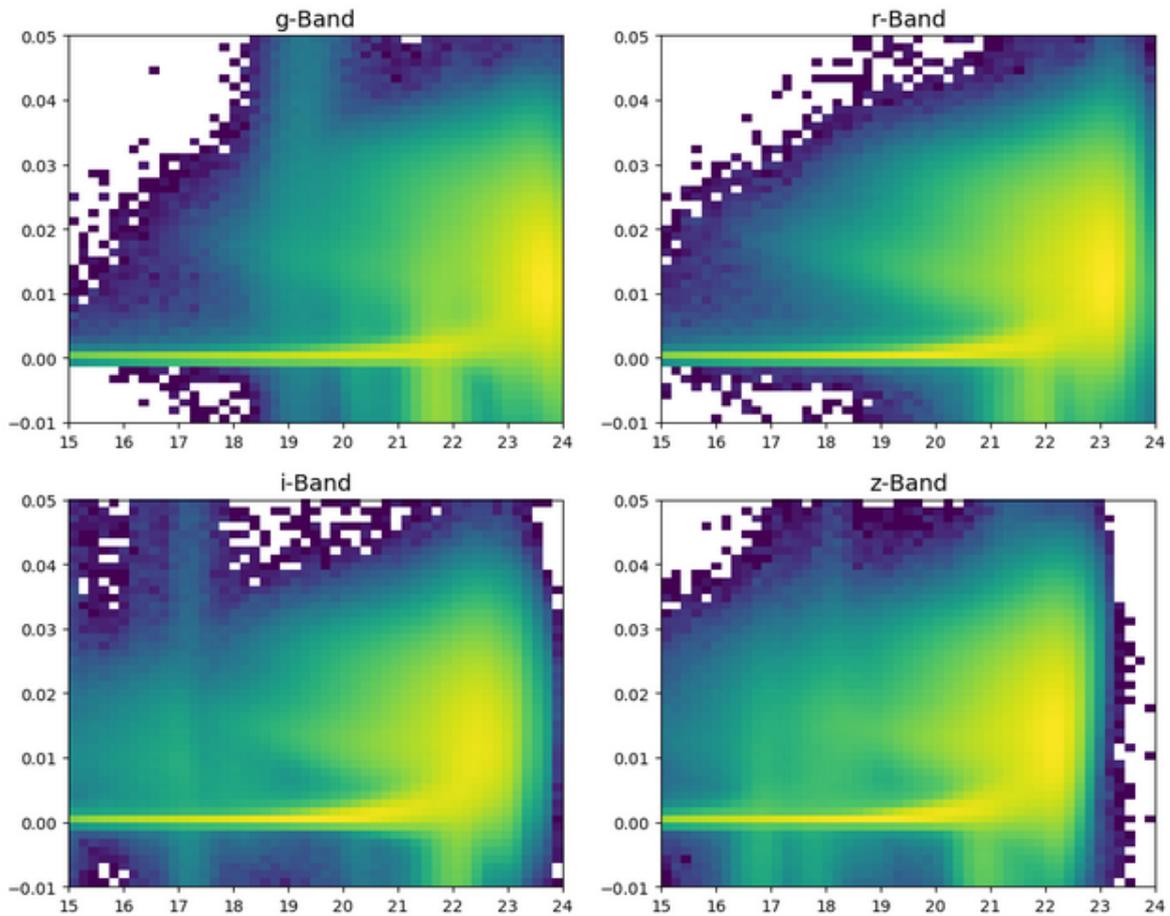


Figure 5.6 - A figura apresenta o modest class (eixo y) e magnitude para as bandas g, r, i e z (eixo x). Nesse processo inicial de avaliação dos dados, já é possível detectar a região em torno de  $modestclass \sim 0.0$  na qual estão presentes majoritariamente objetos definidos como fontes pontuais.

## 5.4 Observações da contrapartida óptica das ondas gravitacionais

A era da Astronomia multi-mensageira com ondas gravitacionais iniciou-se com a detecção de GW170817 pelos detectores LIGO e VIRGO, seguida da observação quase simultânea de  $\gamma$ -ray pelo telescópio Fermi. O DESGW (*Dark Energy Survey Gravitational Wave collaboration*, PI: Marcelle Soares-Santos) e vários outros grupos detectaram de forma independente a contrapartida óptica da colisão de duas estrelas nêutrons 12 horas após observações do LIGO (Abbott et al., 2017; Soares-Santos et al., 2017). Atualmente, a colaboração utiliza a infraestrutura do DES (instrumentação, recursos computacionais), e uma extensa rede interna de pessoas com acesso a uma grande quantidade de telescópios. O papel fundamental do DESGW nesse novo ramo da astronomia é constituir um dos poucos grupos do hemisfério sul que consegue observar grandes áreas do céu em poucas horas. Graças à DECam é possível observar 3 graus quadrados em uma única exposição.

Minhas principais contribuições ao programa de *follow-up* das ondas gravitacionais são relacionadas, principalmente, à inspeção visual das imagens obtidas nas noites de observação desses eventos, como também na identificação das possíveis galáxias hospedeiras desses eventos. Fazemos isso por meio da correlação entre os catálogos preliminares que construí para os dados do BLISS e as posições de possíveis candidatos obtidos pelo DESGW a partir da observação da região delimitada pelo LIGO. Na cotrapartida da DECam, a principal atividade é verificar a presença de fontes transientes nas imagens observadas em comparação com a base de dados do BLISS. Na Figura 5.7, apresentamos alguns dos objetos selecionados como candidatos a kilonova do evento S190510g (Garcia et. al. in prep). Nessas observações, fazemos a inspeção visual entre as imagens observadas na noite do evento e comparamos com aquelas presentes no banco de dados para verificar se na imagem residual ocorre a presença de uma fonte significativamente brilhante.

Outra atividade que exerço no grupo está relacionada a observações espectroscópicas dos candidatos utilizando o telescópio SOAR com o instrumento GOODMAN (PIs: Matín Makler, Reinaldo Ramos de Carvalho). Nessa atividade, temos o grupo brasileiro que participa ativamente das observações remotas nesse telescópio. Nessa atividade, fazemos observação dos candidatos selecionados inicialmente pela DECam (Herner et al., 2019; Palmese et al., 2019; Cartier et al., 2020). Nesse sentido, o principal papel da equipe do DESGW-SPECTRO é obter com rapidez a classificação espectral do transiente selecionado pela DECam. Assim, verificamos se o candidato apresenta espectro de uma super nova típica ou possui características de kilo nova

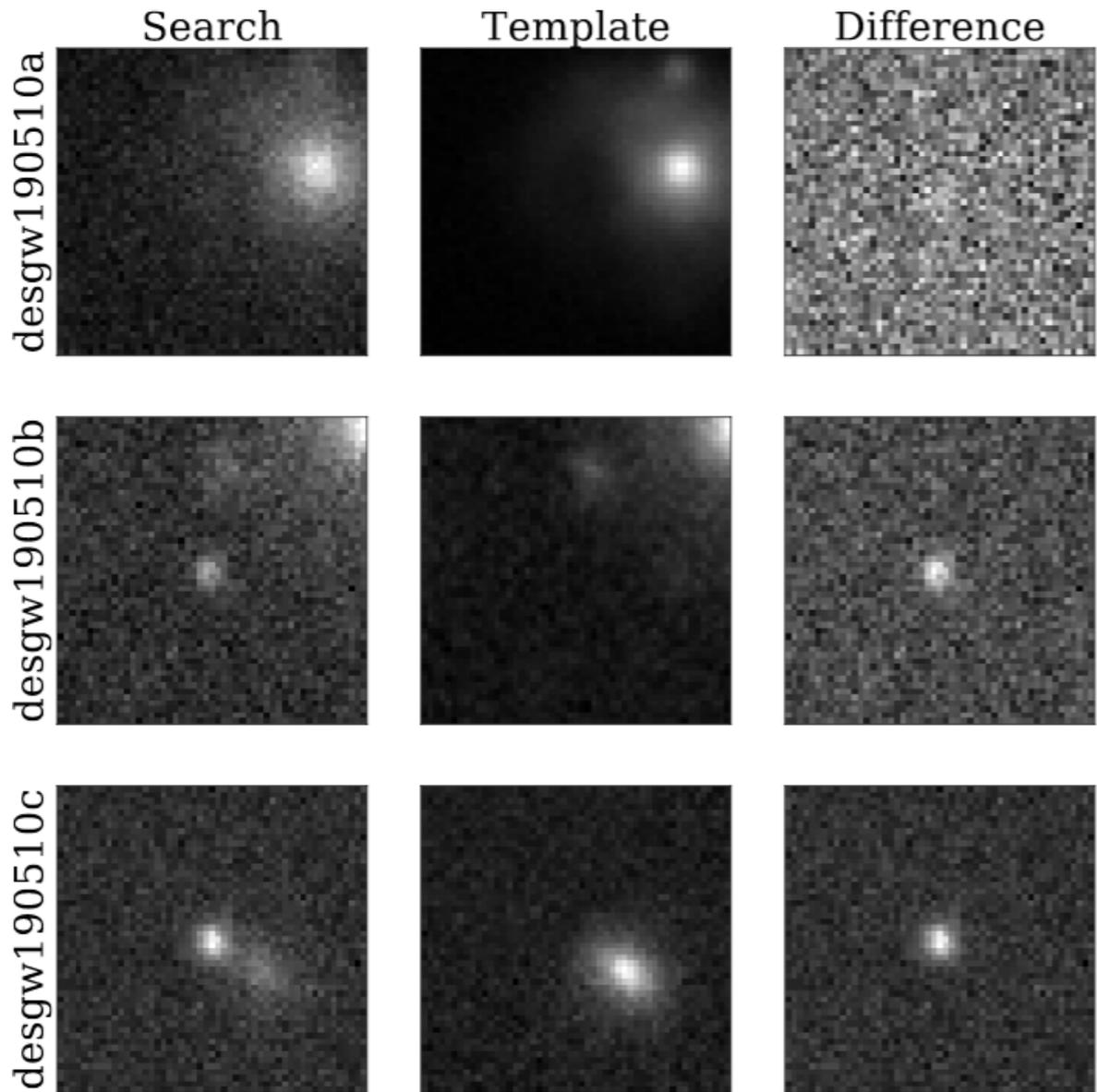


Figure 5.7 - A figura acima apresenta alguns candidatos a kilo nova, originada da colisão de duas estrelas nêutrons (S190510g). Na coluna esquerda, são apresentadas as imagens dos candidatos obtidas nas noites de observação ocorridas algumas horas após a detecção do evento pelos interferômetros (LIGO/VIRGO). O painel central mostra as imagens utilizadas como templates. Essas templates são imagens presentes no banco de dados do BLISS e do DES. A terceira coluna apresenta o resíduo entre estas duas imagens, a partir desses resíduos que selecionamos qual dos transientes são mais significativos. Fonte: Garcia et. al. (in prep).

(remanescente da colisão de duas estrelas de nêutrons).

Além disso, também tenho interesse nas propriedades físicas das candidatas a galáxias hospedeiras. Dessa maneira, também contribuo com a execução de medidas das propriedades físicas desses objetos. Essa atividade é feita em duas frentes: A frente fotométrica na qual utilizo as medidas de magnitude obtidas pela DECam e assim aplicamos técnicas de ajuste de SED para obter propriedades de massa, taxa de formação estelar e taxa de formação estelar específica. A frente espectroscópica, na qual usamos modelos de populações estelares simples para ajustar ao espectro da galáxia hospedeira. Para essa frente, utilizamos os espectros obtidos no follow-up executado com o telescópio SOAR, o que nos permite ajustar espectros de fenda longa para esses objetos a uma série de populações estelares bem definidas.

## 5.5 Census of Austral Nearby Galaxies (CANGA)

CANGA (*Census of Austral Nearby Galaxies*, PIs: Karín Menéndez-Delmestre, Thiago Signorini Gonçalves) consiste em um levantamento que propõe combinar as medidas de massa disponíveis no levantamento  $S^4G$  (Sheth et al., 2010, *Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies*) com uma detalhada análise das populações estelares, usando imagens no óptico, obtidas com o telescópio SOAR. Utilizando o instrumento GOODMAN, esse projeto representa o survey mais profundo em magnitude que observará galáxias do universo local no hemisfério sul com todos os tipos morfológicos de Hubble e um largo intervalo de luminosidades e ambientes. A seleção inicial da amostra é feita a partir do levantamento  $S^4G$ , no qual são selecionadas galáxias com distâncias  $\leq 40 Mpc$  e que também estejam em regiões observáveis com o telescópio SOAR.

$S^4G$  observou essencialmente a região do infravermelho. Nesse regime, a extinção é pouco atuante e a luminosidade das galáxias é dominada por populações estelares velhas. Nesse sentido, dados no infravermelho são os melhores para obter medidas de massa estelar em galáxias.  $S^4G$  cobre um volume de  $< 40 Mpc$  com tamanho  $> 1'$  e magnitude limite de  $m_B < 15.5$ . Esse levantamento observou  $> 2300$  galáxias próximas com brilho superficial de  $\sim 27 \text{ mag arcsec}^{-2}$  para detecções de  $1\sigma$ .

Unindo os precisos mapas de massa estelar obtidos no  $S^4G$  com imagens ópticas do telescópio SOAR, iremos obter mapas das propriedades estelares desses objetos em escalas de dezenas a centenas de pc. Isso permitirá analisar em detalhes toda a estrutura que compõe os objetos imageados. A Figura 5.8 representa como essas medidas serão obtidas. Nessa Figura, é possível verificar a medida das propriedades de idade, taxa de formação estelar para diferentes regiões de uma galáxia observada no CANGA. Com esses dados, será possível obter essas medidas para cada pixel da imagem e, assim, obter mapas detalhados dessas propriedades para os objetos que compõe a amostra do CANGA.

A minha principal contribuição neste projeto é a preparação das observações do programa no telescópio SOAR na modalidade remota. Isso envolve operar o instrumento GOODMAN e verificar a qualidade dos dados no momento da observação. Também colaboro com a verificação da qualidade das imagens obtidas por meio do processamento e redução desses dados, além de ter contribuído com as medidas iniciais das propriedades físicas de algumas galáxias com dados já disponíveis (veja Figura 5.8).

As galáxias selecionadas são observadas nas bandas *griz* que são imageadas com múltiplas exposições de 100 e 30 segundos. Para evitar pixeis quentes, após cinco exposições longas, realizamos um padrão de *dithering* com deslocamentos de  $\sim 1.5$  *arcsec*. No total, cada galáxia é imageada por aproximadamente 2,5 horas. Os primeiros dados obtidos nos permitiu obter imagens com  $26 \text{ mag arcsec}^{-2}$  na banda *g* para detecções de  $5\sigma$ . A profundidade em magnitude alcançada nesse survey vai permitir analisar a estrutura e as propriedades de galáxias próximas até as regiões mais externas aos objetos. Para obter medidas de SFR, sSFR e massa estelar, utilizamos o código LePhare (Ilbert et al., 2006) com os modelos de populações estelares propostos por (Bruzual; Charlot, 2003).

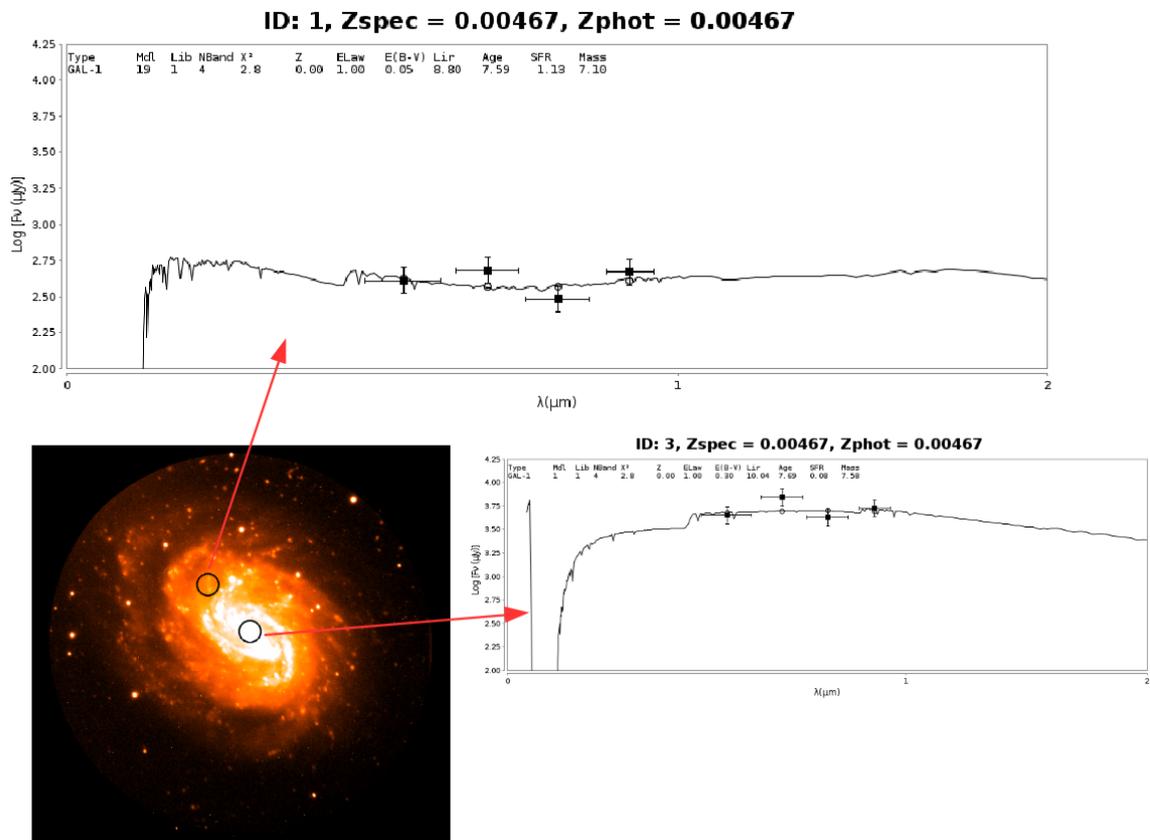


Figure 5.8 - A figura apresenta medidas das propriedades físicas de uma galáxia observada no CANGA. Na figura, é possível notar que as propriedades foram medidas para diferentes regiões do objeto. Com os dados finais do CANGA, espera-se medidas de SFR e massa para todos os pixeis nas imagens de cada galáxia.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Estudos detalhados do ambiente que cerca galáxias em alto redshift apresenta diversas complicações observacionais com relação à detecção de objetos com baixo brilho superficial. Dessa maneira esse estudo no universo distante quase sempre não pode caracterizar o ambiente em larga escala, de tal forma que englobe também galáxias de menor massa. Nesse contexto, estudar galáxias análogas de alto redshift é uma eficaz ferramenta para analisar o ambiente que cerca esses objetos com maior completeza. Dessa maneira, propomos analisar o ambiente de LBAs como uma alternativa para obter informações físicas de como essas galáxias estão aglomeradas em relação a objetos de massa similar presente em um mesmo intervalo de redshift e assim traçar possíveis cenários de formação e evolução para suas contrapartidas em alto redshift.

