

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Maria Luiza Linhares Dantas

A Conexão entre a Síntese Espectral no Visível e a Emissão Ultravioleta das Galáxias

São Paulo

2015

Maria Luiza Linhares Dantas

A Conexão entre a Síntese Espectral no Visível e a Emissão Ultravioleta das Galáxias

Dissertação apresentada ao Departamento de
Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica
e Ciências Atmosféricas da Universidade de
São Paulo como requisito parcial para a ob-
tenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador(a): Prof. Dr. Laerte Sodré Jr.

São Paulo

2015

Dedico o presente trabalho a todas as mulheres que passam por dificuldades a fim de conquistar seus sonhos, especialmente àquelas que trabalham em pesquisa científica, pois, assim como muitas outras, é uma área dominada pela desigualdade de gênero.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram durante o desenvolvimento deste trabalho.
Em particular:

- Aos meus pais, Maria Magda Ribeiro Linhares e Josemar Toscano Dantas, pelo amor e suporte.
- A meu orientador, Prof. Dr. Laerte Sodré Jr., pela confiança que pôs em mim em realizar este trabalho.
- Ao meu querido colaborador, Dr. Marcus Vinicius Costa Duarte, pela imensa e inestimável ajuda dada durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho, sem a qual a conclusão do mesmo teria sido muito mais tortuosa - quiçá, impossível.
- Aos meus colaboradores, Prof^a. Dr^a. Duília de Mello e Dr. Walter dos Santos Jr. pela ajuda fornecida ao longo deste trabalho.
- Aos meus primeiros orientadores, durante minha Iniciação Científica, que me deram as primeiras oportunidades de aprender o que era pesquisa em Astrofísica: Profs. Drs. Zulema Abraham, Jacques Lépine e, especialmente, Roberto Ortiz.
- Aos meus queridos colegas que muito me ajudaram na elaboração deste trabalho: Dr. Bruno Corrêa Quint, Juan Carlos Basto Pineda e Carlos Eduardo Barbosa.
- À CAPES, pela verba fornecida a fim de que este trabalho fosse realizado.
- Ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo e, especialmente, ao Departamento de Astronomia pelo apoio.

- À Dr^a. Emille O. Ishida e ao Dr. Rafael S. de Souza, faço um especial agradecimento pelo imenso apoio dado durante este processo, além das oportunidades de pesquisa em conjunto que me proporcionam.
- A todos os meus amigos e colegas que me deram apoio durante a produção deste trabalho. Vocês sabem quem são.

*Nunca cometo o mesmo erro
duas vezes
já cometo duas três
quatro cinco seis
até esse erro aprender
que só o erro tem vez.*

Paulo Leminski

*Fallor ergo sum.
(Erro, logo existo.)*

Santo Agostinho

*I've missed more than 9000 shots in my career.
I've lost more than 300 games.
26 times I was trusted to take game winning shot and missed.
I've failed over and over and over again in my life.
That's why I succeed.*

Michael Jordan

Success is the ability to go from one failure to another with no loss of enthusiasm.

Winston Churchill

Resumo

Com a finalidade de comparar a emissão ultravioleta observada com a prevista pelo código de síntese espectral STARLIGHT utilizando espectros das bibliotecas de Populações Estelares Simples (SSPs) de Bruzual e Charlot (2003) como base espectral, selecionamos uma amostra de 999 galáxias, num intervalo de *redshift* de $0.05 \leq z < 0.075$, observadas pelo *Sloan Digital Sky Survey Data Release 7* e pelo satélite *Galaxy Evolution Explorer GALEX Release 7*.

Analizamos os dados fotométricos observados no óptico e no ultravioleta e encontramos uma forte correlação entre as cores no óptico (e.g. g-r) e a emissão ultravioleta. A partir da bimodalidade de cores no óptico, encontramos uma distribuição bimodal nos histogramas das cores (FUV-r) e (NUV-r) em acordo com trabalhos anteriores, o que, por outro lado, não ocorreu com a distribuição de (FUV-NUV). Além disso, nas distribuições de cores envolvendo o ultravioleta, notamos uma maior dispersão para as galáxias vermelhas no óptico ($g - r > 0.6$). Vários diagramas foram analisados, inclusive os de diagnóstico, como o BPT e o WHAN a fim de melhor caracterizar a nossa amostra.