Neste trabalho, estudamos o ambiente que circunda LBAs através de dados fotométricos que compõem o ELBA survey. LBAs compartilham propriedades semelhantes as dos objetos observados no universo distante e podem ser utilizadas como uma ferramenta importante para estudar a formação e evolução de galáxias em alto redshift. Para medir a densidade ambiental, aplicamos a mesma metodologia de [Darvish et al. \(2018\)](#). As principais conclusões deste trabalho são apresentadas abaixo.

- O levantamento ELBA fornece imagens com grande profundidade em magnitude  $24.4 \text{ mag}_{AB}$  para fontes pontuais com  $10\sigma$ . Isto representa uma melhoria de  $\sim 2$  magnitudes em relação àquelas disponíveis pelo SDSS na banda  $g$  para cada um dos campos observados neste trabalho e 1 magnitude mais profunda que o DES para observações na mesma banda fotométrica. Com a cobertura de 33 graus quadrados, foi possível investigar o ambiente ocupado por diferentes galáxias em uma mesma imagem e comparar essas medidas para objetos com propriedades físicas similares àquelas observadas em LBAs.
- As medidas de redshift fotométrico obtidas neste trabalho, usando as bandas  $u$ ,  $g$ ,  $r$  e  $i$  do ELBA e JHK do UKIDSS ([Lawrence et al., 2007](#)), apresentam incertezas consistentes com outros surveys que utilizam entre 4 e 10 bandas fotométricas ([Sánchez et al., 2014](#)).
- Analisando as medidas de densidade obtidas com o estimador  $k4$ , concluímos que LBAs habitam regiões de pequenos grupos (pares ou grupos de

até 4 objetos) com uma diferença de aproximadamente 1 dex para galáxias com massa e SFR com valores similares aos medidos em LBAs. A densidade média ambiental das LBAs é semelhante às obtidas para galáxias do campo quando se considera somente o estimador k10, com uma diferença de aproximadamente 0.1 dex em relação às galáxias com propriedades semelhantes.

- Analisando o estimador de densidade para pequenas escalas (k4), encontramos que a diferença entre a densidade das galáxias no campo e LBAs é estatisticamente significativa. Esse resultado é corroborado pelo teste KS que fizemos para ambas distribuições de densidades e que obteve como resultado  $p - value = 0.009$ . Sugerimos que isso é uma evidência para uma maior aglomeração do ambiente que cerca as LBAs em pequenas escalas. Esse resultado está de acordo com a presença de *merger* observadas em imagens de alta resolução em [Overzier et al. \(2009\)](#) e estudos anteriores de [Basu-Zych et al. \(2009\)](#) que mostrou que LBAs apresentam uma fração maior de pares.
- LBAs são uma amostra de objetos que refletem em suas propriedades as galáxias star-forming que povoam o universo distante. Nesse trabalho, obtivemos que em pequenas escalas LBAs estão em ambientes mais densos que a população geral de galáxias no mesmo redshift. Isso aponta para uma possível correlação entre a densidade ambiental e a atividade de formação estelar em LBAs. Estudo semelhante foi realizado por [Chartab et al. \(2020\)](#), que analisaram a densidade ambiental de galáxias star-forming localizadas em redshift 2 e constataram que esses objetos habitam preferencialmente regiões mais densas. Dessa forma, propomos que, além de propriedades físicas semelhantes, LBAs também podem apresentar condições ambientais similares àquelas observadas em galáxias do universo distante.
- Interpretamos esses resultados como um indício de que LBAs localizadas em baixo redshift possam estar passando por estágios iniciais de pré-processamento, principalmente relacionados à fusão desses objetos com galáxias menores. Esse processo, tanto para LBAs quanto para galáxias em alto redshift, não produzem necessariamente fortes surtos de formação estelar. No entanto, esse fenômeno pode causar instabilidades e compactação do disco de gás que ocasiona crescimento do bojo e, conseqüentemente, a cessação da formação estelar.

## 6.1 Perspectivas

Durante a execução deste projeto, notamos que existe um grande vazio no que se refere a uma amostra de análogas de baixo redshift na região do hemisfério sul. Isso ocorre, principalmente, devido aos grandes levantamentos no óptico apresentarem majoritariamente cobertura do céu do hemisfério norte. Desta forma, destacamos como um ponto bastante importante para futuros trabalhos: uma nova seleção desse tipo de objeto, utilizando dados que cubram a região sul celeste. Para isso, pretendemos utilizar dados dos levantamentos fotométricos dos quais colaboro (BLISS e DELVE) como base para uma seleção inicial dessas galáxias. Assim, iremos adotar provavelmente critério de cores para uma possível seleção inicial dessas galáxias no hemisfério sul.

Considerando que todos os campos que apresentam LBAs são observados pelo SDSS, embora apresentem profundidade em magnitude menor que o ELBA, iremos aplicar a mesma metodologia para todas as LBAs contidas na amostra original obtida por Heckman et al. (2005), Hoopes et al. (2007). Isso será importante para verificar se as características ambientais observadas neste trabalho ocorrem também no ambiente das outras LBAs (ainda que utilizando um conjunto de dados com menor capacidade de detectar objetos menos brilhantes).

Nesse trabalho, ficou claro que LBAs habitam preferencialmente ambientes mais densos quando comparadas com galáxias de propriedades físicas similares. Isso é corroborado pelos estudos anteriores que mostraram que esses objetos apresentam claros sinais de fusão com outras galáxias e estatisticamente são encontrados com maior frequência aos pares. Nesse sentido, pretendemos investigar o histórico de merger desses objetos, utilizando dados de simulações cosmológicas. Esse estudo poderá nos fornecer como resultado direto, se o histórico de aglomeração durante a formação dessas galáxias difere daquelas com propriedades físicas semelhantes, e poderá elucidar de maneira definitiva se os responsáveis pelas propriedades físicas extremas observadas nessas galáxias são os processos externos que ocorreram durante o processo de formação das mesmas.

## REFERENCES

Abadi, M. G.; Moore, B.; Bower, R. G. Ram pressure stripping of spiral galaxies in clusters. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 308, n. 4, p. 947–954, Oct 1999. 12

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Adya, V. B.; Affeldt, C.; Afrough, M.; Agarwal, B.; Agathos, M.; Agatsuma, K.; Aggarwal, N.; Aguiar, O. D.; Aiello, L.; Ain, A.; Ajith, P.; Allen, B.; Allen, G.; Allocca, A.; Altin, P. A.; Amato, A.; Ananyeva. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 848, n. 2, p. L12, out. 2017. 81

Abbott, T. M. C.; Abdalla, F. B.; Allam, S.; Amara, A.; Annis, J.; Asorey, J.; Avila, S.; Ballester, O.; Banerji, M.; Barkhouse, W.; Baruah, L.; Baumer, M.; Bechtol, K.; Becker, M. R.; Benoit-Lévy, A.; Bernstein, G. M.; Bertin, E.; Blazek, J.; Bocquet, S.; Brooks, D.; Brout, D.; Buckley-Geer, E.; Burke, D. L.; Busti, V.; Campisano, R.; Cardiel-Sas, L.; Carnero Rosell, A.; Carrasco Kind, M.; Carretero, J.; Castander, F. J.; Cawthon, R.; Chang, C.; Chen, X.; Conselice, C.; Costa, G.; Croce, M.; Cunha, C. E.; D’Andrea, C. B.; da Costa, L. N.; Das, R.; Daues, G.; Davis, T. M.; Davis, C.; De Vicente, J.; DePoy, D. L.; DeRose, J.; Desai, S.; Diehl, H. T.; Dietrich, J. P.; Dodelson, S.; Doel, P.; Drlica-Wagner, A.; Eifler, T. F.; Elliott, A. E.; Evrard, A. E.; Farahi, A.; Fausti Neto, A.; Fernandez, E.; Finley, D. A.; Flaugher, B.; Foley, R. J.; Fosalba, P.; Friedel, D. N.; Frieman, J.; García-Bellido, J.; Gaztanaga, E.; Gerdes, D. W.; Giannantonio, T.; Gill, M. S. S.; Glazebrook, K.; Goldstein, D. A.; Gower, M.; Gruen, D.; Gruendl, R. A.; Gschwend, J.; Gupta, R. R.; Gutierrez, G.; Hamilton, S.; Hartley, W. G.; Hinton, S. R.; Hislop, J. M.; Hollowood, D.; Honscheid, K.; Hoyle, B.; Huterer, D.; Jain, B.; James, D. J.; Jeltama, T.; Johnson, M. W. G.; Johnson, M. D.; Kacprzak, T.; Kent, S.; Khullar, G.; Klein, M.; Kovacs, A.; Koziol, A. M. G.; Krause, E.; Kremin, A.; Kron, R.; Kuehn, K.; Kuhlmann, S.; Kuropatkin, N.; Lahav, O.; Lasker, J.; Li, T. S.; Li, R. T.; Liddle, A. R.; Lima, M.; Lin, H.; López-Reyes, P.; MacCrann, N.; Maia, M. A. G.; Maloney, J. D.; Manera, M.; March, M.; Marriner, J.; Marshall, J. L.; Martini, P.; McClintock, T.; McKay, T.; McMahan, R. G.; Melchior, P.; Menanteau, F.; Miller, C. J.; Miquel, R.; Mohr, J. J.; Morganson, E.; Mould, J.; Neilsen, E.; Nichol, R. C.; Nogueira, F.; Nord, B.; Nugent, P.; Nunes, L.; Ogand o, R. L. C.; Old, L.; Pace, A. B.; Palmese, A.; Paz-Chinchón, F.; Peiris, H. V.; Percival, W. J.; Petravick, D.; Plazas, A. A.; Poh, J.; Pond, C.; Porredon, A.;

Pujol, A.; Refregier, A.; Reil, K.; Ricker, P. M.; Rollins, R. P.; Romer, A. K.; Roodman, A.; Rooney, P.; Ross, A. J.; Rykoff, E. S.; Sako, M.; Sanchez, M. L.; Sanchez, E.; Santiago, B.; Saro, A.; Scarpine, V.; Scolnic, D.; Serrano, S.; Sevilla-Noarbe, I.; Sheldon, E.; Shipp, N.; Silveira, M. L.; Smith, M.; Smith, R. C.; Smith, J. A.; Soares-Santos, M.; Sobreira, F.; Song, J.; Stebbins, A.; Suchyta, E.; Sullivan, M.; Swanson, M. E. C.; Tarle, G.; Thaler, J.; Thomas, D.; Thomas, R. C.; Troxel, M. A.; Tucker, D. L.; Vikram, V.; Vivas, A. K.; Walker, A. R.; Wechsler, R. H.; Weller, J.; Wester, W.; Wolf, R. C.; Wu, H.; Yanny, B.; Zenteno, A.; Zhang, Y.; Zuntz, J.; DES Collaboration; Juneau, S.; Fitzpatrick, M.; Nikutta, R.; Nidever, D.; Olsen, K.; Scott, A.; NOAO Data Lab. The Dark Energy Survey: Data Release 1. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 239, n. 2, p. 18, Dec 2018. 41

Adelberger, K. L.; Steidel, C. C.; Pettini, M.; Shapley, A. E.; Reddy, N. A.; Erb, D. K. The Spatial Clustering of Star-forming Galaxies at Redshifts  $1.4 < z < 3.5$ . **The Astrophysical Journal**, v. 619, n. 2, p. 697–713, Feb 2005. 28, 30, 64

Adelberger, K. L.; Steidel, C. C.; Shapley, A. E.; Hunt, M. P.; Erb, D. K.; Reddy, N. A.; Pettini, M. Optical Selection of Star-forming Galaxies at Redshifts  $1 < z < 3$ . **The Astrophysical Journal**, v. 607, n. 1, p. 226–240, May 2004. 28, 31

Arnouts, S.; Schiminovich, D.; Ilbert, O.; Tresse, L.; Milliard, B.; Treyer, M.; Bardelli, S.; Budavari, T.; Wyder, T. K.; Zucca, E.; Le Fèvre, O.; Martin, D. C.; Vettolani, G.; Adami, C.; Arnaboldi, M.; Barlow, T.; Bianchi, L.; Bolzonella, M.; Bottini, D.; Byun, Y. I.; Cappi, A.; Charlot, S.; Contini, T.; Donas, J.; Forster, K.; Foucaud, S.; Franzetti, P.; Friedman, P. G.; Garilli, B.; Gavignaud, I.; Guzzo, L.; Heckman, T. M.; Hoopes, C.; Iovino, A.; Jelinsky, P.; Le Brun, V.; Lee, Y. W.; Maccagni, D.; Madore, B. F.; Malina, R.; Marano, B.; Marinoni, C.; McCracken, H. J.; Mazure, A.; Meneux, B.; Merighi, R.; Morrissey, P.; Neff, S.; Paltani, S.; Pellò, R.; Picat, J. P.; Pollo, A.; Pozzetti, L.; Radovich, M.; Rich, R. M.; Scaramella, R.; Scodreggio, M.; Seibert, M.; Siegmund, O.; Small, T.; Szalay, A. S.; Welsh, B.; Xu, C. K.; Zamorani, G.; Zanichelli, A. The GALEX VIMOS-VLT Deep Survey Measurement of the Evolution of the 1500 Å Luminosity Function. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 619, n. 1, p. L43–L46, Jan 2005. 31

Baldry, I. K.; Balogh, M. L.; Bower, R. G.; Glazebrook, K.; Nichol, R. C.; Bamford, S. P.; Budavari, T. Galaxy bimodality versus stellar mass and environment. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 373, n. 2, p. 469–483, Dec 2006. 51

- Baldwin, J. A.; Phillips, M. M.; Terlevich, R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 93, p. 5–19, Feb 1981. 23
- Barnes, J. E. Formation of gas discs in merging galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 333, n. 3, p. 481–494, Jul 2002. 16
- Barro, G.; Faber, S. M.; Pérez-González, P. G.; Koo, D. C.; Williams, C. C.; Kocevski, D. D.; Trump, J. R.; Mozena, M.; McGrath, E.; van der Wel, A.; Wuyts, S.; Bell, E. F.; Croton, D. J.; Ceverino, D.; Dekel, A.; Ashby, M. L. N.; Cheung, E.; Ferguson, H. C.; Fontana, A.; Fang, J.; Giavalisco, M.; Grogin, N. A.; Guo, Y.; Hathi, N. P.; Hopkins, P. F.; Huang, K.-H.; Koekemoer, A. M.; Kartaltepe, J. S.; Lee, K.-S.; Newman, J. A.; Porter, L. A.; Primack, J. R.; Ryan, R. E.; Rosario, D.; Somerville, R. S.; Salvato, M.; Hsu, L.-T. CANDELS: The Progenitors of Compact Quiescent Galaxies at  $z \sim 2$ . **The Astrophysical Journal**, v. 765, n. 2, p. 104, Mar 2013. 68
- Basu-Zych, A. R.; Lehmer, B. D.; Hornschemeier, A. E.; Gonçalves, T. S.; Fragos, T.; Heckman, T. M.; Overzier, R. A.; Ptak, A. F.; Schiminovich, D. Evidence for Elevated X-Ray Emission in Local Lyman Break Galaxy Analogs. **The Astrophysical Journal**, v. 774, n. 2, p. 152, Sep 2013. 32
- Basu-Zych, A. R.; Schiminovich, D.; Heinis, S.; Overzier, R.; Heckman, T.; Zamojski, M.; Ilbert, O.; Koekemoer, A. M.; Barlow, T. A.; Bianchi, L.; Conrow, T.; Donas, J.; Forster, K. G.; Friedman, P. G.; Lee, Y.-W.; Madore, B. F.; Martin, D. C.; Milliard, B.; Morrissey, P.; Neff, S. G.; Rich, R. M.; Salim, S.; Seibert, M.; Small, T. A.; Szalay, A. S.; Wyder, T. K.; Yi, S. Studying Large- and Small-Scale Environments of Ultraviolet Luminous Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 699, n. 2, p. 1307–1320, Jul 2009. 23, 28, 29, 32, 33, 64, 88
- Basu-Zych, A. R.; Schiminovich, D.; Johnson, B. D.; Hoopes, C.; Overzier, R.; Treyer, M. A.; Heckman, T. M.; Barlow, T. A.; Bianchi, L.; Conrow, T.; Donas, J.; Forster, K. G.; Friedman, P. G.; Lee, Y.-W.; Madore, B. F.; Martin, D. C.; Milliard, B.; Morrissey, P.; Neff, S. G.; Rich, R. M.; Salim, S.; Seibert, M.; Small, T. A.; Szalay, A. S.; Wyder, T. K.; Yi, S. The Young and the Dustless: Interpreting Radio Observations of Ultraviolet-Luminous Galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 173, n. 2, p. 457–470, Dec 2007. 23, 32
- Baum, W. A. Photoelectric Magnitudes and Red-Shifts. In: McVittie, G. C. (Ed.). **Problems of Extra-Galactic Research**. [S.l.: s.n.], 1962. (IAU Symposium, v. 15), p. 390. 43

Beckman, J.; Carretero, C.; Vazdekis, A. The Role of Mergers in Galaxy Evolution. **Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics Supplement**, v. 8, p. 77–83, Oct 2008. 16

Bernardi, M.; Renzini, A.; da Costa, L. N.; Wegner, G.; Alonso, M. V.; Pellegrini, P. S.; Rit e, C.; Willmer, C. N. A. Cluster versus Field Elliptical Galaxies and Clues on Their Formation. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 508, n. 2, p. L143–L146, Dec 1998. 7

Bertin, E. Automatic Astrometric and Photometric Calibration with SCAMP. In: \_\_\_\_\_. **Astronomical Data Analysis Software and Systems XV ASP Conference Series, Vol. 351, Proceedings of the Conference Held 2-5 October 2005 in San Lorenzo de El Escorial, Spain. Edited by Carlos Gabriel, Christophe Arviset, Daniel Ponz, and Enrique Solano. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2006., p.112.** [S.l.: s.n.], 2006. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 351), p. 112. 39

Bertin, E.; Arnouts, S. SExtractor: Software for source extraction. **Astronomy and Astrophysics, Supplement**, v. 117, p. 393–404, Jun 1996. 39

Bertin, E.; Mellier, Y.; Radovich, M.; Missonnier, G.; Didelon, P.; Morin, B. The TERAPIX Pipeline. In: \_\_\_\_\_. **Astronomical Data Analysis Software and Systems XI, ASP Conference Proceedings, Vol. 281. Edited by David A. Bohlender, Daniel Durand, and Thomas H. Handley. ISBN: 1-58381-124-9. ISSN: 1080-7926. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2002, p. 228.** [S.l.: s.n.], 2002. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 281), p. 228. 39

Bian, F.; Kewley, L. J.; Dopita, M. A.; Juneau, S. Local Analogs for High-redshift Galaxies: Resembling the Physical Conditions of the Interstellar Medium in High-redshift Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 822, n. 2, p. 62, May 2016. 24, 32

Blanton, M. R.; Berlind, A. A. What Aspects of Galaxy Environment Matter? **Astrophysical Journal**, v. 664, n. 2, p. 791–803, Aug 2007. 8

Boselli, A.; Epinat, B.; Contini, T.; Abril-Melgarejo, V.; Boogaard, L. A.; Pointecouteau, E.; Ventou, E.; Brinchmann, J.; Carton, D.; Finley, H.; Michel-Dansac, L.; Soucail, G.; Weibacher, P. M. Evidence for ram-pressure stripping in a cluster of galaxies at  $z = 0.7$ . **Astronomy and Astrophysics**, v. 631, p. A114, Nov 2019. 11

- Brammer, G. B.; van Dokkum, P. G.; Coppi, P. EAZY: A Fast, Public Photometric Redshift Code. **Astrophysical Journal**, v. 686, n. 2, p. 1503–1513, Oct 2008. 45, 46
- Brown, M. J. I.; Dey, A.; Jannuzi, B. T.; Brand, K.; Benson, A. J.; Brodwin, M.; Croton, D. J.; Eisenhardt, P. R. The Evolving Luminosity Function of Red Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 654, n. 2, p. 858–877, Jan 2007. 26
- Bruzual, G.; Charlot, S. Stellar population synthesis at the resolution of 2003. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 344, n. 4, p. 1000–1028, Oct 2003. 44, 62, 69, 70, 85
- Butcher, H.; Oemler A., J. The evolution of galaxies in clusters. II. The galaxy content of nearby clusters. **Astrophysical Journal**, v. 226, p. 559–565, Dec 1978. 27
- Calzetti, D.; Heckman, T. M. The Evolution of Dust Opacity in Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 519, n. 1, p. 27–47, Jul 1999. 22, 62
- Capak, P.; Abraham, R. G.; Ellis, R. S.; Mobasher, B.; Scoville, N.; Sheth, K.; Koekemoer, A. The Effects of Environment on Morphological Evolution at  $z \approx 1.2$  in the COSMOS Survey. **Astrophysical Journal, Supplement**, v. 172, n. 1, p. 284–294, Sep 2007. 8
- Cardamone, C.; Schawinski, K.; Sarzi, M.; Bamford, S. P.; Bennert, N.; Urry, C. M.; Lintott, C.; Keel, W. C.; Parejko, J.; Nichol, R. C.; Thomas, D.; Andreescu, D.; Murray, P.; Raddick, M. J.; Slosar, A.; Szalay, A.; Vandenberg, J. Galaxy Zoo Green Peas: discovery of a class of compact extremely star-forming galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 399, n. 3, p. 1191–1205, Nov 2009. 23
- Cartier, R.; Olivares, F.; Rodríguez, Ó.; Meza-Retamal, N.; Quirola, J.; Antilen, J.; Allam, S.; Butner, M.; Tucker, D.; Soares-Santos, M.; Makler, M.; Bom, C. R.; Santana-Silva, L.; Martinez-Vazquez, C.; Garcia, A.; Herner, K.; Annis, J.; Palmese, A.; Sherman, N.; Morgan, R.; Bachmann, T.; Davis, T.; Desgw Team. LIGO/Virgo S200114f: SOAR spectroscopy of AT2020zf, AT2020ace and AT2020ach. **GRB Coordinates Network**, v. 26830, p. 1, jan. 2020. 81
- Ceverino, D.; Dekel, A.; Tweed, D.; Primack, J. Early formation of massive, compact, spheroidal galaxies with classical profiles by violent disc instability or mergers. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 447, n. 4, p. 3291–3310, Mar 2015. 68

Chartab, N.; Mobasher, B.; Darvish, B.; Finkelstein, S.; Guo, Y.; Kodra, D.; Lee, K.-S.; Newman, J. A.; Pacifici, C.; Papovich, C.; Sattari, Z.; Shahidi, A.; Dickinson, M. E.; Faber, S. M.; Ferguson, H. C.; Giavalisco, M.; Jafariyazani, M. Large-scale Structures in the CANDELS Fields: The Role of the Environment in Star Formation Activity. **Astrophysical Journal**, v. 890, n. 1, p. 7, fev. 2020. [8](#), [88](#)

Chiang, Y.-K.; Overzier, R. A.; Gebhardt, K.; Henriques, B. Galaxy Protoclusters as Drivers of Cosmic Star Formation History in the First 2 Gyr. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 844, n. 2, p. L23, Aug 2017. [8](#)

Cibinel, A.; Daddi, E.; Sargent, M. T.; Le Floch, E.; Liu, D.; Bournaud, F.; Oesch, P. A.; Amram, P.; Calabrò, A.; Duc, P. A.; Pannella, M.; Puglisi, A.; Perret, V.; Elbaz, D.; Kokorev, V. Early- and late-stage mergers among main sequence and starburst galaxies at  $0.2 \leq z \leq 2$ . **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 485, n. 4, p. 5631–5651, Jun 2019. [15](#), [17](#), [60](#)

Cid Fernandes, R.; Mateus, A.; Sodré, L.; Stasińska, G.; Gomes, J. M. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - I. Spectral synthesis method. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 358, n. 2, p. 363–378, Apr 2005. [69](#), [70](#)

Clemens, M. S.; Bressan, A.; Nikolic, B.; Alexander, P.; Annibali, F.; Rampazzo, R. The star formation history of early-type galaxies as a function of mass and environment. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 370, n. 2, p. 702–720, Aug 2006. [7](#)

Coe, D.; Benítez, N.; Broadhurst, T.; Moustakas, L. A. A High-resolution Mass Map of Galaxy Cluster Substructure: LensPerfect Analysis of A1689. **Astrophysical Journal**, v. 723, n. 2, p. 1678–1702, Nov 2010. [45](#)

Conselice, C. J.; Rajgor, S.; Myers, R. The structures of distant galaxies - I. Galaxy structures and the merger rate to  $z \sim 3$  in the Hubble Ultra-Deep Field. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 386, n. 2, p. 909–927, May 2008. [18](#), [19](#)

Conselice, C. J.; Yang, C.; Bluck, A. F. L. The structures of distant galaxies - III. The merger history of over 20000 massive galaxies at  $z < 1.2$ . **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 394, n. 4, p. 1956–1972, Apr 2009. [15](#)

Contursi, A.; Baker, A. J.; Berta, S.; Magnelli, B.; Lutz, D.; Fischer, J.; Verma, A.; Nielbock, M.; Grácia Carpio, J.; Veilleux, S.; Sturm, E.; Davies, R.; Genzel, R.;

Hailey-Dunsheath, S.; Herrera-Camus, R.; Janssen, A.; Poglitsch, A.; Sternberg, A.; Tacconi, L. J. Interstellar medium conditions in  $z \sim 0.2$  Lyman-break analogs. **Astronomy and Astrophysics**, v. 606, p. A86, Oct 2017. [68](#)

Cooper, M. C.; Gallazzi, A.; Newman, J. A.; Yan, R. Galaxy assembly bias on the red sequence. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 402, n. 3, p. 1942–1958, Mar 2010. [7](#)

Cooper, M. C.; Newman, J. A.; Croton, D. J.; Weiner, B. J.; Willmer, C. N. A.; Gerke, B. F.; Madgwick, D. S.; Faber, S. M.; Davis, M.; Coil, A. L.; Finkbeiner, D. P.; Guhathakurta, P.; Koo, D. C. The DEEP2 Galaxy Redshift Survey: the relationship between galaxy properties and environment at  $z \sim 1$ . **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 370, n. 1, p. 198–212, Jul 2006. [8](#)

Cooper, M. C.; Newman, J. A.; Weiner, B. J.; Yan, R.; Willmer, C. N. A.; Bundy, K.; Coil, A. L.; Conselice, C. J.; Davis, M.; Faber, S. M.; Gerke, B. F.; Guhathakurta, P.; Koo, D. C.; Noeske, K. G. The DEEP2 Galaxy Redshift Survey: the role of galaxy environment in the cosmic star formation history. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 383, n. 3, p. 1058–1078, Jan 2008. [8](#), [26](#), [27](#)

Cowie, L. L.; Songaila, A.; Hu, E. M.; Cohen, J. G. New Insight on Galaxy Formation and Evolution From Keck Spectroscopy of the Hawaii Deep Fields. **Astronomical Journal**, v. 112, p. 839, Sep 1996. [18](#), [19](#)

Darvish, B.; Martin, C.; Gonçalves, T. S.; Mobasher, B.; Scoville, N. Z.; Sobral, D. Quenching or Bursting: The Role of Stellar Mass, Environment, and Specific Star Formation Rate to  $z \sim 1$ . **Astrophysical Journal**, v. 853, n. 2, p. 155, Feb 2018. [26](#), [27](#), [50](#), [87](#)

Darvish, B.; Mobasher, B.; Sobral, D.; Scoville, N.; Aragon-Calvo, M. A Comparative Study of Density Field Estimation for Galaxies: New Insights into the Evolution of Galaxies with Environment in COSMOS out to  $z \sim 3$ . **Astrophysical Journal**, v. 805, n. 2, p. 121, Jun 2015. [49](#)

Darvish, B.; Mobasher, B.; Sobral, D.; Rettura, A.; Scoville, N.; Faisst, A.; Capak, P. The Effects of the Local Environment and Stellar Mass on Galaxy Quenching to  $z \sim 3$ . **Astrophysical Journal**, v. 825, n. 2, p. 113, Jul 2016. [8](#), [26](#)

De Vicente, J.; Sánchez, E.; Sevilla-Noarbe, I. DNF - Galaxy photometric redshift by Directional Neighbourhood Fitting. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 459, n. 3, p. 3078–3088, Jul 2016. [43](#), [45](#)

Dekel, A.; Sari, R.; Ceverino, D. Formation of Massive Galaxies at High Redshift: Cold Streams, Clumpy Disks, and Compact Spheroids. **Astrophysical Journal**, v. 703, n. 1, p. 785–801, Sep 2009. [20](#), [68](#)

Di Matteo, P.; Bournaud, F.; Martig, M.; Combes, F.; Melchior, A. L.; Semelin, B. On the frequency, intensity, and duration of starburst episodes triggered by galaxy interactions and mergers. **Astronomy and Astrophysics**, v. 492, n. 1, p. 31–49, Dec 2008. [26](#)

Dickinson, M.; Papovich, C.; Ferguson, H. C.; Budavári, T. The Evolution of the Global Stellar Mass Density at  $z \leq 3$ . **Astrophysical Journal**, v. 587, n. 1, p. 25–40, Apr 2003. [26](#)

Dressler, A. Galaxy morphology in rich clusters: implications for the formation and evolution of galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 236, p. 351–365, Mar 1980. [7](#), [8](#), [9](#), [27](#), [51](#), [54](#)

Dressler, A.; Oemler AUGUSTUS, J.; Poggianti, B. M.; Smail, I.; Trager, S.; Shectman, S. A.; Couch, W. J.; Ellis, R. S. Studying the Star Formation Histories of Galaxies in Clusters from Composite Spectra. **Astrophysical Journal**, v. 617, n. 2, p. 867–878, Dec 2004. [68](#)

Drlica-Wagner, A.; Sevilla-Noarbe, I.; Rykoff, E. S.; Gruendl, R. A.; Yanny, B.; Tucker, D. L.; Hoyle, B.; Carnero Rosell, A.; Bernstein, G. M.; Bechtol, K.; Becker, M. R.; Benoit-Lévy, A.; Bertin, E.; Carrasco Kind, M.; Davis, C.; de Vicente, J.; Diehl, H. T.; Gruen, D.; Hartley, W. G.; Leistedt, B.; Li, T. S.; Marshall, J. L.; Neilsen, E.; Rau, M. M.; Sheldon, E.; Smith, J.; Troxel, M. A.; Wyatt, S.; Zhang, Y.; Abbott, T. M. C.; Abdalla, F. B.; Allam, S.; Banerji, M.; Brooks, D.; Buckley-Geer, E.; Burke, D. L.; Capozzi, D.; Carretero, J.; Cunha, C. E.; D'Andrea, C. B.; da Costa, L. N.; DePoy, D. L.; Desai, S.; Dietrich, J. P.; Doel, P.; Evrard, A. E.; Fausti Neto, A.; Flaugher, B.; Fosalba, P.; Frieman, J.; García-Bellido, J.; Gerdes, D. W.; Giannantonio, T.; Gschwend, J.; Gutierrez, G.; Honscheid, K.; James, D. J.; Jeltama, T.; Kuehn, K.; Kuhlmann, S.; Kuropatkin, N.; Lahav, O.; Lima, M.; Lin, H.; Maia, M. A. G.; Martini, P.; McMahon, R. G.; Melchior, P.; Menanteau, F.; Miquel, R.; Nichol, R. C.; Ogando, R. L. C.; Plazas, A. A.; Romer, A. K.; Roodman, A.; Sanchez, E.; Scarpine, V.; Schindler, R.;

Schubnell, M.; Smith, M.; Smith, R. C.; Soares-Santos, M.; Sobreira, F.; Suchyta, E.; Tarle, G.; Vikram, V.; Walker, A. R.; Wechsler, R. H.; Zuntz, J.; DES Collaboration. Dark Energy Survey Year 1 Results: The Photometric Data Set for Cosmology. **Astrophysical Journal, Supplement**, v. 235, n. 2, p. 33, Apr 2018. 39, 40

Eggen, O. J.; Lynden-Bell, D.; Sandage, A. R. Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed. **Astrophysical Journal**, v. 136, p. 748, Nov 1962. 1

Ellison, S. L.; Mendel, J. T.; Patton, D. R.; Scudder, J. M. Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - VIII. The observational properties of post-merger galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 435, n. 4, p. 3627–3638, Nov 2013. 15

Farouki, R.; Shapiro, S. L. Computer simulations of environmental influences on galaxy evolution in dense clusters. II - Rapid tidal encounters. **Astrophysical Journal**, v. 243, p. 32–41, Jan 1981. 10

Flaugher, B.; Diehl, H. T.; Honscheid, K.; Abbott, T. M. C.; Alvarez, O.; Angstadt, R.; Annis, J. T.; Antonik, M.; Ballester, O.; Beaufore, L.; Bernstein, G. M.; Bernstein, R. A.; Bigelow, B.; Bonati, M.; Boprie, D.; Brooks, D.; Buckley-Geer, E. J.; Campa, J.; Cardiel-Sas, L.; Castander, F. J.; Castilla, J.; Cease, H.; Cela-Ruiz, J. M.; Chappa, S.; Chi, E.; Cooper, C.; da Costa, L. N.; Dede, E.; Derylo, G.; DePoy, D. L.; de Vicente, J.; Doel, P.; Drlica-Wagner, A.; Eiting, J.; Elliott, A. E.; Emes, J.; Estrada, J.; Fausti Neto, A.; Finley, D. A.; Flores, R.; Frieman, J.; Gerdes, D.; Gladders, M. D.; Gregory, B.; Gutierrez, G. R.; Hao, J.; Holland, S. E.; Holm, S.; Huffman, D.; Jackson, C.; James, D. J.; Jonas, M.; Karcher, A.; Karliner, I.; Kent, S.; Kessler, R.; Kozlovsky, M.; Kron, R. G.; Kubik, D.; Kuehn, K.; Kuhlmann, S.; Kuk, K.; Lahav, O.; Lathrop, A.; Lee, J.; Levi, M. E.; Lewis, P.; Li, T. S.; Mandrichenko, I.; Marshall, J. L.; Martinez, G.; Merritt, K. W.; Miquel, R.; Muñoz, F.; Neilsen, E. H.; Nichol, R. C.; Nord, B.; Ogando, R.; Olsen, J.; Palaio, N.; Patton, K.; Peoples, J.; Plazas, A. A.; Rauch, J.; Reil, K.; Rheault, J. P.; Roe, N. A.; Rogers, H.; Roodman, A.; Sanchez, E.; Scarpine, V.; Schindler, R. H.; Schmidt, R.; Schmitt, R.; Schubnell, M.; Schultz, K.; Schurter, P.; Scott, L.; Serrano, S.; Shaw, T. M.; Smith, R. C.; Soares-Santos, M.; Stefanik, A.; Stuermer, W.; Suchyta, E.; Sypniewski, A.; Tarle, G.; Thaler, J.; Tighe, R.; Tran, C.; Tucker, D.; Walker, A. R.; Wang, G.; Watson, M.; Weaverdyck, C.; Wester, W.; Woods, R.; Yanny, B.; DES Collaboration. The Dark Energy Camera. **Astronomical Journal**, v. 150, n. 5, p. 150, Nov 2015. 36