Verificamos que não existem correlações entre a emissão ultravioleta das galáxias e os parâmetros extraídos da síntese espectral para os nossos objetos. Também comparamos os dados observacionais no ultravioleta com a extrapolação do espectro sintético para o mesmo intervalo de comprimento de onda. Encontramos uma grande diferença entre os fluxos observados e os sintéticos para toda a amostra, mas uma dispersão ainda maior para galáxias do tipo *Early-Type* (com valores maiores de D_n4000). Tais diferenças foram analisadas em detalhe para uma subamostra com relação às principais SSPs que influenciam a emissão no ultravioleta. Notamos que as SSPs que mais contribuem para a forte emissão no ultravioleta não são as mesmas que mais contribuem com a síntese dos objetos no óptico;

em geral, são populações muito jovens. Isso indica a necessidade de um possível ajuste na síntese para tratar melhor a região do ultravioleta.

Por fim, utilizamos o pacote AMADA, excelente para a visualização e diagnóstico de dados, a fim de reforçar a análise ao longo deste trabalho, ao colocarmos em prática ferramentas raramente usadas e até inéditas dentro do contexto astronômico, a fim de validar os resultados obtidos. Esta é, de fato, a primeira vez que um gráfico de cordas é usado em um contexto real astronômico.

Abstract

In order to compare the observed ultraviolet emission with the prediction provided by the spectral synthesis code STARLIGHT by using as spectral input the Simple Stellar Populations (SSPs) libraries by Bruzual & Charlot (2003), we have selected a sample of 999 galaxies within a redshift range of $0.05 \leq z < 0.075$ observed by *Sloan Digital Sky Survey Data Release 7* and by the *Galaxy Evolution Explorer* satellite *GALEX Release 7*.

We analysed the visible and ultraviolet observed photometric data and found strong correlation between the colors in the visible region (e.g. g-r) and the ultraviolet emission. From the bimodal color distribution in the visible region, we have found a bimodal distribution in the (FUV-r) and (NUV-r) color histograms, in agreement with the previous literature, which, on the other hand, did not appear in the (FUV-NUV) distribution. Additionally, we noticed in all the color distributions involving the ultraviolet a wider dispersion among galaxies that are red in the visible region ($g - r > 0.6$). With the goal of better characterizing the sample, several diagrams were analysed, including the diagnostic ones: BPT and WHAN.

We verified that there are no correlations between the emission in the ultraviolet for the galaxies and the parameters extracted from the spectral synthesis of our sample. Moreover, we have also compared the observational data in the ultraviolet with the extrapolated synthetic spectra within the same wavelength range. We found a great difference between the observed and synthetic fluxes for the entire sample, but with an even greater dispersion for Early-Type Galaxies (higher D_n4000). Furthermore, we performed a more detailed investigation regarding a subsample in terms of their main SSPs that influence the emission in the ultraviolet; the SSPs that contribute the most for the emission in the ultraviolet are not the same that contribute to the synthesis of these objects in the visible: these are

overall representative of very young populations. This indicates the need for a possible adjustment in the synthesis to better treat the ultraviolet region.

Last, but not least, we have also used the AMADA package, which is excellent for data visualization and diagnostics as a tool for reinforcing the analyses throughout this investigation, thus putting in practice rare and even unprecedented tools among the astronomical context, as way of validating the obtained results. This is actually the first time that the chord diagram is used in a real astronomical context.

Lista de Figuras

1.1	Opacidade atmosférica por comprimento de onda. Créditos: ESA/Hubble (F. Granato): http://www.eso.org/public/brazil/images/atm_opacity/	27
1.2	Projeção do céu em coordenadas equatoriais pelo sistema J2000, centrado nas coordenadas equatoriais $\alpha = 180^\circ$ e $\delta = 0^\circ$. Em verde há a região observada pelo SDSS; em azul é o GALEX AIS (<i>All Sky Imaging Survey</i>); e, em vermelho, é o GALEX MIS (<i>Medium Imaging Survey</i>). Créditos: Budavári et al. (2009).	30
1.3	Filtros combinados das bandas do GALEX (FUV e NUV em roxo e azul, respectivamente) e do SDSS (u, g, r, i, z em ciano, verde escuro, verde claro, amarelo e vermelho, respectivamente) para objetos extensos.	31
1.4	Exemplo de 45 SSPs usadas em uma síntese espectral com a biblioteca de Bruzual e Charlot (2003). Em cada uma das imagens na Figura acima, temos a estrutura das SSPs com diferentes idades e diferentes metalicidades em termos da metalicidade solar, Z_\odot . As idades das SSPs ilustradas decrescem conforme $\log L_\lambda$ cresce; ou seja, as mais jovens estão no topo dos diagramas, enquanto as mais velhas estão na base do mesmo. Créditos: Cid Fernandes et al. (2005).	32
2.1	Desenho meramente ilustrativo do tamanho da fibra do SDSS e de uma galáxia com perspectiva <i>face on</i> - ou seja, com suas dimensões principais voltadas para nossa linha de visada, ao invés de estar de perfil - ora com R_{90} totalmente inserido dentro dessa fibra, ora parcialmente inserido dentro dessa fibra.	37