Gallazzi, A.; Bell, E. F.; Wolf, C.; Gray, M. E.; Papovich, C.; Barden, M.; Peng, C. Y.; Meisenheimer, K.; Heymans, C.; van Kampen, E.; Gilmour, R.; Balogh, M.; McIntosh, D. H.; Bacon, D.; Barazza, F. D.; Böhm, A.; Caldwell, J. A. R.; Häußler, B.; Jahnke, K.; Jogee, S.; Lane, K.; Robaina, A. R.; Sanchez, S. F.; Taylor, A.; Wisotzki, L.; Zheng, X. Obscured Star Formation in Intermediate-Density Environments: A Spitzer Study of the Abell 901/902 Supercluster. **Astrophysical Journal**, v. 690, n. 2, p. 1883–1900, jan. 2009. 50

Garland, C. A.; Pisano, D. J.; Mac Low, M. M.; Kreckel, K.; Rabidoux, K.; Guzmán, R. Nearby Clumpy, Gas Rich, Star-forming Galaxies: Local Analogs of High-redshift Clumpy Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 807, n. 2, p. 134, Jul 2015. 61

Genel, S.; Vogelsberger, M.; Springel, V.; Sijacki, D.; Nelson, D.; Snyder, G.; Rodriguez-Gomez, V.; Torrey, P.; Hernquist, L. Introducing the Illustris project: the evolution of galaxy populations across cosmic time. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 445, n. 1, p. 175–200, Nov 2014. 3, 4

Genzel, R.; Förster Schreiber, N. M.; Lang, P.; Tacchella, S.; Tacconi, L. J.; Wuyts, S.; Bandara, K.; Burkert, A.; Buschkamp, P.; Carollo, C. M.; Cresci, G.; Davies, R.; Eisenhauer, F.; Hicks, E. K. S.; Kurk, J.; Lilly, S. J.; Lutz, D.; Mancini, C.; Naab, T.; Newman, S.; Peng, Y.; Renzini, A.; Shapiro Griffin, K.; Sternberg, A.; Vergani, D.; Wisnioski, E.; Wuyts, E.; Zamorani, G. The SINS/zC-SINF Survey of  $z \sim 2$  Galaxy Kinematics: Evidence for Gravitational Quenching. **Astrophysical Journal**, v. 785, n. 1, p. 75, Apr 2014. 68

Genzel, R.; Newman, S.; Jones, T.; Förster Schreiber, N. M.; Shapiro, K.; Genel, S.; Lilly, S. J.; Renzini, A.; Tacconi, L. J.; Bouché, N.; Burkert, A.; Cresci, G.; Buschkamp, P.; Carollo, C. M.; Ceverino, D.; Davies, R.; Dekel, A.; Eisenhauer, F.; Hicks, E.; Kurk, J.; Lutz, D.; Mancini, C.; Naab, T.; Peng, Y.; Sternberg, A.; Vergani, D.; Zamorani, G. The Sins Survey of  $z \sim 2$  Galaxy Kinematics: Properties of the Giant Star-forming Clumps. **Astrophysical Journal**, v. 733, n. 2, p. 101, Jun 2011. 23

Gonçalves, T. S.; Basu-Zych, A.; Overzier, R.; Martin, D. C.; Law, D. R.; Schiminovich, D.; Wyder, T. K.; Mallery, R.; Rich, R. M.; Heckman, T. H. The Kinematics of Ionized Gas in Lyman-break Analogs at  $z \sim 0.2$ . **Astrophysical Journal**, v. 724, n. 2, p. 1373–1388, Dec 2010. 23, 24, 25, 32, 61, 68

Gonçalves, T. S.; Basu-Zych, A.; Overzier, R. A.; Pérez, L.; Martin, D. C. Molecular gas properties of UV-bright star-forming galaxies at low redshift.

**Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 442, n. 2, p. 1429–1439, Aug 2014. [23](#), [32](#)

Green, A. W.; Glazebrook, K.; McGregor, P. J.; Damjanov, I.; Wisnioski, E.; Abraham, R. G.; Colless, M.; Sharp, R. G.; Crain, R. A.; Poole, G. B.; McCarthy, P. J. DYNAMO - I. A sample of H $\alpha$ -luminous galaxies with resolved kinematics. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 437, n. 2, p. 1070–1095, Jan 2014. [23](#)

Grützbauch, R.; Conselice, C. J.; Varela, J.; Bundy, K.; Cooper, M. C.; Skibba, R.; Willmer, C. N. A. How does galaxy environment matter? The relationship between galaxy environments, colour and stellar mass at  $0.4 < z < 1$  in the Palomar/DEEP2 survey. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 411, n. 2, p. 929–946, Feb 2011. [26](#)

Guth, A. H. Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. **Physical Review D**, v. 23, n. 2, p. 347–356, Jan 1981. [2](#)

Hatfield, P. W.; Bowler, R. A. A.; Jarvis, M. J.; Hale, C. L. The environment and host haloes of the brightest  $z \approx 6$  Lyman-break galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 477, n. 3, p. 3760–3774, Jul 2018. [22](#), [28](#)

Heckman, T. M.; Hoopes, C. G.; Seibert, M.; Martin, D. C.; Salim, S.; Rich, R. M.; Kauffmann, G.; Charlot, S.; Barlow, T. A.; Bianchi, L.; Byun, Y.-I.; Donas, J.; Forster, K.; Friedman, P. G.; Jelinsky, P. N.; Lee, Y.-W.; Madore, B. F.; Malina, R. F.; Milliard, B.; Morrissey, P. F.; Neff, S. G.; Schiminovich, D.; Siegmund, O. H. W.; Small, T.; Szalay, A. S.; Welsh, B. Y.; Wyder, T. K. The Properties of Ultraviolet-luminous Galaxies at the Current Epoch. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 619, n. 1, p. L35–L38, Jan 2005. [23](#), [31](#), [32](#), [89](#)

Herner, K.; Palmese, A.; Soares-Santos, M.; Tucker, D.; Allam, S.; Annis, J.; Garcia, A.; Morgan, R.; Bachmann, T.; Brout, D.; Santana-Silva, L.; Sherman, N.; Desgw Team. LIGO/Virgo S190814bv: DESGW candidate update. **GRB Coordinates Network**, v. 25398, p. 1, ago. 2019. [81](#)

Hoopes, C. G.; Heckman, T. M.; Salim, S.; Seibert, M.; Tremonti, C. A.; Schiminovich, D.; Rich, R. M.; Martin, D. C.; Charlot, S.; Kauffmann, G.; Forster, K.; Friedman, P. G.; Morrissey, P.; Neff, S. G.; Small, T.; Wyder, T. K.; Bianchi, L.; Donas, J.; Lee, Y.-W.; Madore, B. F.; Milliard, B.; Szalay, A. S.; Welsh, B. Y.; Yi, S. K. The Diverse Properties of the Most Ultraviolet-Luminous Galaxies

Discovered by GALEX. **Astrophysical Journal, Supplement**, v. 173, n. 2, p. 441–456, Dec 2007. [xiii](#), [23](#), [31](#), [32](#), [69](#), [70](#), [89](#)

Hopkins, P. F.; Hernquist, L.; Cox, T. J.; Younger, J. D.; Besla, G. The Radical Consequences of Realistic Satellite Orbits for the Heating and Implied Merger Histories of Galactic Disks. **Astrophysical Journal**, v. 688, n. 2, p. 757–769, Dec 2008. [26](#)

Hopkins, P. F.; Somerville, R. S.; Cox, T. J.; Hernquist, L.; Jogee, S.; Kereš, D.; Ma, C.-P.; Robertson, B.; Stewart, K. The effects of gas on morphological transformation in mergers: implications for bulge and disc demographics. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 397, n. 2, p. 802–814, Aug 2009. [16](#)

Houghton, R. C. W. Revisiting the original morphology-density relation. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 451, n. 4, p. 3427–3436, Aug 2015. [9](#), [27](#), [57](#)

Hubble, E. A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 15, n. 3, p. 168–173, Mar 1929. [1](#)

Hubble, E. P. **Realm of the Nebulae**. [S.l.: s.n.], 1936. [6](#)

Ilbert, O.; Arnouts, S.; McCracken, H. J.; Bolzonella, M.; Bertin, E.; Le Fèvre, O.; Mellier, Y.; Zamorani, G.; Pellò, R.; Iovino, A.; Tresse, L.; Le Brun, V.; Bottini, D.; Garilli, B.; Maccagni, D.; Picat, J. P.; Scaramella, R.; Scodreggio, M.; Vettolani, G.; Zanichelli, A.; Adami, C.; Bardelli, S.; Cappi, A.; Charlot, S.; Ciliegi, P.; Contini, T.; Cucciati, O.; Foucaud, S.; Franzetti, P.; Gavignaud, I.; Guzzo, L.; Marano, B.; Marinoni, C.; Mazure, A.; Meneux, B.; Merighi, R.; Paltani, S.; Pollo, A.; Pozzetti, L.; Radovich, M.; Zucca, E.; Bondi, M.; Bongiorno, A.; Busarello, G.; de La Torre, S.; Gregorini, L.; Lamareille, F.; Mathez, G.; Merluzzi, P.; Ripepi, V.; Rizzo, D.; Vergani, D. Accurate photometric redshifts for the CFHT legacy survey calibrated using the VIMOS VLT deep survey. **Astronomy and Astrophysics**, v. 457, n. 3, p. 841–856, Oct 2006. [43](#), [45](#), [46](#), [62](#), [85](#)

Ilbert, O.; Capak, P.; Salvato, M.; Aussel, H.; McCracken, H. J.; Sanders, D. B.; Scoville, N.; Kartaltepe, J.; Arnouts, S.; Le Floch, E.; Mobasher, B.; Taniguchi, Y.; Lamareille, F.; Leauthaud, A.; Sasaki, S.; Thompson, D.; Zamojski, M.; Zamorani, G.; Bardelli, S.; Bolzonella, M.; Bongiorno, A.; Brusa, M.; Caputi, K. I.; Carollo, C. M.; Contini, T.; Cook, R.; Coppa, G.; Cucciati, O.; de la Torre, S.; de

Ravel, L.; Franzetti, P.; Garilli, B.; Hasinger, G.; Iovino, A.; Kampczyk, P.; Kneib, J. P.; Knobel, C.; Kovac, K.; Le Borgne, J. F.; Le Brun, V.; Le Fèvre, O.; Lilly, S.; Looper, D.; Maier, C.; Mainieri, V.; Mellier, Y.; Mignoli, M.; Murayama, T.; Pellò, R.; Peng, Y.; Pérez-Montero, E.; Renzini, A.; Ricciardelli, E.; Schiminovich, D.; Scodreggio, M.; Shioya, Y.; Silverman, J.; Surace, J.; Tanaka, M.; Tasca, L.; Tresse, L.; Vergani, D.; Zucca, E. Cosmos Photometric Redshifts with 30-Bands for 2-deg<sup>2</sup>. **Astrophysical Journal**, v. 690, n. 2, p. 1236–1249, Jan 2009. [44](#)

Ilbert, O.; Salvato, M.; Le Floch, E.; Aussel, H.; Capak, P.; McCracken, H. J.; Mobasher, B.; Kartaltepe, J.; Scoville, N.; Sanders, D. B.; Arnouts, S.; Bundy, K.; Cassata, P.; Kneib, J. P.; Koekemoer, A.; Le Fèvre, O.; Lilly, S.; Surace, J.; Taniguchi, Y.; Tasca, L.; Thompson, D.; Tresse, L.; Zamojski, M.; Zamorani, G.; Zucca, E. Galaxy Stellar Mass Assembly Between 0.2 <math>z</math> 2 from the S-COSMOS Survey. **Astrophysical Journal**, v. 709, n. 2, p. 644–663, fev. 2010. [63](#)

James, P.; Bate, C.; Wells, M.; Wright, G.; Doyon, R. Do galaxy mergers form elliptical galaxies? A comparison of kinematic and photometric properties. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 309, n. 3, p. 585–592, Nov 1999. [3](#)

Ji, Z.; Giavalisco, M.; Williams, C. C.; Faber, S. M.; Ferguson, H. C.; Guo, Y.; Liu, T.; Lee, B. Evidence of Environmental Quenching at Redshift  $z \approx 2$ . **Astrophysical Journal**, v. 862, n. 2, p. 135, Aug 2018. [8](#), [10](#), [26](#)

Joseph, R. D.; Wright, G. S. Recent star formation in interacting galaxies - II. Super starbursts in merging galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 214, p. 87–95, May 1985. [15](#)

Kauffmann, G.; White, S. D. M.; Heckman, T. M.; Ménard, B.; Brinchmann, J.; Charlot, S.; Tremonti, C.; Brinkmann, J. The environmental dependence of the relations between stellar mass, structure, star formation and nuclear activity in galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 353, n. 3, p. 713–731, Sep 2004. [8](#), [11](#), [27](#)

Kereš, D.; Katz, N.; Weinberg, D. H.; Davé, R. How do galaxies get their gas? **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 363, n. 1, p. 2–28, Oct 2005. [13](#), [20](#)

Knapen, J. H.; Cisternas, M.; Querejeta, M. Interacting galaxies in the nearby Universe: only moderate increase of star formation. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 454, n. 2, p. 1742–1750, Dec 2015. 15

Kovač, K.; Lilly, S. J.; Knobel, C.; Bschorr, T. J.; Peng, Y.; Carollo, C. M.; Contini, T.; Kneib, J. P.; Le Fèvre, O.; Mainieri, V.; Renzini, A.; Scodreggio, M.; Zamorani, G.; Bardelli, S.; Bolzonella, M.; Bongiorno, A.; Caputi, K.; Cucciati, O.; de la Torre, S.; de Ravel, L.; Franzetti, P.; Garilli, B.; Iovino, A.; Kampczyk, P.; Lamareille, F.; Le Borgne, J. F.; Le Brun, V.; Maier, C.; Mignoli, M.; Oesch, P.; Pello, R.; Montero, E. P.; Presotto, V.; Silverman, J.; Tanaka, M.; Tasca, L.; Tresse, L.; Vergani, D.; Zucca, E.; Aussel, H.; Koekemoer, A. M.; Le Floch, E.; Moresco, M.; Pozzetti, L. zCOSMOS 20k: satellite galaxies are the main drivers of environmental effects in the galaxy population at least to  $z \sim 0.7$ . **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 438, n. 1, p. 717–738, Feb 2014. 51

Lacey, C.; Cole, S. Merger rates in hierarchical models of galaxy formation. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 262, n. 3, p. 627–649, Jun 1993. 2, 3

Lawrence, A.; Warren, S. J.; Almaini, O.; Edge, A. C.; Hambly, N. C.; Jameson, R. F.; Lucas, P.; Casali, M.; Adamson, A.; Dye, S.; Emerson, J. P.; Foucaud, S.; Hewett, P.; Hirst, P.; Hodgkin, S. T.; Irwin, M. J.; Lodié, N.; McMahon, R. G.; Simpson, C.; Smail, I.; Mortlock, D.; Folger, M. The UKIRT Infrared Deep Sky Survey (UKIDSS). **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 379, n. 4, p. 1599–1617, Aug 2007. 46, 87

Lonoce, I.; Maraston, C.; Thomas, D.; Longhetti, M.; Parikh, T.; Guarnieri, P.; Comparat, J. Stellar population properties of individual massive early-type galaxies at  $1.4 < z < 2$ . **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 492, n. 1, p. 326–351, Feb 2020. 18

Lotz, J. M.; Jonsson, P.; Cox, T. J.; Croton, D.; Primack, J. R.; Somerville, R. S.; Stewart, K. The Major and Minor Galaxy Merger Rates at  $z < 1.5$ . **Astrophysical Journal**, v. 742, n. 2, p. 103, Dec 2011. 15, 17

Lotz, J. M.; Madau, P.; Giavalisco, M.; Primack, J.; Ferguson, H. C. The Rest-Frame Far-Ultraviolet Morphologies of Star-forming Galaxies at  $z \sim 1.5$  and 4. **Astrophysical Journal**, v. 636, n. 2, p. 592–609, Jan 2006. 18

Madau, P.; Dickinson, M. Cosmic Star-Formation History. **Annual Review of Astron and Astrophys**, v. 52, p. 415–486, Aug 2014. 18, 26

Malavasi, N.; Bardelli, S.; Ciliegi, P.; Ilbert, O.; Pozzetti, L.; Zucca, E. The environment of radio sources in the VLA-COSMOS survey field. **Astronomy and Astrophysics**, v. 576, p. A101, Apr 2015. 26, 50

Maraston, C. Evolutionary population synthesis: models, analysis of the ingredients and application to high-z galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 362, n. 3, p. 799–825, set. 2005. 44

Maraston, C.; Daddi, E.; Renzini, A.; Cimatti, A.; Dickinson, M.; Papovich, C.; Pasquali, A.; Pirzkal, N. Evidence for TP-AGB Stars in High-Redshift Galaxies, and Their Effect on Deriving Stellar Population Parameters. **Astrophysical Journal**, v. 652, n. 1, p. 85–96, nov. 2006. 44

Martin, D. C.; Fanson, J.; Schiminovich, D.; Morrissey, P.; Friedman, P. G.; Barlow, T. A.; Conrow, T.; Grange, R.; Jelinsky, P. N.; Milliard, B.; Siegmund, O. H. W.; Bianchi, L.; Byun, Y.-I.; Donas, J.; Forster, K.; Heckman, T. M.; Lee, Y.-W.; Madore, B. F.; Malina, R. F.; Neff, S. G.; Rich, R. M.; Small, T.; Surber, F.; Szalay, A. S.; Welsh, B.; Wyder, T. K. The Galaxy Evolution Explorer: A Space Ultraviolet Survey Mission. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 619, n. 1, p. L1–L6, Jan 2005. 31

Martin, D. C.; Matuszewski, M.; Morrissey, P.; Neill, J. D.; Moore, A.; Cantalupo, S.; Prochaska, J. X.; Chang, D. A giant protogalactic disk linked to the cosmic web. **Nature**, v. 524, n. 7564, p. 192–195, Aug 2015. 68