2.2	Imagens do objeto de <i>ObjectID</i> do SDSS sob o número 588848899897688275. A imagem (a) é a imagem do SDSS e a imagem (b) é do GALEX. Ver o círculo na cor ciano mostra o mesmo objeto nas duas imagens.	38
2.3	Distribuição da correção de fibra para os objetos. O valor máximo da correção foi de 1457.59 e o mínimo de 1.0. A média dessa correção é de 30.58 e a mediana é de 5.08.	44
2.4	Apenas para caráter didático, temos duas figuras mostrando uma região famosa do céu noturno, Barnard 68, observada pelo <i>Very Large Telescope</i> em diferentes bandas. Na imagem à esquerda, temos a composição das observações nas bandas B, V e I (nos respectivos comprimentos de onda: $0.44\mu m$, $0.55\mu m$ e $0.90\mu m$); enquanto na imagem à direita, temos a composição das observações nas bandas B, I e K_S (nos respectivos comprimentos de onda: $0.44\mu m$, $0.55\mu m$ e $2.16\mu m$). Créditos: <i>European Southern Observatory</i> - ESO.	45
2.5	Curvas de extinção de três Leis de Extinção comparados: Seaton (1979), Cardelli et al. (1989) e Fitzpatrick (1999). Temos nesta figura a extinção interestelar normalizada para os intervalos de comprimento de onda do ultravioleta ao infravermelho distante. É preciso enfatizar que o valor de R_V para todos os modelos nesta figura é 3.1. Créditos da imagem: Fitzpatrick (1999).	48
2.6	Exemplos de escalonamento para diferentes galáxias da amostra, incluindo as dos tipos <i>Early-Type</i> e <i>Late-Type</i>	51
3.1	Histograma da distribuição de cor no óptico ($g-r$) e os ajustes individuais das distribuições azul e vermelha observadas.	54
3.2	Histograma da distribuição de cor no ultravioleta.	55
3.3	Histograma da cor no ultravioleta com as populações separadas conforme o diagrama no óptico dado pela Figura 3.1. Temos um total de 585 objetos <i>azuis</i> e 414 objetos <i>vermelhos</i> do total de 999 objetos nesse intervalo de <i>redshift</i>	56
3.4	Histograma da distribuição de cor no óptico e no ultra violeta ($NUV - r$) e os ajustes individuais para ambos os picos observados.	57

3.5	Histograma da distribuição de cor no óptico e no ultra violeta ($FUV - r$) e os ajustes individuais para ambos os picos observados.	57
3.6	Gráfico NUV x FUV corrigidos pelo avermelhamento da Via Láctea. Os valores de ρ e α encontram-se expostos no canto superior esquerdo. A linha preta apresenta a curva um por um que seria esperada se as magnitudes FUV e NUV crescessem de forma igual.	59
3.7	Diagrama cor-cor entre observações do SDSS e GALEX: $(g - r)$ x $(FUV - NUV)$. Os raios estão normalizados pelo fluxo na banda FUV. Marcamos a linha em $(g - r) = 0.6$ pelos motivos discutidos na Figura 3.1.	60
3.8	Respectivamente (da esquerda para a direita): diagrama cor-cor para $(g - r)$ x $(FUV - r)$ (a) , diagrama cor-magnitude para $(g - r)$ x FUV (b) e diagrama cor-magnitude para $(g - r)$ x r (c) . Mantivemos as Figuras (b) e (c) invertidas propositadamente a fim de compararmos com a Figura (a)	61
3.9	Em (a) : diagrama cor-magnitude para: FUV x $(g - r)$ com o raio dos pontos normalizados pelo fluxo na banda FUV. A linha disposta na Figura separa a sequência dos <i>outliers</i> . A cor vermelha sinaliza os objetos vermelhos no ótico, mas luminosos no ultravioleta. Temos um zoom em (b) com os identificadores <i>plate</i> , <i>mjd</i> e <i>fiberID</i> explícitos em cada ponto.	62
3.10	Diagrama r x $(g - r)$ nos quais r do SDSS e a cor $(g - r)$ é a cor. Os raios das bolinhas são proporcionais ao fluxo na banda FUV. Note os <i>outliers</i> em vermelho e que ρ é para toda a amostra e não apenas para a sequência. . .	63
3.11	Matriz de correlação no formato <i>heatmap</i> para todas as cores no óptico e ultravioleta possíveis neste trabalho. Para esta correlação, foi considerada o Teste de Correlação de Spearman (Ver Seção 3.1.1) Temos aqui representadas as cores no óptico, óptico-ultravioleta e as magnitudes AB em cada uma das 5 bandas do SDSS e das 2 do GALEX. Perceba que grupos de correlação estão agrupados.	64
3.12	Matriz de correlação no formato <i>heatmap</i> para a Magnitude no FUV e as diversas cores no óptico mostradas em (a) e dendrograma para os mesmos parâmetros em (b) . Note que o dendrograma está presente no topo e na lateral do <i>heatmap</i>	65