Mau, S.; Cerny, W.; Pace, A. B.; Choi, Y.; Drlica-Wagner, A.; Santana-Silva, L.; Riley, A. H.; Erkal, D.; Stringfellow, G. S.; Adamów, M.; Carlin, J. L.; Gruendl, R. A.; Hernandez-Lang, D.; Kuropatkin, N.; Li, T. S.; Martínez-Vázquez, C. E.; Morganson, E.; Mutlu-Pakdil, B.; Neilsen, E. H.; Nidever, D. L.; Olsen, K. A. G.; Sand, D. J.; Tollerud, E. J.; Tucker, D. L.; Yanny, B.; Zenteno, A.; Allam, S.; Barkhouse, W. A.; Bechtol, K.; Bell, E. F.; Balaji, P.; Crnojević, D.; Esteves, J.; Ferguson, P. S.; Gallart, C.; Hughes, A. K.; James, D. J.; Jethwa, P.; Johnson, L. C.; Kuehn, K.; Majewski, S.; Mao, Y. Y.; Massana, P.; McNanna, M.; Monachesi, A.; Nadler, E. O.; Noël, N. E. D.; Palmese, A.; Paz-Chinchon, F.; Pieres, A.; Sanchez, J.; Shipp, N.; Simon, J. D.; Soares-Santos, M.; Tavangar, K.; van der Marel, R. P.; Vivas, A. K.; Walker, A. R.; Wechsler, R. H. Two Ultra-faint Milky Way Stellar Systems Discovered in Early Data from the DECam Local

Volume Exploration Survey. **Astrophysical Journal**, v. 890, n. 2, p. 136, fev. 2020. 39, 77

Mau, S.; Drlica-Wagner, A.; Bechtol, K.; Pace, A. B.; Li, T.; Soares-Santos, M.; Kuropatkin, N.; Allam, S.; Tucker, D.; Santana-Silva, L.; Yanny, B.; Jethwa, P.; Palmese, A.; Vivas, K.; Burgad, C.; Chen, H. Y.; BLISS Collaboration. A Faint Halo Star Cluster Discovered in the Blanco Imaging of the Southern Sky Survey. **Astrophysical Journal**, v. 875, n. 2, p. 154, Apr 2019. 39, 73, 77

McLure, R. J.; Dunlop, J. S.; de Ravel, L.; Cirasuolo, M.; Ellis, R. S.; Schenker, M.; Robertson, B. E.; Koekemoer, A. M.; Stark, D. P.; Bowler, R. A. A. A robust sample of galaxies at redshifts 6.0<math>z</math>8.7: stellar populations, star formation rates and stellar masses. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 418, n. 3, p. 2074–2105, Dec 2011. 18

Mitchell, P. D.; Lacey, C. G.; Baugh, C. M.; Cole, S. How well can we really estimate the stellar masses of galaxies from broad-band photometry? **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 435, n. 1, p. 87–114, Oct 2013. 44, 62

Molino, A.; Benítez, N.; Moles, M.; Fernández-Soto, A.; Cristóbal-Hornillos, D.; Ascaso, B.; Jiménez-Teja, Y.; Schoenell, W.; Arnalte-Mur, P.; Pović, M.; Coe, D.; López-Sanjuan, C.; Díaz-García, L. A.; Varela, J.; Stefanon, M.; Cenarro, J.; Matute, I.; Masegosa, J.; Márquez, I.; Perea, J.; Del Olmo, A.; Husillos, C.; Alfaro, E.; Aparicio-Villegas, T.; Cerviño, M.; Huertas-Company, M.; Aguerri, J. A. L.; Broadhurst, T.; Cabrera-Caño, J.; Cepa, J.; González, R. M.; Infante, L.; Martínez, V. J.; Prada, F.; Quintana, J. M. The ALHAMBRA Survey: Bayesian photometric redshifts with 23 bands for 3 deg. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 441, n. 4, p. 2891–2922, Jul 2014. 46

Molino, A.; Costa-Duarte, M. V.; Sampedro, L.; Herpich, F. R.; Sodré L., J.; Mendes de Oliveira, C.; Schoenell, W.; Barbosa, C. E.; Queiroz, C.; Lima, E. V. R.; Azanha, L.; Muñoz-Elgueta, N.; Ribeiro, T.; Kanaan, A.; Hernandez-Jimenez, J. A.; Cortesi, A.; Akras, S.; Lopes de Oliveira, R.; Torres-Flores, S.; Lima-Dias, C.; Nilo Castellon, J. L.; Damke, G.; Alvarez-Candal, A.; Jiménez-Teja, Y.; Coelho, P.; Pereira, E.; Montero-Dorta, A. D.; Benítez, N.; Gonçalves, T. S.; Santana-Silva, L.; Werner, S. V.; Almeida, L. A.; Lopes, P. A. A.; Chies-Santos, A. L.; Telles, E.; de Souza, T.; C., R.; Gonçalves, D. R.; de Souza, R. S.; Makler, M.; Placco, V. M.; Nakazono, L. M. I.; Saito, R. K.; Overzier, R. A.;

Abramo, L. R. Assessing the photometric redshift precision of the S-PLUS survey: the Stripe-82 as a test-case. **arXiv e-prints**, p. arXiv:1907.06315, Jul 2019. [44](#)

Morganson, E.; Gruendl, R. A.; Menanteau, F.; Carrasco Kind, M.; Chen, Y. C.; Daues, G.; Drlica-Wagner, A.; Friedel, D. N.; Gower, M.; Johnson, M. W. G.; Johnson, M. D.; Kessler, R.; Paz-Chinchón, F.; Petravick, D.; Pond, C.; Yanny, B.; Allam, S.; Armstrong, R.; Barkhouse, W.; Bechtol, K.; Benoit-Lévy, A.; Bernstein, G. M.; Bertin, E.; Buckley-Geer, E.; Covarrubias, R.; Desai, S.; Diehl, H. T.; Goldstein, D. A.; Gruen, D.; Li, T. S.; Lin, H.; Marriner, J.; Mohr, J. J.; Neilsen, E.; Ngeow, C. C.; Paech, K.; Rykoff, E. S.; Sako, M.; Sevilla-Noarbe, I.; Sheldon, E.; Sobreira, F.; Tucker, D. L.; Wester, W.; DES Collaboration. The Dark Energy Survey Image Processing Pipeline. **Publications of the ASP**, v. 130, n. 989, p. 074501, Jul 2018. [39](#)

Muldrew, S. I.; Croton, D. J.; Skibba, R. A.; Pearce, F. R.; Ann, H. B.; Baldry, I. K.; Brough, S.; Choi, Y.-Y.; Conselice, C. J.; Cowan, N. B.; Gallazzi, A.; Gray, M. E.; Grützbauch, R.; Li, I. H.; Park, C.; Pilipenko, S. V.; Podgorzec, B. J.; Robotham, A. S. G.; Wilman, D. J.; Yang, X.; Zhang, Y.; Zibetti, S. Measures of galaxy environment - I. What is 'environment'? **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 419, n. 3, p. 2670–2682, Jan 2012. [50](#)

Nevin; R.; Blecha; L.; Comerford; J.; Greene; J. Accurate Identification of Galaxy Mergers with Imaging. **arXiv e-prints**, p. arXiv:1901.01975, Jan 2019. [15](#), [60](#)

Noeske, K. G.; Weiner, B. J.; Faber, S. M.; Papovich, C.; Koo, D. C.; Somerville, R. S.; Bundy, K.; Conselice, C. J.; Newman, J. A.; Schiminovich, D.; Le Floch, E.; Coil, A. L.; Rieke, G. H.; Lotz, J. M.; Primack, J. R.; Barmby, P.; Cooper, M. C.; Davis, M.; Ellis, R. S.; Fazio, G. G.; Guhathakurta, P.; Huang, J.; Kassin, S. A.; Martin, D. C.; Phillips, A. C.; Rich, R. M.; Small, T. A.; Willmer, C. N. A.; Wilson, G. Star Formation in AEGIS Field Galaxies since  $z=1.1$ : The Dominance of Gradually Declining Star Formation, and the Main Sequence of Star-forming Galaxies. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 660, n. 1, p. L43–L46, May 2007. [18](#)

Overzier, R. A.; Heckman, T. M.; Schiminovich, D.; Basu-Zych, A.; Gonçalves, T.; Martin, D. C.; Rich, R. M. Morphologies of Local Lyman Break Galaxy Analogs. II. A Comparison with Galaxies at  $z \sim 2-4$  in ACS and WFC3 Images of the Hubble Ultra Deep Field. **Astrophysical Journal**, v. 710, n. 2, p. 979–991, Feb 2010. [23](#), [32](#), [36](#), [68](#)

Overzier, R. A.; Heckman, T. M.; Tremonti, C.; Armus, L.; Basu-Zych, A.; Gonçalves, T.; Rich, R. M.; Martin, D. C.; Ptak, A.; Schiminovich, D.; Ford, H. C.; Madore, B.; Seibert, M. Local Lyman Break Galaxy Analogs: The Impact of Massive Star-Forming Clumps on the Interstellar Medium and the Global Structure of Young, Forming Galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 706, n. 1, p. 203–222, Nov 2009. [xiii](#), [23](#), [28](#), [32](#), [33](#), [35](#), [36](#), [38](#), [61](#), [64](#), [70](#), [71](#), [88](#)

Paccagnella, A.; Vulcani, B.; Poggianti, B. M.; Moretti, A.; Fritz, J.; Gullieuszik, M.; Couch, W.; Bettoni, D.; Cava, A.; D’Onofrio, M.; Fasano, G. Slow Quenching of Star Formation in OMEGAWINGS Clusters: Galaxies in Transition in the Local Universe. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 816, n. 2, p. L25, Jan 2016. [13](#), [14](#)

Palmese, A.; Soares-Santos, M.; Santana-Silva, L.; Drlica-Wagner, A.; Herner, K.; Morgan, R. LIGO/Virgo S190425z: Potential host galaxy of UVOT candidate counterpart found in BLISS. **GRB Coordinates Network**, v. 24312, p. 1, jan. 2019. [81](#)

Papovich, C.; Kawinwanichakij, L.; Quadri, R. F.; Glazebrook, K.; Labbé, I.; Tran, K.-V. H.; Forrest, B.; Kacprzak, G. G.; Spitler, L. R.; Straatman, C. M. S.; Tomczak, A. R. The Effects of Environment on the Evolution of the Galaxy Stellar Mass Function. **Astrophysical Journal**, v. 854, n. 1, p. 30, fev. 2018. [27](#)

Patel, S. G.; Holden, B. P.; Kelson, D. D.; Illingworth, G. D.; Franx, M. The Dependence of Star Formation Rates on Stellar Mass and Environment at  $z \sim 0.8$ . **Astrophysical Journal, Letters**, v. 705, n. 1, p. L67–L70, Nov 2009. [8](#)

Pearson, W. J.; Wang, L.; Alpaslan, M.; Baldry, I.; Bilicki, M.; Brown, M. J. I.; Grootes, M. W.; Holwerda, B. W.; Kitching, T. D.; Kruk, S.; van der Tak, F. F. S. Effect of galaxy mergers on star-formation rates. **Astronomy and Astrophysics**, v. 631, p. A51, Nov 2019. [15](#), [60](#)

Peng, Y.; Maiolino, R.; Cochrane, R. Strangulation as the primary mechanism for shutting down star formation in galaxies. **Nature**, v. 521, n. 7551, p. 192–195, May 2015. [13](#)

Peng, Y.-j.; Lilly, S. J.; Kovač, K.; Bolzonella, M.; Pozzetti, L.; Renzini, A.; Zamorani, G.; Ilbert, O.; Knobel, C.; Iovino, A.; Maier, C.; Cucciati, O.; Tasca, L.; Carollo, C. M.; Silverman, J.; Kampezyk, P.; de Ravel, L.; Sanders, D.; Scoville, N.; Contini, T.; Mainieri, V.; Scodreggio, M.; Kneib, J.-P.; Le Fèvre, O.; Bardelli, S.; Bongiorno, A.; Caputi, K.; Coppa, G.; de la Torre, S.; Franzetti, P.; Garilli, B.; Lamareille, F.; Le Borgne, J.-F.; Le Brun, V.; Mignoli, M.; Perez Montero, E.;

Pello, R.; Ricciardelli, E.; Tanaka, M.; Tresse, L.; Vergani, D.; Welikala, N.; Zucca, E.; Oesch, P.; Abbas, U.; Barnes, L.; Bordoloi, R.; Bottini, D.; Cappi, A.; Cassata, P.; Cimatti, A.; Fumana, M.; Hasinger, G.; Koekemoer, A.; Leauthaud, A.; Maccagni, D.; Marinoni, C.; McCracken, H.; Memeo, P.; Meneux, B.; Nair, P.; Porciani, C.; Presotto, V.; Scaramella, R. Mass and Environment as Drivers of Galaxy Evolution in SDSS and zCOSMOS and the Origin of the Schechter Function. **Astrophysical Journal**, v. 721, n. 1, p. 193–221, Sep 2010. 51

Polletta, M.; Tajer, M.; Maraschi, L.; Trinchieri, G.; Lonsdale, C. J.; Chiappetti, L.; Andreon, S.; Pierre, M.; Le Fèvre, O.; Zamorani, G.; Maccagni, D.; Garcet, O.; Surdej, J.; Franceschini, A.; Alloin, D.; Shupe, D. L.; Surace, J. A.; Fang, F.; Rowan-Robinson, M.; Smith, H. E.; Tresse, L. Spectral Energy Distributions of Hard X-Ray Selected Active Galactic Nuclei in the XMM-Newton Medium Deep Survey. **Astrophysical Journal**, v. 663, n. 1, p. 81–102, Jul 2007. 44

Popesso, P.; Rodighiero, G.; Saintonge, A.; Santini, P.; Grazian, A.; Lutz, D.; Brusa, M.; Altieri, B.; Andreani, P.; Aussel, H.; Berta, S.; Bongiovanni, A.; Cava, A.; Cepa, J.; Cimatti, A.; Daddi, E.; Dominguez, H.; Elbaz, D.; Förster Schreiber, N.; Genzel, R.; Gruppioni, C.; Magdis, G.; Maiolino, R.; Magnelli, B.; Nordon, R.; Pérez García, A. M.; Poglitsch, A.; Pozzi, F.; Riguccini, L.; Sanchez-Portal, M.; Shao, L.; Sturm, E.; Tacconi, L.; Valtchanov, I.; Wierprecht, E.; Wetzstein, M. The effect of environment on star forming galaxies at redshift. I. First insight from PACS. **Astronomy and Astrophysics**, v. 532, p. A145, ago. 2011. 27

Postman, M.; Franx, M.; Cross, N. J. G.; Holden, B.; Ford, H. C.; Illingworth, G. D.; Goto, T.; Demarco, R.; Rosati, P.; Blakeslee, J. P.; Tran, K. V.; Benítez, N.; Clampin, M.; Hartig, G. F.; Homeier, N.; Ardila, D. R.; Bartko, F.; Bouwens, R. J.; Bradley, L. D.; Broadhurst, T. J.; Brown, R. A.; Burrows, C. J.; Cheng, E. S.; Feldman, P. D.; Golimowski, D. A.; Gronwall, C.; Infante, L.; Kimble, R. A.; Krist, J. E.; Lesser, M. P.; Martel, A. R.; Mei, S.; Menanteau, F.; Meurer, G. R.; Miley, G. K.; Motta, V.; Sirianni, M.; Sparks, W. B.; Tran, H. D.; Tsvetanov, Z. I.; White, R. L.; Zheng, W. The Morphology-Density Relation in  $z \sim 1$  Clusters. **Astrophysical Journal**, v. 623, n. 2, p. 721–741, abr. 2005. 8

Press, W. H.; Schechter, P. Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation. **Astrophysical Journal**, v. 187, p. 425–438, Feb 1974. 2

Robertson, B.; Bullock, J. S.; Cox, T. J.; Di Matteo, T.; Hernquist, L.; Springel, V.; Yoshida, N. A Merger-driven Scenario for Cosmological Disk Galaxy Formation. **Astrophysical Journal**, v. 645, n. 2, p. 986–1000, jul. 2006. 16

Sánchez, C.; Carrasco Kind, M.; Lin, H.; Miquel, R.; Abdalla, F. B.; Amara, A.; Banerji, M.; Bonnett, C.; Brunner, R.; Capozzi, D.; Carnero, A.; Castander, F. J.; da Costa, L. A. N.; Cunha, C.; Fausti, A.; Gerdes, D.; Greisel, N.; Gschwend, J.; Hartley, W.; Jouvel, S.; Lahav, O.; Lima, M.; Maia, M. A. G.; Martí, P.; Ogando, R. L. C.; Ostrovski, F.; Pellegrini, P.; Rau, M. M.; Sadeh, I.; Seitz, S.; Sevilla-Noarbe, I.; Sypniewski, A.; de Vicente, J.; Abbot, T.; Allam, S. S.; Atlee, D.; Bernstein, G.; Bernstein, J. P.; Buckley-Geer, E.; Burke, D.; Childress, M. J.; Davis, T.; DePoy, D. L.; Dey, A.; Desai, S.; Diehl, H. T.; Doel, P.; Estrada, J.; Evrard, A.; Fernández, E.; Finley, D.; Flaugher, B.; Frieman, J.; Gaztanaga, E.; Glazebrook, K.; Honscheid, K.; Kim, A.; Kuehn, K.; Kuropatkin, N.; Lidman, C.; Makler, M.; Marshall, J. L.; Nichol, R. C.; Roodman, A.; Sánchez, E.; Santiago, B. X.; Sako, M.; Scalzo, R.; Smith, R. C.; Swanson, M. E. C.; Tarle, G.; Thomas, D.; Tucker, D. L.; Uddin, S. A.; Valdés, F.; Walker, A.; Yuan, F.; Zuntz, J. Photometric redshift analysis in the Dark Energy Survey Science Verification data. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 445, n. 2, p. 1482–1506, dez. 2014. 87