3.13	Diagramas cor-magnitude para todas as possíveis cores no óptico. Os <i>outliers</i> em $(g - r)$ mostrados na Figura 3.9 estão em vermelho. Note que ρ é dado para toda a amostra em cada um dos diagramas.	66
3.14	Diagramas de diagnóstico BPT (à esquerda) e WHAN (à direita) com, respectivamente, 940 e 867 objetos. Os marcadores azuis são os objetos com $(g - r) \leq 0.6$ e os vermelhos com $(g - r) > 0.6$. No diagrama BPT (à esquerda) temos as linhas contínua e tracejada, nas quais representam, respectivamente, os modelos de diagnóstico propostos por Kewley et al. (2001) e Kauffmann et al. (2003).	67
3.15	Diagramas de diagnóstico BPT (à esquerda) e WHAN (à direita) com, respectivamente, 940 e 867 objetos. Os marcadores azuis são os objetos da sequência (azuis também na Figura 3.9) e os vermelhos são os <i>outliers</i> (também em vermelho na Figura 3.9). No diagrama BPT (à esquerda) temos as linhas contínua e tracejada, nas quais representam, respectivamente, os modelos de diagnóstico propostos por Kewley et al. (2001) e Kauffmann et al. (2003).	68
3.16	Zoom dos <i>outliers</i> expostos Figura 3.15, no diagrama BPT (esquerda). . .	69
3.17	Zoom dos <i>outliers</i> expostos Figura 3.15, no diagrama WHAN (direita). Os objetos parcialmente cobertos são o 0607.52368.265 e o 0305.51613.614. Note que a galáxia passiva não aparece na Figura 3.16, pois a medida do valor de sua linha apresenta medidas espúrias.	69
3.18	Outliers. De cima para baixo temos, respectivamente os objetos: 0305.51613.614, 0350.51691.311, 0443.51873.407	71
3.19	Outliers. De cima para baixo temos, respectivamente os objetos: 0607.52368.265, 0718.52206.454, 0911.52426.562.	72
3.20	Outliers. De cima para baixo temos, respectivamente os objetos: 0954.52405.555, 1644.53144.306, 1688.53462.277.	73
3.21	Outlier. Objeto 2949.54557.557.	74
4.1	Imagem do espectro de um objeto com as observações fotométricas escalonadas. Note a grande diferença entre esses valores para a região do ultravioleta indicado pela seta vermelha.	77

4.2	Histogramas com as distribuições das diferenças de fluxo sintético e observado, respectivamente, para NUV e no FUV para as duas populações de galáxias descritas no Capítulo 3; azuis e vermelhas de acordo com os valores da cor (g-r).	78
4.3	Ajuste entre os valores de D_n4000 Sintéticos <i>versus</i> Observados. Note os valores de ρ e α na Figura.	80
4.4	D_n4000 observado <i>versus</i> a razão entre dos fluxos sintéticos e observados no FUV. Percentiles ajustados para 5 bins estão em rosa e as medianas dos mesmos na cor amarela. Note os valores de ρ e α na Figura e os <i>outliers</i> descritos no Capítulo 3 em vermelho.	81
4.5	Extinção interna da galáxia observada (A_V^{gal}) por diferença dos fluxos para o FUV para os valores observados e sintéticos normalizados pelo valor observado $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α	82
4.6	Extinção interna da galáxia observada (A_V^{gal}) por razão dos fluxos no FUV para os valores observados e sintéticos normalizados pelo valor observado $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Raio dos marcadores ponderado por D_n4000 . Note a linha tracejada em $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right) = 1$ (na qual $\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}} = \text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}$). Os <i>outliers</i> descritos no Capítulo 3 estão dispostos na cor vermelha.	83
4.7	Extinção interna da galáxia observada somada à extinção da Via Láctea ($A_V^{\text{gal}} + A_V^{\text{MW}}$) por razão dos fluxos no FUV para os valores observados e sintéticos normalizados pelo valor observado $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Os triângulos verdes são os objetos com $A_V^{\text{gal}} \leq 0$; os <i>outliers</i> estão em vermelho e percentiles ajustados para 5 bins em rosa tracejado e medianas dos percentiles apresentadas na cor amarela. Note a presença de ρ e α na Figura.	84
4.8	$< \log(t) >$ resultante da síntese espectral <i>versus</i> $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os <i>outliers</i> citados no Capítulo 3 em vermelho.	85
4.9	Metalicidade resultante da síntese espectral <i>versus</i> $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os <i>outliers</i> citados no Capítulo 3 em vermelho.	85

4.10	$(\frac{M}{L})_r$ resultante da síntese espectral <i>versus</i> $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os <i>outliers</i> citados no Capítulo 3 em vermelho.	86
4.11	$\log M_*$ resultante da síntese espectral <i>versus</i> $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os <i>outliers</i> citados no Capítulo 3 em vermelho.	87
4.12	Cor (g-r) por $\log M_*$. Marcadores proporcionais à diferença dos fluxos sintético e observado no FUV. Note que essa proporcionalidade é dada por uma potência a fim de excluir valores negativos dessa diferença. Ou seja, os menores marcadores estão ligados à menor diferença entre os fluxos sintético e observado, sem distinguir se esse valor é sub ou superestimado; o mesmo ocorre para os maiores marcadores, sinalizando grande diferença entre ambos os valores para o fluxo no ultravioleta. Os <i>outliers</i> se encontram na cor vermelha. Note que ρ e α estão dispostos na imagem e indicam uma total falta de correlação entre esses parâmetros.	88
4.13	Gráfico de cordas (<i>chord</i>) do AMADA dos principais resultados da síntese espectral. A escala de cores é mesma apresentada no <i>heatmap</i> - Figuras 3.11 e 3.12(a) - e a espessura das cordas também possui informações de correlação embutidas: quanto mais espessa for a corda, maior a correlação/ anticorrelação entre as variáveis; quanto mais fina, menor a correlação/ anticorrelação entre as variáveis. As cordas mais finas e brancas neste gráfico de cordas indicam a total falta de correlação entre as variáveis conectadas por elas.	89
4.14	Em (a) temos o dendrograma para os principais resultados da síntese espectral e (b) temos o grafo dos mesmos. Ambos foram feitos usando o AMADA. Note as linhas fracas no grafo, em (b): as linhas mostram o agrupamento de variáveis correlacionadas e a falta de correlação entre esses grupos - vide linhas tão finas, quase imperceptíveis.	89

Lista de Tabelas

1.1	Levantamentos feitos pelo GALEX. A profundidade é um parâmetro geral, sem especificar as bandas.	28
3.1	Parâmetros do Ajuste para a Equação 3.1.	54
3.2	Parâmetros dos ajustes para o UV conforme a Equação 3.1	56
3.3	Parâmetros dos ajustes para a distribuição das cores conforme a Equação 3.1 referente às Figuras 3.4 e 3.5.	58
3.4	<i>Outliers</i>	74
4.1	Parâmetros dos ajustes para a distribuição para as razões de fluxo no ultravioleta, $\log(F_{UV}^{sint}/F_{UV}^{obs})$, referente às Figuras 4.2(a) e (b).	79
4.2	Objetos selecionados para análise das SSPs.	92
A.1	Dicionário de Variáveis	111
A.2	Correções dos <i>offsets</i> para as bandas do SDSS, na qual m_x^{AB} é a magnitude AB para cada banda x e m_x^{SDSS} é a magnitude original obtida pelo SDSS para a mesma banda x , respectivamente.	112
A.3	Comprimentos de onda de pivot para cada uma das bandas do GALEX e do SDSS, respectivamente (em Å).	113
A.4	Comprimentos de onda de efetivos para cada uma das bandas do GALEX e do SDSS, respectivamente (em Å).	113
C.1	Tabela 3 publicada no trabalho de Fitzpatrick (1999) referentes aos dados utilizados para o <i>spline</i> cúbico para a curva em que $R = R_V = 3.1$	119