Sanders, D. B.; Mirabel, I. F. Luminous Infrared Galaxies. **Annual Review of Astron and Astrophys**, v. 34, p. 749, jan. 1996. 15

Sarazin, C. L. X-ray emission from clusters of galaxies. **Reviews of Modern Physics**, v. 58, n. 1, p. 1–115, jan. 1986. 12

Sheth, K.; Regan, M.; Hinz, J. L.; Gil de Paz, A.; Menéndez-Delmestre, K.; Muñoz-Mateos, J.-C.; Seibert, M.; Kim, T.; Laurikainen, E.; Salo, H.; Gadotti, D. A.; Laine, J.; Mizusawa, T.; Armus, L.; Athanassoula, E.; Bosma, A.; Buta, R. J.; Capak, P.; Jarrett, T. H.; Elmegreen, D. M.; Elmegreen, B. G.; Knapen, J. H.; Koda, J.; Helou, G.; Ho, L. C.; Madore, B. F.; Masters, K. L.; Mobasher, B.; Ogle, P.; Peng, C. Y.; Schinnerer, E.; Surace, J. A.; Zaritsky, D.; Comerón, S.; de Swardt, B.; Meidt, S. E.; Kasliwal, M.; Aravena, M. The Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies (S4G). **Publications of the ASP**, v. 122, n. 898, p. 1397, dez. 2010. 84

Silva, A.; Marchesini, D.; Silverman, J. D.; Skelton, R.; Iono, D.; Martis, N.; Marsan, Z. C.; Tadaki, K.-i.; Brammer, G.; kartaltepe, J. Galaxy Mergers up to Z

&lt; 2.5. I. The Star Formation Properties of Merging Galaxies at Separations of 3-15 kpc. **Astrophysical Journal**, v. 868, n. 1, p. 46, Nov 2018. 15

Singh, A.; Gulati, M.; Bagla, J. S. Ram pressure stripping: an analytical approach. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 489, n. 4, p. 5582–5593, Nov 2019. 11

Soares-Santos, M.; Holz, D. E.; Annis, J.; Chornock, R.; Herner, K.; Berger, E.; Brout, D.; Chen, H. Y.; Kessler, R.; Sako, M.; Allam, S.; Tucker, D. L.; Butler, R. E.; Palmese, A.; Doctor, Z.; Diehl, H. T.; Frieman, J.; Yanny, B.; Lin, H.; Scolnic, D.; Cowperthwaite, P.; Neilsen, E.; Marriner, J.; Kuropatkin, N.; Hartley, W. G.; Paz-Chinchón, F.; Alexander, K. D.; Balbinot, E.; Blanchard, P.; Brown, D. A.; Carlin, J. L.; Conselice, C.; Cook, E. R.; Drlica-Wagner, A.; Drout, M. R.; Durret, F.; Eftekhari, T.; Farr, B.; Finley, D. A.; Foley, R. J.; Fong, W.; Fryer, C. L.; García-Bellido, J.; Gill, M. S. S.; Gruendl, R. A.; Hanna, C.; Kasen, D.; Li, T. S.; Lopes, P. A. A.; Lourenço, A. C. C.; Margutti, R.; Marshall, J. L.; Matheson, T.; Medina, G. E.; Metzger, B. D.; Muñoz, R. R.; Muir, J.; Nicholl, M.; Quataert, E.; Rest, A.; Sauseda, M.; Schlegel, D. J.; Secco, L. F.; Sobreira, F.; Stebbins, A.; Villar, V. A.; Vivas, K.; Walker, A. R.; Wester, W.; Williams, P. K. G.; Zenteno, A.; Zhang, Y.; Abbott, T. M. C.; Abdalla, F. B.; Banerji, M.; Bechtol, K.; Benoit-Lévy, A.; Bertin, E.; Brooks, D.; Buckley-Geer, E.; Burke, D. L.; Carnero Rosell, A.; Carrasco Kind, M.; Carretero, J.; Castander, F. J.; Croce, M.; Cunha, C. E.; D’Andrea, C. B.; da Costa, L. N.; Davis, C.; Desai, S.; Dietrich, J. P.; Doel, P.; Eifler, T. F.; Fernandez, E.; Flaugher, B.; Fosalba, P.; Gaztanaga, E.; Gerdes, D. W.; Giannantonio, T.; Goldstein, D. A.; Gruen, D.; Gschwend, J.; Gutierrez, G.; Honscheid, K.; Jain, B.; James, D. J.; Jeltama, T.; Johnson, M. W. G.; Johnson, M. D.; Kent, S.; Krause, E.; Kron, R.; Kuehn, K.; Kuhlmann, S.; Lahav, O.; Lima, M.; Maia, M. A. G.; March, M.; McMahon, R. G.; Menanteau, F.; Miquel, R.; Mohr, J. J.; Nichol, R. C.; Nord, B.; Ogando, R. L. C.; Petravick, D.; Plazas, A. A.; Romer, A. K.; Roodman, A.; Rykoff, E. S.; Sanchez, E.; Scarpine, V.; Schubnell, M.; Sevilla-Noarbe, I.; Smith, M.; Smith, R. C.; Suchyta, E.; Swanson, M. E. C.; Tarle, G.; Thomas, D.; Thomas, R. C.; Troxel, M. A.; Vikram, V.; Wechsler, R. H.; Weller, J.; Dark Energy Survey; Dark Energy Camera GW-EM Collaboration. The Electromagnetic Counterpart of the Binary Neutron Star Merger LIGO/Virgo GW170817. I. Discovery of the Optical Counterpart Using the Dark Energy Camera. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 848, n. 2, p. L16, Oct 2017. 73, 81

Sparre, M.; Hayward, C. C.; Springel, V.; Vogelsberger, M.; Genel, S.; Torrey, P.; Nelson, D.; Sijacki, D.; Hernquist, L. The star formation main sequence and stellar mass assembly of galaxies in the Illustris simulation. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 447, n. 4, p. 3548–3563, Mar 2015. 19

Springel, V.; White, S. D. M.; Jenkins, A.; Frenk, C. S.; Yoshida, N.; Gao, L.; Navarro, J.; Thacker, R.; Croton, D.; Helly, J.; Peacock, J. A.; Cole, S.; Thomas, P.; Couchman, H.; Evrard, A.; Colberg, J.; Pearce, F. Simulations of the formation, evolution and clustering of galaxies and quasars. **Nature**, v. 435, n. 7042, p. 629–636, Jun 2005. 3

Stanway, E. R.; Davies, L. J. M. Establishing an analogue population for the most distant galaxies. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 439, n. 3, p. 2474–2484, Apr 2014. 23

Stark, D. P.; Ellis, R. S.; Chiu, K.; Ouchi, M.; Bunker, A. Keck spectroscopy of faint  $3 < z < 7$  Lyman break galaxies - I. New constraints on cosmic reionization from the luminosity and redshift-dependent fraction of Lyman  $\alpha$  emission. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 408, n. 3, p. 1628–1648, Nov 2010. 23

Stark, D. P.; Schenker, M. A.; Ellis, R.; Robertson, B.; McLure, R.; Dunlop, J. Keck Spectroscopy of  $3 < z < 7$  Faint Lyman Break Galaxies: The Importance of Nebular Emission in Understanding the Specific Star Formation Rate and Stellar Mass Density. **Astrophysical Journal**, v. 763, n. 2, p. 129, Feb 2013. 23

Steidel, C. C.; Giavalisco, M.; Pettini, M.; Dickinson, M.; Adelberger, K. L. Spectroscopic Confirmation of a Population of Normal Star-forming Galaxies at Redshifts  $Z \approx 3$ . **Astrophysical Journal, Letters**, v. 462, p. L17, May 1996. 21

Steidel, C. C.; Hamilton, D. Deep Imaging of redshift QSO Fields Below the Lyman Limit. I. The Field of Q0000-263 and galaxies at  $Z= 3.4$ . **Astronomical Journal**, v. 104, p. 941, Sep 1992. 21

Steidel, C. C.; Rudie, G. C.; Strom, A. L.; Pettini, M.; Reddy, N. A.; Shapley, A. E.; Trainor, R. F.; Erb, D. K.; Turner, M. L.; Konidaris, N. P.; Kulas, K. R.; Mace, G.; Matthews, K.; McLean, I. S. Strong Nebular Line Ratios in the Spectra of  $z \sim 2-3$  Star Forming Galaxies: First Results from KBSS-MOSFIRE. **Astrophysical Journal**, v. 795, n. 2, p. 165, Nov 2014. 23, 24, 32

Taylor, E. N.; Hopkins, A. M.; Baldry, I. K.; Brown, M. J. I.; Driver, S. P.; Kelvin, L. S.; Hill, D. T.; Robotham, A. S. G.; Bland -Hawthorn, J.; Jones, D. H.; Sharp, R. G.; Thomas, D.; Liske, J.; Loveday, J.; Norberg, P.; Peacock, J. A.; Bamford, S. P.; Brough, S.; Colless, M.; Cameron, E.; Conselice, C. J.; Croom, S. M.; Frenk, C. S.; Gunawardhana, M.; Kuijken, K.; Nichol, R. C.; Parkinson, H. R.; Phillipps, S.; Pimblet, K. A.; Popescu, C. C.; Prescott, M.; Sutherland, W. J.; Tuffs, R. J.; van Kampen, E.; Wijesinghe, D. Galaxy And Mass Assembly (GAMA): stellar mass estimates. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 418, n. 3, p. 1587–1620, dez. 2011. [36](#)

Thomas, D.; Maraston, C.; Bender, R.; Mendes de Oliveira, C. The Epochs of Early-Type Galaxy Formation as a Function of Environment. **Astrophysical Journal**, v. 621, n. 2, p. 673–694, Mar 2005. [7](#)

Toomre, A. Mergers and Some Consequences. In: Tinsley, B. M.; Larson RICHARD B. GEHRET, D. C. (Ed.). **Evolution of Galaxies and Stellar Populations**. [S.l.: s.n.], 1977. p. 401. [10](#), [16](#)

Toomre, A.; Toomre, J. Model of the Encounter Between NGC 5194 and 5195. In: **Bulletin of the AAS**. [S.l.: s.n.], 1972. v. 4, p. 214. [10](#)

van der Wel, A.; Franx, M.; van Dokkum, P. G.; Skelton, R. E.; Momcheva, I. G.; Whitaker, K. E.; Brammer, G. B.; Bell, E. F.; Rix, H. W.; Wuyts, S.; Ferguson, H. C.; Holden, B. P.; Barro, G.; Koekemoer, A. M.; Chang, Y.-Y.; McGrath, E. J.; Häussler, B.; Dekel, A.; Behroozi, P.; Fumagalli, M.; Leja, J.; Lundgren, B. F.; Maseda, M. V.; Nelson, E. J.; Wake, D. A.; Patel, S. G.; Labbé, I.; Faber, S. M.; Grogin, N. A.; Kocevski, D. D. 3D-HST+CANDELS: The Evolution of the Galaxy Size-Mass Distribution since  $z = 3$ . **Astrophysical Journal**, v. 788, n. 1, p. 28, Jun 2014. [23](#)

Vogelsberger, M.; Genel, S.; Springel, V.; Torrey, P.; Sijacki, D.; Xu, D.; Snyder, G.; Bird, S.; Nelson, D.; Hernquist, L. Properties of galaxies reproduced by a hydrodynamic simulation. **Nature**, v. 509, n. 7499, p. 177–182, May 2014. [3](#)

Vulcani, B.; Poggianti, B. M.; Gullieuszik, M.; Moretti, A.; Tonnesen, S.; Jaffé, Y. L.; Fritz, J.; Fasano, G.; Bettoni, D. Enhanced Star Formation in Both Disks and Ram-pressure-stripped Tails of GASP Jellyfish Galaxies. **Astrophysical Journal, Letters**, v. 866, n. 2, p. L25, Oct 2018. [12](#)

Walcher, J.; Groves, B.; Budavári, T.; Dale, D. Fitting the integrated spectral energy distributions of galaxies. **Astrophysics and Space Science**, v. 331, p. 1–52, Jan 2011. 44, 62

Whitaker, K. E.; Franx, M.; Leja, J.; van Dokkum, P. G.; Henry, A.; Skelton, R. E.; Fumagalli, M.; Momcheva, I. G.; Brammer, G. B.; Labbé, I.; Nelson, E. J.; Rigby, J. R. Constraining the Low-mass Slope of the Star Formation Sequence at  $0.5 < z < 2.5$ . **Astrophysical Journal**, v. 795, n. 2, p. 104, Nov 2014. 18, 20

White, S. D. M.; Rees, M. J. Core condensation in heavy halos: a two-stage theory for galaxy formation and clustering. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 183, p. 341–358, May 1978. 2

Woo, J.; Dekel, A.; Faber, S. M.; Noeske, K.; Koo, D. C.; Gerke, B. F.; Cooper, M. C.; Salim, S.; Dutton, A. A.; Newman, J.; Weiner, B. J.; Bundy, K.; Willmer, C. N. A.; Davis, M.; Yan, R. Dependence of galaxy quenching on halo mass and distance from its centre. **Monthly Notices of The Royal Astronomical Society**, v. 428, n. 4, p. 3306–3326, Feb 2013. 8

York, D. G.; Adelman, J.; Anderson JOHN E., J.; Anderson, S. F.; Annis, J.; Bahcall, N. A.; Bakken, J. A.; Barkhouser, R.; Bastian, S.; Berman, E.; Boroski, W. N.; Bracker, S.; Briegel, C.; Briggs, J. W.; Brinkmann, J.; Brunner, R.; Burles, S.; Carey, L.; Carr, M. A.; Castander, F. J.; Chen, B.; Colestock, P. L.; Connolly, A. J.; Crocker, J. H.; Csabai, I.; Czarapata, P. C.; Davis, J. E.; Doi, M.; Dombeck, T.; Eisenstein, D.; Ellman, N.; Elms, B. R.; Evans, M. L.; Fan, X.; Federwitz, G. R.; Fiscelli, L.; Friedman, S.; Frieman, J. A.; Fukugita, M.; Gillespie, B.; Gunn, J. E.; Gurbani, V. K.; de Haas, E.; Haldeman, M.; Harris, F. H.; Hayes, J.; Heckman, T. M.; Hennessy, G. S.; Hindsley, R. B.; Holm, S.; Holmgren, D. J.; Huang, C.-h.; Hull, C.; Husby, D.; Ichikawa, S.-I.; Ichikawa, T.; Ivezić, Ž.; Kent, S.; Kim, R. S. J.; Kinney, E.; Klaene, M.; Kleinman, A. N.; Kleinman, S.; Knapp, G. R.; Korienek, J.; Kron, R. G.; Kunszt, P. Z.; Lamb, D. Q.; Lee, B.; Leger, R. F.; Limmongkol, S.; Lindenmeyer, C.; Long, D. C.; Loomis, C.; Loveday, J.; Lucinio, R.; Lupton, R. H.; MacKinnon, B.; Mannery, E. J.; Mantsch, P. M.; Margon, B.; McGehee, P.; McKay, T. A.; Meiksin, A.; Merelli, A.; Monet, D. G.; Munn, J. A.; Narayanan, V. K.; Nash, T.; Neilsen, E.; Neswold, R.; Newberg, H. J.; Nichol, R. C.; Nicinski, T.; Nonino, M.; Okada, N.; Okamura, S.; Ostriker, J. P.; Owen, R.; Pauls, A. G.; Peoples, J.; Peterson, R. L.; Petravick, D.; Pier, J. R.; Pope, A.; Pordes, R.; Prosapio, A.; Rechenmacher, R.; Quinn, T. R.; Richards, G. T.; Richmond, M. W.; Rivetta, C. H.; Rockosi, C. M.; Ruthmansdorfer, K.; Sand ford,

D.; Schlegel, D. J.; Schneider, D. P.; Sekiguchi, M.; Sergey, G.; Shimasaku, K.; Siegmund, W. A.; Smee, S.; Smith, J. A.; Snedden, S.; Stone, R.; Stoughton, C.; Strauss, M. A.; Stubbs, C.; SubbaRao, M.; Szalay, A. S.; Szapudi, I.; Szokoly, G. P.; Thakar, A. R.; Tremonti, C.; Tucker, D. L.; Uomoto, A.; Vanden Berk, D.; Vogeley, M. S.; Waddell, P.; Wang, S.-i.; Watanabe, M.; Weinberg, D. H.; Yanny, B.; Yasuda, N.; SDSS Collaboration. The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary. **Astronomical Journal**, v. 120, n. 3, p. 1579–1587, Sep 2000. [36](#), [41](#)

## APÊNDICE A - AJUSTE DE POPULAÇÕES ESTELARES EM LBAS

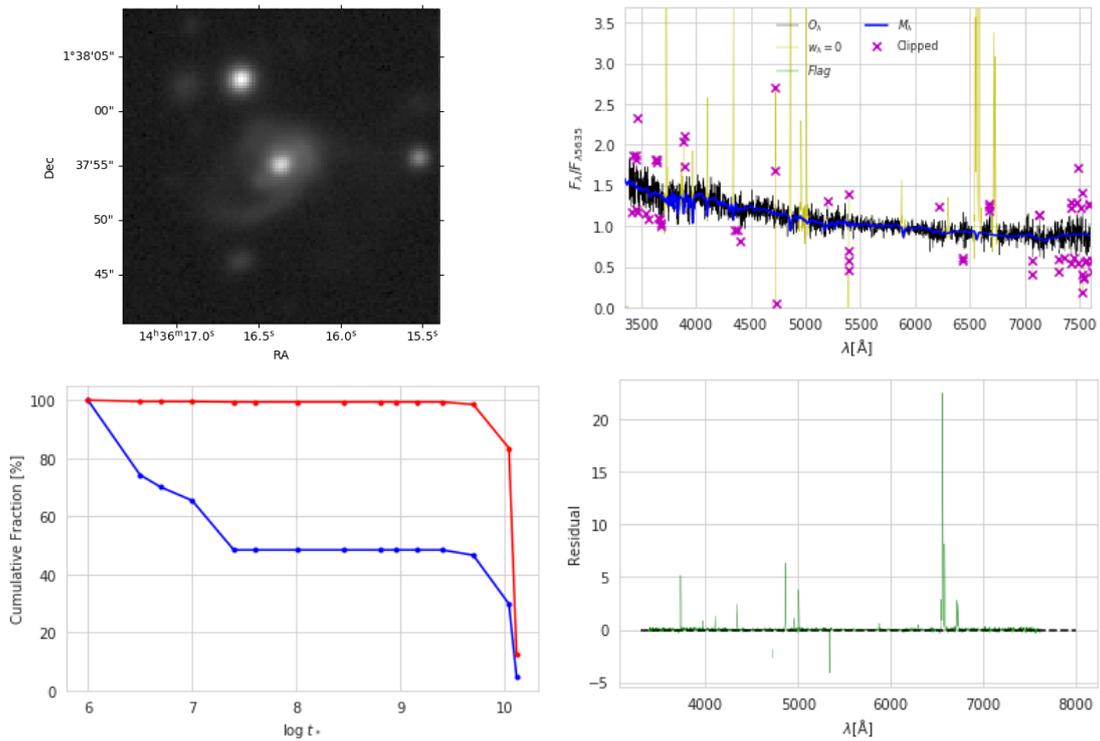


Figure A.1 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA218. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

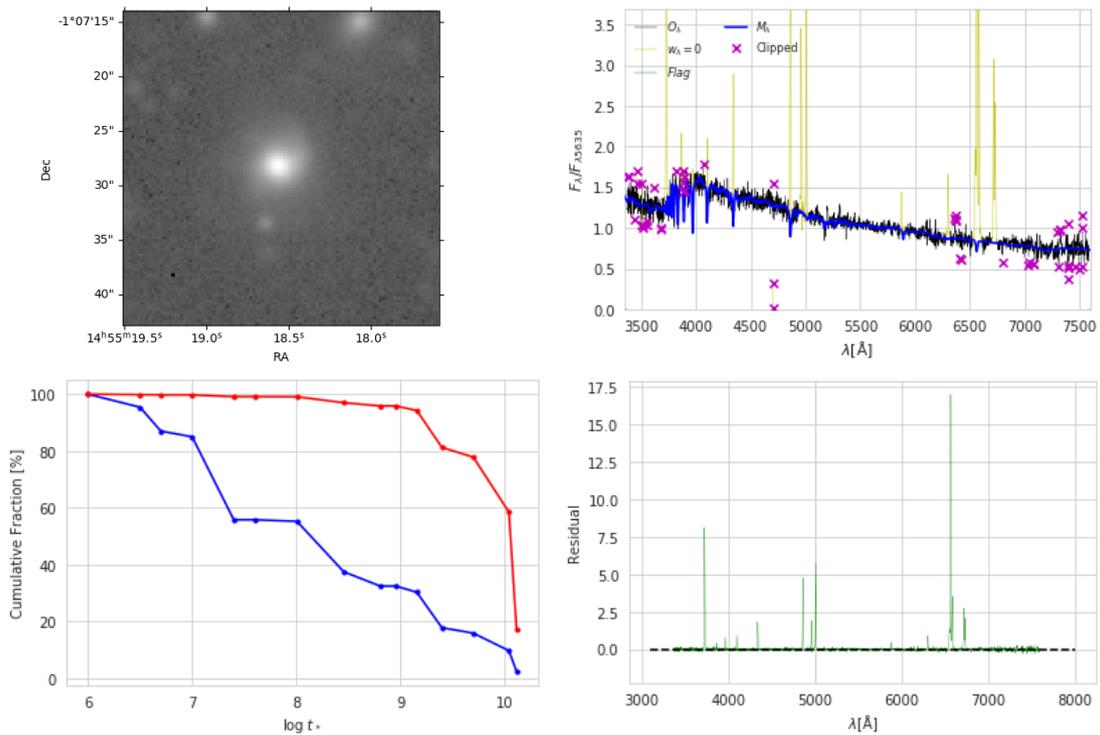


Figure A.2 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA223. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

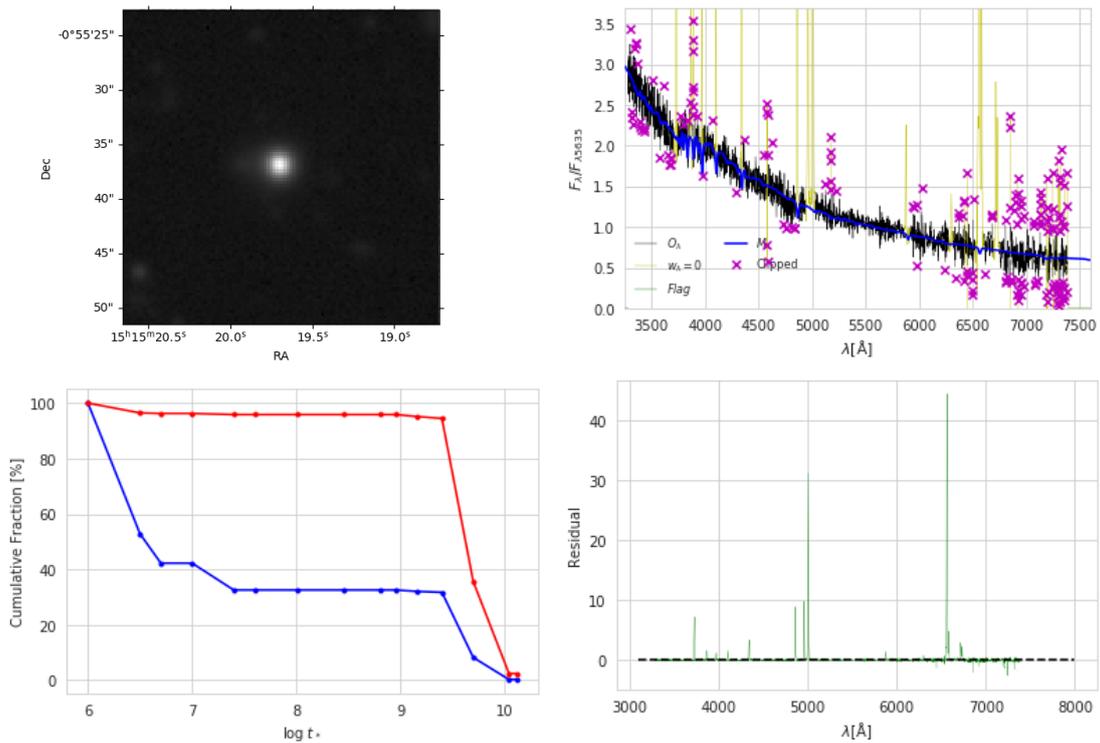


Figure A.3 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA228. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda *g*. A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

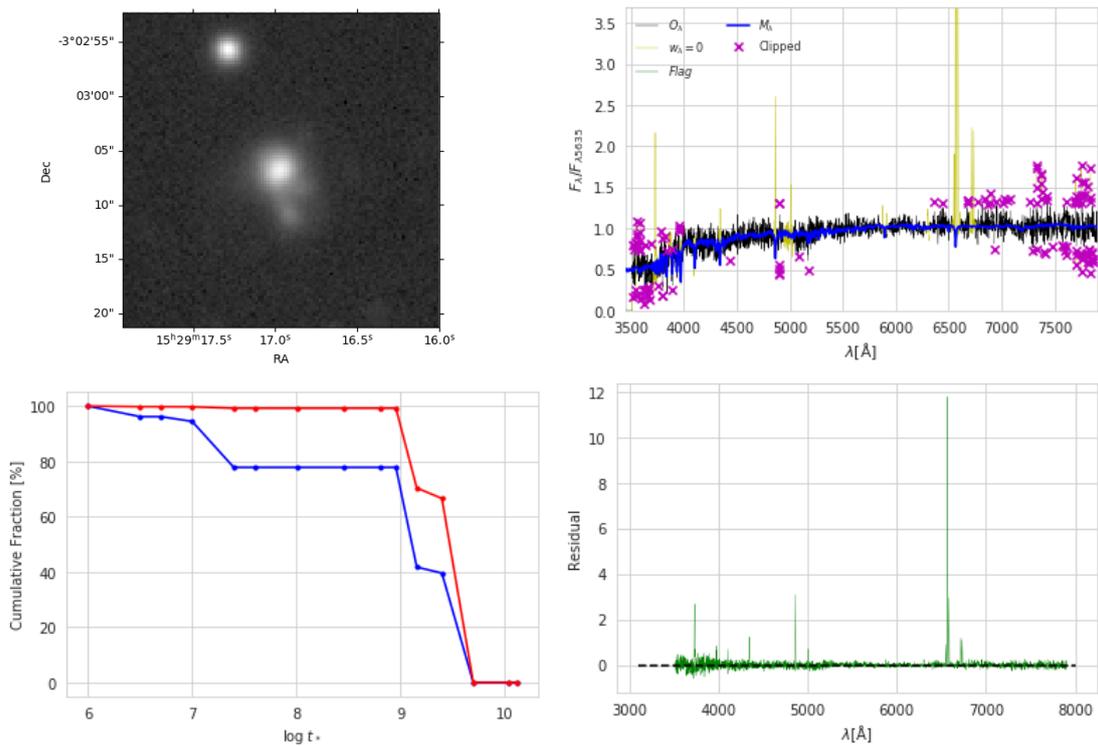


Figure A.4 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA231. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

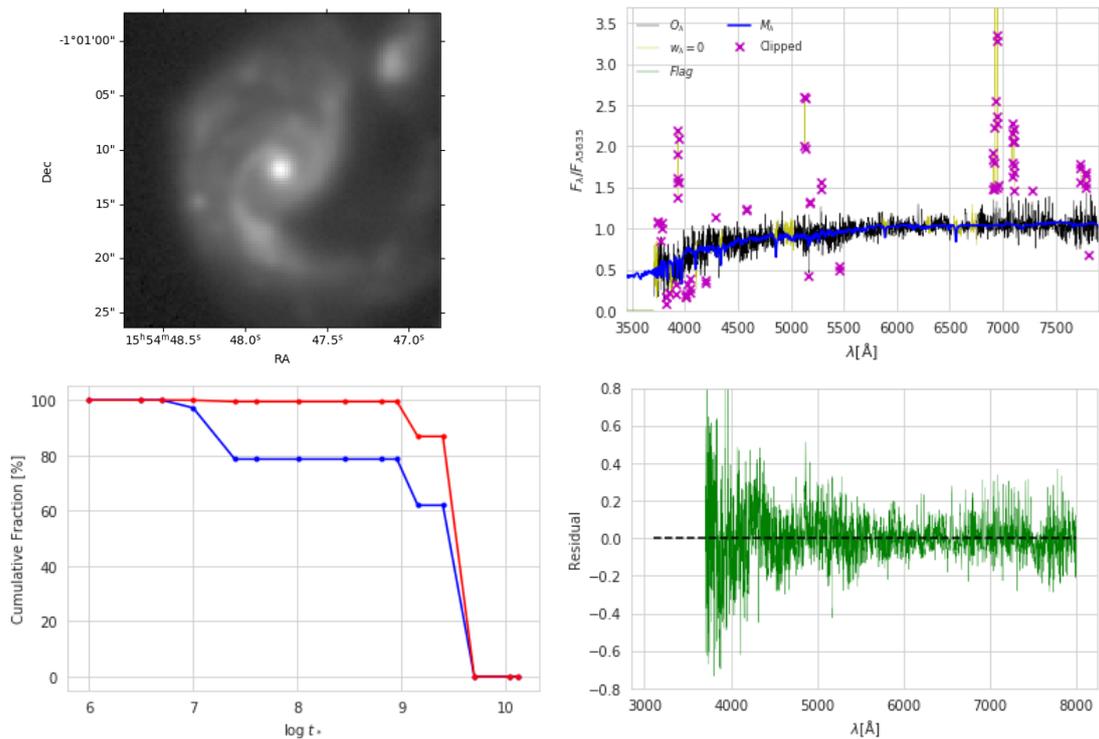


Figure A.5 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA238. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

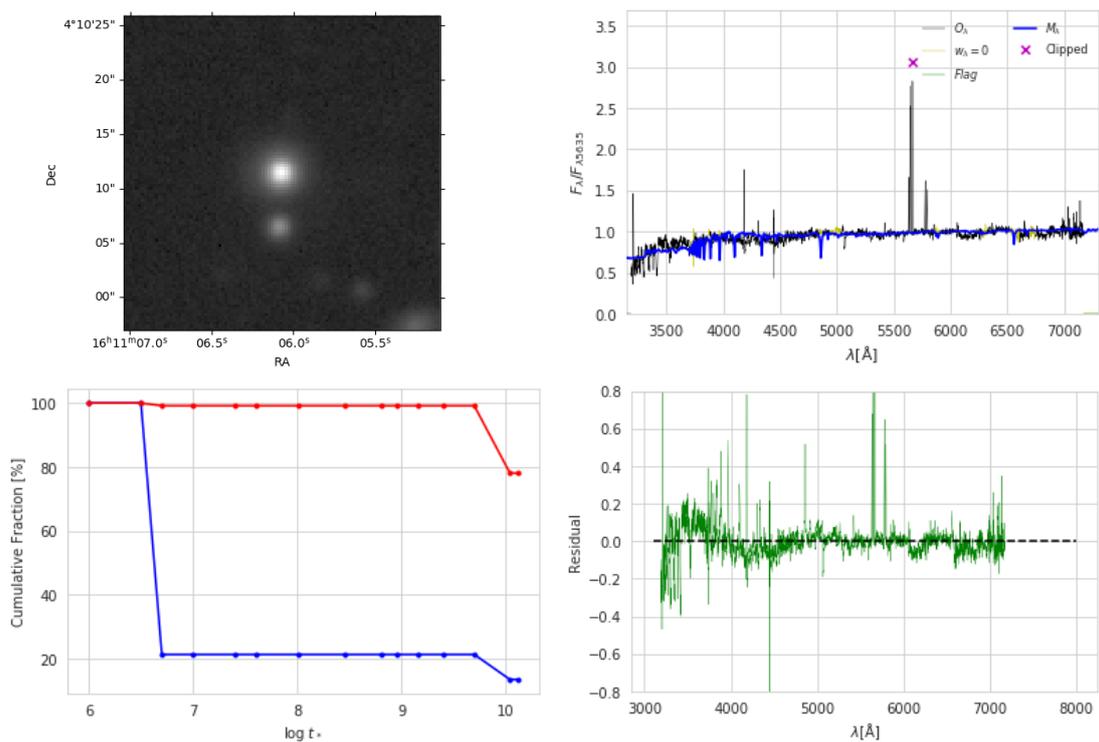


Figure A.6 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA242. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

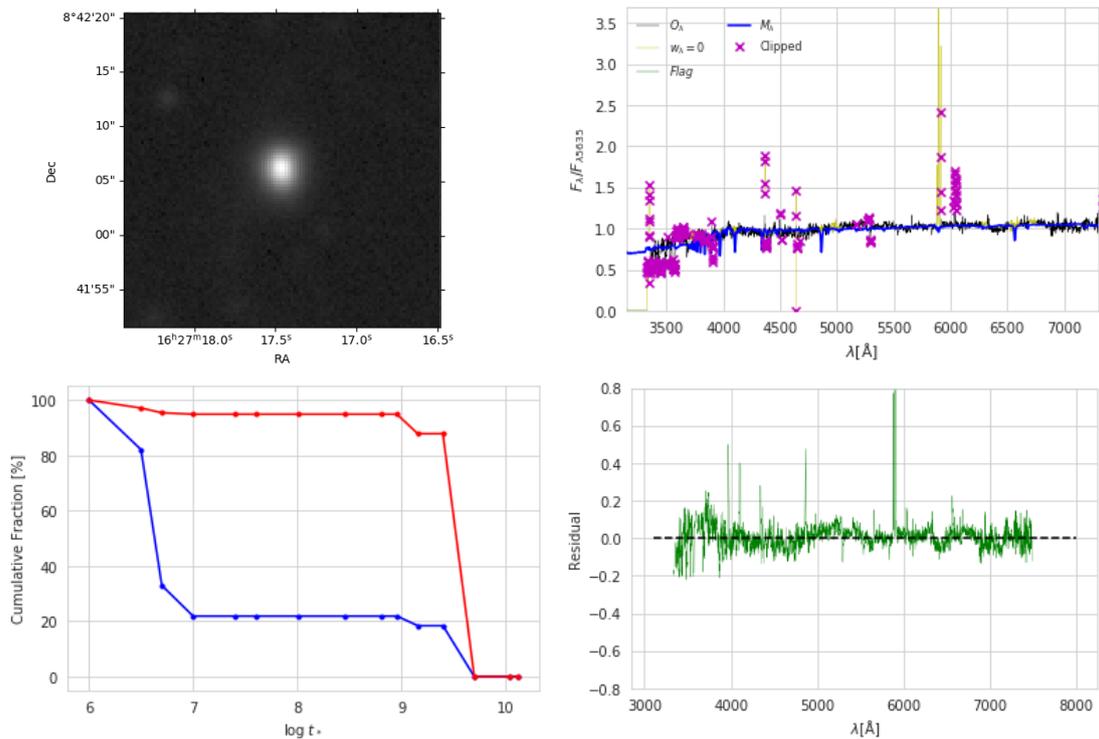


Figure A.7 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA246. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

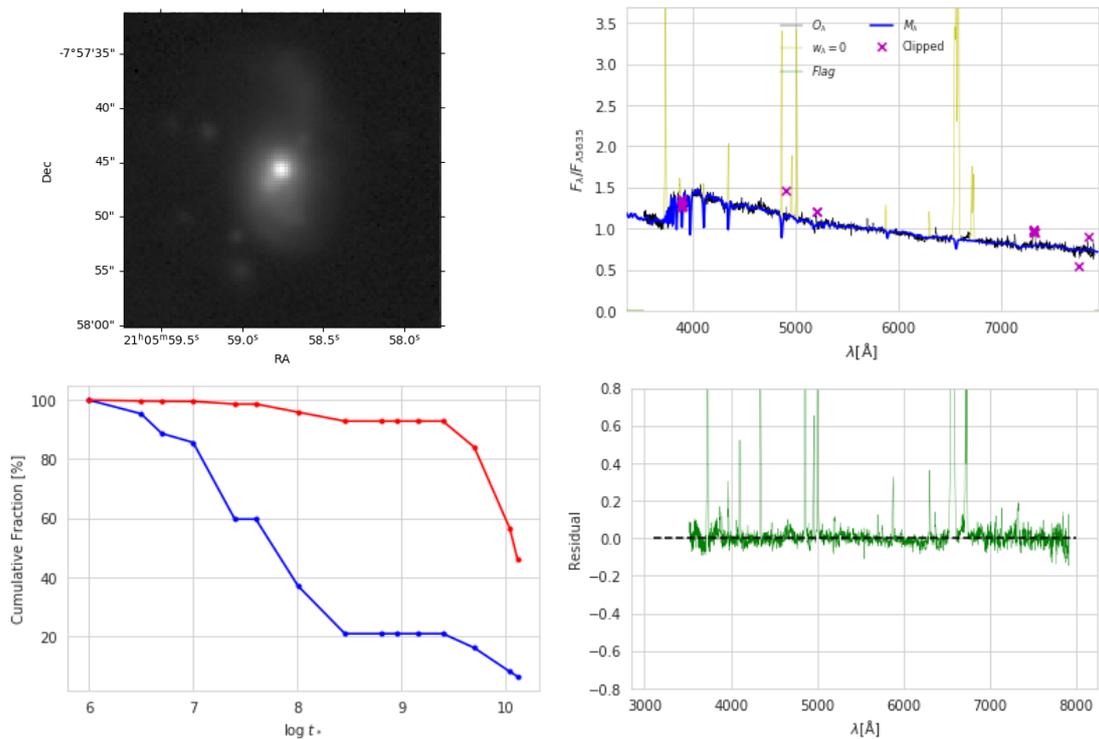


Figure A.8 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA315. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

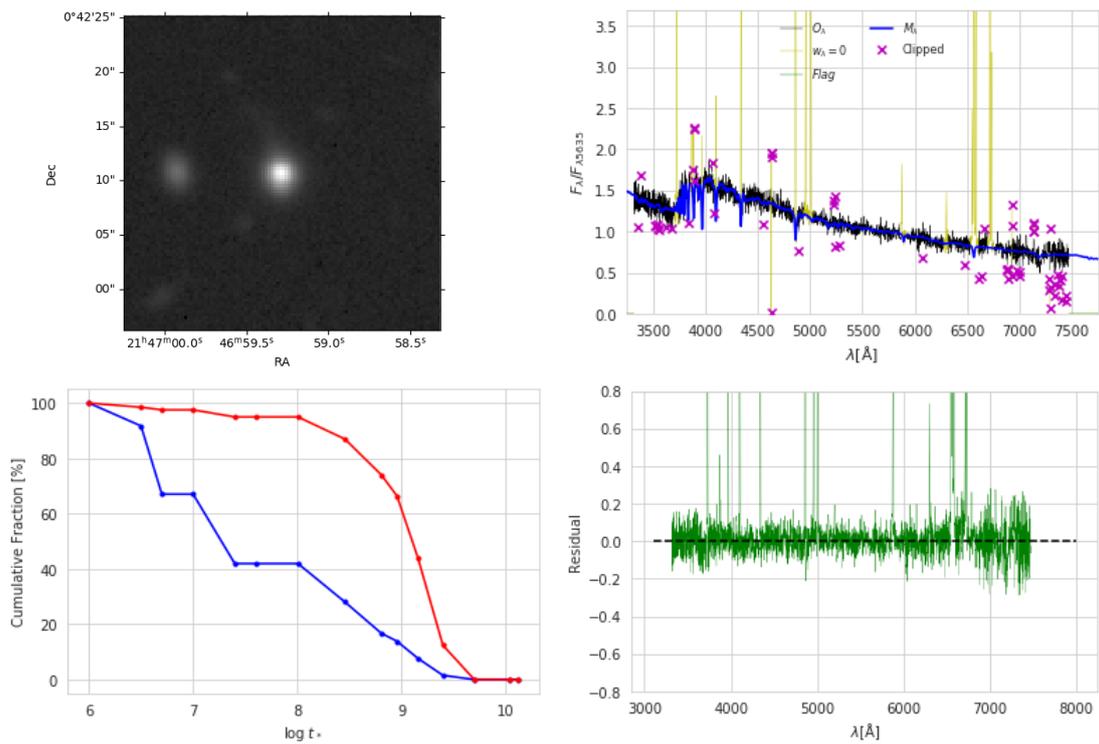


Figure A.9 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA326. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

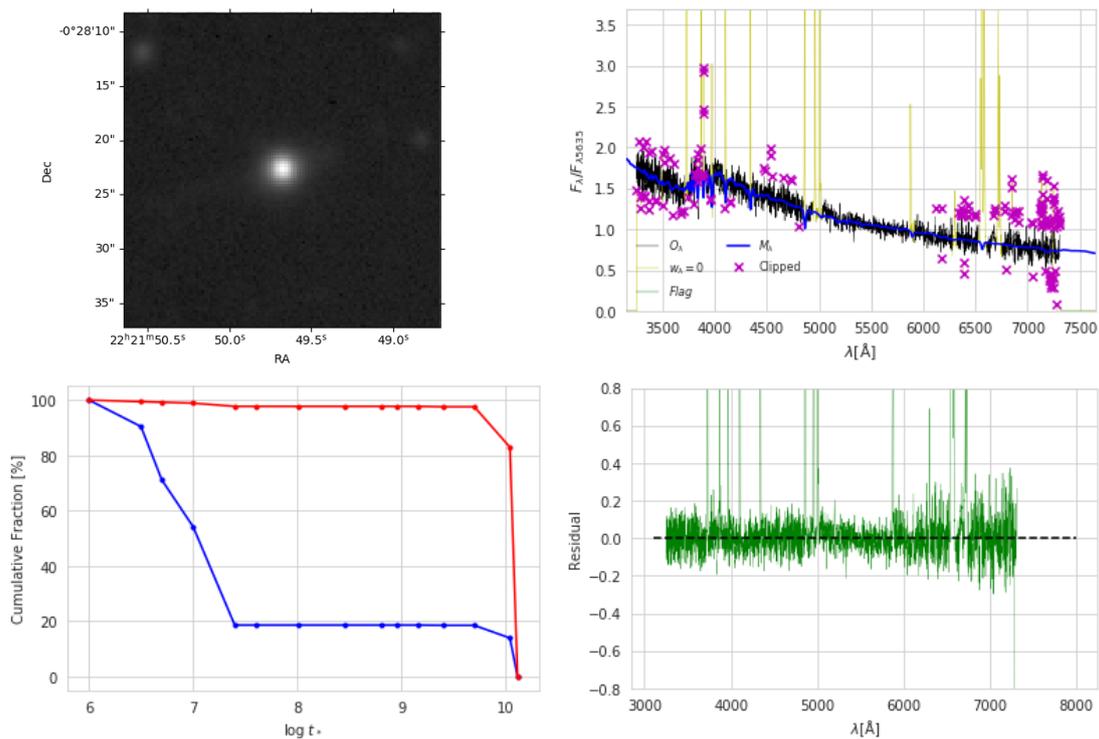


Figure A.10 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA334. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

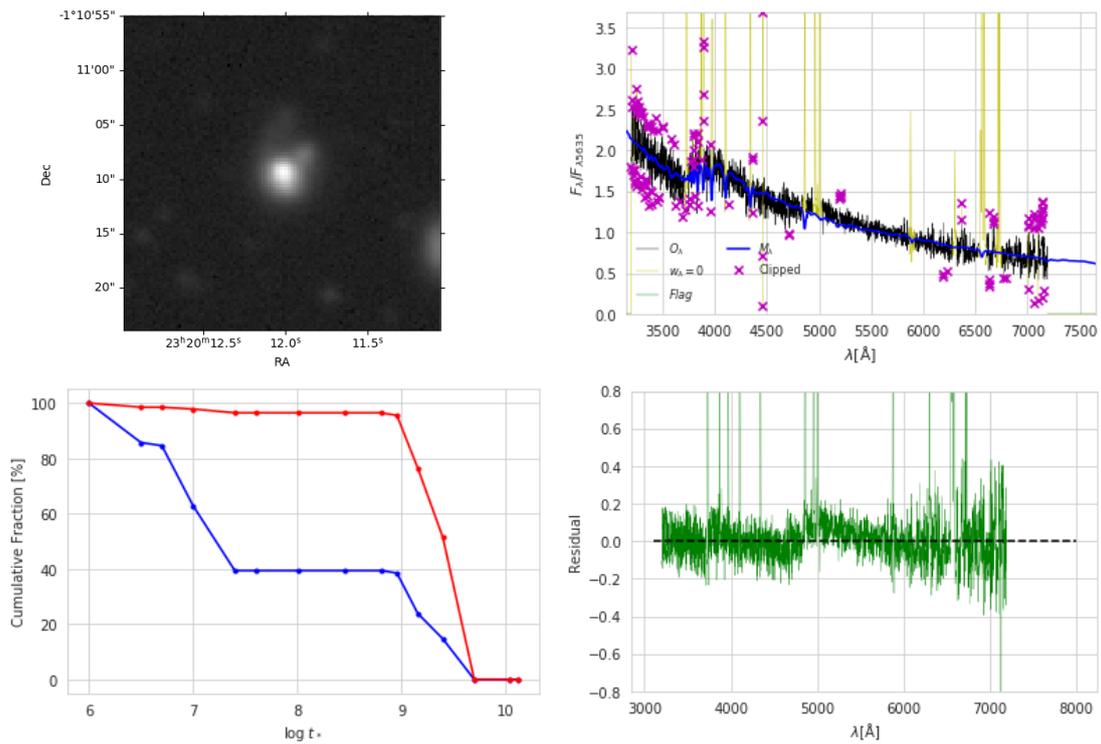


Figure A.11 - Os gráficos acima representam os resultados gerais obtidos para o ajuste de populações estelares da LBA349. A figura superior esquerda é a imagem da galáxia observada na banda  $g$ . A figura inferior esquerda representa a contribuição de cada uma das populações estelares consideradas no ajuste considerando seus pesos ponderados por luminosidade (azul) e massa (vermelho). A figura superior direita apresenta o ajuste das populações estelares (vermelho) ao espectro observado (preto) e amarelo representa as regiões do espectro que foram mascaradas.

## APÊNDICE B - PIPELINE PARA PRODUZIR IMAGENS COADD

### B.1 Versão da rotina para construir imagens coadd no ELBA survey

Essa é uma versão que encontra-se em progresso. Está rotina atualmente consegue realizar as tarefas de selecionar as melhores exposições no banco de dados do BLISS ou de qualquer outra base de dados abrigada nos servidores do Fermilab e que possuam imagens observadas na DECam.

Para utilizar essa rotina é necessária diversos arquivos auxiliares que permitem acessar o banco de dados e conseqüentemente os servidores do Fermilab. Por questões de segurança não é mostrado estes outros arquivos. Abaixo apresentamos os principais comandos feito em Python que são utilizados no processo de construção da imagens empilhadas. Nesse sentido, esta rotina consegue escolher as melhores imagens dentro do banco de dados a partir de uma seleção inicial delimitada em RA e DEC.

```
importos importmultiepoch.utilsasutils
```

```
abort_after_error = True
```

```
Thefilename filename = 'RXJ2248' filelist = '' try : EXECUTION_MODE =  
os.environ['ME_EXECUTION_MODE']print"Willrunwithenvironmentexcept :  
tofile/dryrun/executeEXECUTION_MODE = ' tofile'
```

```
CleanupfilesTrue/FalsecleanupPSFcats = FalsecleanupSWarp = False
```

```
This is the list of tasks we want to execute – comment as required jobs = [  
'multiepoch.tasks.create_custom_tileinfo', multiepoch.tasks.get_metadata_tile', multiepoch.tasks.get
```

```
SETTINGUPTHEOUTPUT, onlytiledirandlocal_archiveneedtobedefinedifnotutils.inDESARch
```

```
MULTIEPOCH_ROOT = os.path.join(os.environ['HOME'],'MULTIEPOCH_ROOT')local_archi
```

```
os.path.join(MULTIEPOCH_ROOT,'LOCAL_ARCHIVE')else :
```

```
MULTIEPOCH_ROOT = os.path.join('/cluster_scratch/users', os.environ['USER'],'MULTIEPC
```

```
os.path.join(MULTIEPOCH_ROOT,'TILEBUILDER',v0.3.4 + 0', filename)
```

```
GENERIC COMPUTATIONAL SETTINGS NTHREADS = 8 NCPU = 6 nthreads  
= NTHREADS
```

```
LOGGINGstdoutloglevel = 'DEBUG'fileloglevel = 'DEBUG'logfile =  
os.path.join(tiledir, filename + '_ull_pipeline.log')
```

## TASK SPECIFIC CONFIGURATION

1. `create_custom_tileinfo` – –Get the tile information from the table –  
 –unless provided `ra_center = 342.18448` `dec_center = -44.529918` `xsize = 43.833333333333336` `ysize = 43.833333333333336`

`coadd_tile_table = 'coadd_tile_geom'` `db_section = 'db - desoper'`

2. `get_me_inputs_tile` – –Get the CCDs and exposure catalogs inside the tile –  
 –unless provided `super_align = True` `dump_assoc = True` `dump_cats = True` `dump_assoc_meds = True` `use_scamp_cats = False` `search_type = 'distance'` `no_blacklist = True` `no_zeropoint = False` `zp_source = "FGCM"` `zp_version = "v2.0"` `tblacklist = "Y3A1_blacklist"`

*Additional examples – –not needed for Y3A1\_C OADD tags and extras =*  
`"exposure.EXPNUM = me.EXPNUM and exposure.PROGRAM = 'survey' AND"` `and_extras = and_extras + "exists(select Y3A1_blacklist Y3A1_blacklist where me.expnum and Y3A1_blacklist.ccdnum = me.ccdnum) AND"` `and_extras = and_extras + "proctag.TAG = 'Y3A1_C OADD TEST123' AND me.PFW_ATTEMPT_ID = proctag.PFW_ATTEMPT_ID AND"` `and_extras = and_extras + ".FLAG < 16 AND"` `from_extras = "exposure"` `from_extras = from_extras + ", proctag_cats"` `from_extras = from_extras + cats` `and_extras = and_extras`

2b. `Depth plot_depth = True` `plot_cds = True` `depth_fits = True` `depth_table = 'felipe.Y3A1_depth'` `depth_table_insert = True` `depth_table_clobber = False`

3. `get_fits_files` – –Retrieve the files, if not running on cosmology cluster (most cases) `http_section = 'http - desarchive'` `clobber_inputs = False` `execution_mode_transfer = EXECUTION_MODE`

4. `prepare_scamp_files` – –Prepare the input for `scamp MP_cats = N_CPU` `execution_mode_scamp_prep = EXECUTION_MODE`

5. `call_scamp` – –the call to `scamp execution_mode_scamp = EXECUTION_MODE` `scamp_conf =`

6. Prepare the head files `execution_mode_head = EXECUTION_MODE` `MP_head = 1`

7. `prepare_ed_files` – –Prepare single-epoch input for `coadd` (performs interpolation and null weights) `"nwgint"` `weight_for_mask = True` `clobber_me = True` `MP_me = N_CPU` `null_mask = 'BPM, BADAMP, EDGE BLEED, EDGE, CRAY, SSXTALK, STREAK, TRAIL'` `me_wgt_k_eepma`

*STAR'block\_size = 5execution\_mode\_red = EXECUTION\_MODE*

8. *call\_SWarp - -TheSWarpcallswarp\_parameters =*  
*"NTHREADS" : NTHREADS, "COMBINE\_TYPE" : "WEIGHTED", ADDthisline"SUBTRA*  
*"N"aboveinordertobuildcoaddforbrightsourcesmagbase = 30.0detname ='*  
*det'doBANDS = ['z','g','r','i']*

*COMBINE\_TYPE = "WEIGHTED"COMBINE\_TYPE\_detec = "CHI -*  
*MEAN"execution\_mode\_swarp = EXECUTION\_MODEdetecBANDS =*  
*['r','i','g']defaultswarp\_conf = /data/des71.a/data/luidhy/BLISS\_coad/default.swarp*

9.*call\_coad\_assemble--Combinethe3planesSCI/WGT/MSKintoasingleimage,interpolatetheSCIan*  
*10yblock = 3ydilate = 3mincols = 1maxcols = 100add\_noise =*  
*Falsekeep\_sci\_zeros = Falsecllobber\_MEF = Trueinterp\_image ='*  
*MSK'execution\_mode\_MEF = EXECUTION\_MODE*

10.*call\_stiff - -Createthecolorimagesusingstiffstiff\_parameters =*  
*"NTHREADS" : NTHREADS,execution\_mode\_stiff =*  
*EXECUTION\_MODEstiff\_conf =*

11. *call\_SExpsf - -maketheSExpsfCallMPSEx =*  
*NCPUexecution\_mode\_SExpsf = EXECUTION\_MODESExpsf\_conf*

12. *call\_psfex - -Runpsfexexecution\_mode\_psfex =*  
*EXECUTION\_MODEpsfex\_conf*

13. *call\_SExDual - -RunSExtractorundualmodeSExDual\_parameters =*  
*"DETECT\_TRESH" : 1.5, "MAG\_ZEROPOINT" : 30, "CHECKIMAGE\_TYPE" : ' APERTUR*  
*NCPUexecution\_mode\_SExDual = EXECUTION\_MODESExDual\_conf*

14.*call\_extinction\_xcorrname = ' xcorr'columns ='*  
*NUMBER, ALPHA WIN\_J2000, DELTA WIN\_J2000'execution\_mode\_extinction =*  
*EXECUTION\_MODE*

15. *call\_hpixhpixname = ' hpix'execution\_mode\_extinction = EXECUTION\_MODE*

16. *call\_mangleMP\_mangle = NCPUexecution\_mode\_mangle =*  
*EXECUTION\_MODE*

17. *call\_desmedsMP\_meds = NCPUexecution\_mode\_meds =*  
*EXECUTION\_MODEexecution\_mode\_meds = ' tofile'med\_files = False*