C.2	Tabela 4 publicada no trabalho de Fitzpatrick (1999) referentes aos dados utilizados para o <i>spline</i> cúbico para a região do ótico.	120
-----	---	-----

Sumário

1. Introdução	25
1.1 O Universo em Diferentes Comprimentos de Onda	25
1.2 O Projeto GALEX & seu Legado	27
1.2.1 Informações Técnicas do GALEX	28
1.3 O Projeto SDSS	29
1.3.1 <i>Data Release 7 (DR7)</i>	29
1.3.2 Informações Técnicas do SDSS	29
1.4 Síntese Espectral - O Projeto <i>SEAGal/STARLIGHT</i>	31
1.5 Estrutura da Dissertação	33
2. Seleção e Tratamento dos Dados	35
2.1 A Seleção de Dados	35
2.1.1 Parâmetros Restringidos dos Dados Observados do Satélite GALEX	36
2.1.2 Parâmetros Restringidos das Observações do SDSS	36
2.1.3 Restrições Finais	39
2.1.4 Parâmetros do STARLIGHT	40
2.2 Cálculo dos Fluxos a Partir das Magnitudes AB	40
2.2.1 Determinação de Magnitude AB para o SDSS	40
2.2.2 Transformação de Magnitude AB para Fluxo - SDSS	41
2.2.3 Transformação de Magnitude AB para Fluxo - GALEX	42
2.2.3.1 Transformação da Magnitude AB da banda NUV para Fluxo	42
2.2.3.2 Transformação da Magnitude AB da banda FUV para Fluxo	43
2.3 Correção da Abertura	44

2.4	Leis de Extinção	45
2.4.1	Lei de Extinção de Fitzpatrick	47
2.4.1.1	Cálculo da Extinção Proposto no Modelo de Fitzpatrick	49
2.5	Escalonamento Espectral do STARLIGHT e os Dados Observacionais	50
3.	<i>Análise das Observações Fotométricas no Óptico e no Ultravioleta</i>	53
3.1	Caracterização da Amostra por meio das Cores no Óptico e no Ultravioleta	53
3.1.1	Coefficiente de Correlação de Spearman	58
3.2	Diagramas Cor-Cor e Cor-Magnitude	59
3.3	Visualização de Correlação com o AMADA	63
3.4	Diagramas de Diagnóstico	67
3.5	Os <i>Outliers</i> nos Diagramas de Diagnóstico	68
3.5.1	Conclusões	75
4.	<i>Comparação entre os Dados Fotométricos Observados com os Resultados da Síntese Espectral</i>	77
4.1	Comparação entre os Fluxos Sintético e Observado no Ultravioleta	77
4.2	Quebra de 4000Å e as Diferenças nos Fluxos Sintético e Observado no Ultravioleta	79
4.3	Diferença dos Fluxos no Ultravioleta e Resultados da Síntese	82
4.3.1	A Extinção na Amostra e seus Efeitos	82
4.3.2	Idade, Metalicidade, Razão Massa-Luminosidade e Massa Estelar Resultantes da Síntese Espectral	84
4.4	Correlações entre os Resultados da Síntese, Magnitude no FUV e Extinção Galáctica	88
4.5	O Tratamento das Populações Estelares Simples pelo STARLIGHT	91
4.6	Conclusões	96
5.	<i>Conclusões e Perspectivas</i>	99
	<i>Referências</i>	101

<i>Apêndice</i>	109
<i>A. Parâmetros</i>	111
A.1 Descrição das variáveis citadas neste trabalho.	111
A.1.1 Comprimentos de Onda de Pivot e Efetivos	113
<i>B. Queries</i>	115
B.1 Seleção dos objetos analisados pelo STARLIGHT e observados pelo GALEX	115
B.2 Pareamento dos dados obtidos pelo GALEX com a base de dados do SDSS	117
<i>C. Dados Importantes Para a Lei de Extinção de Fitzpatrick</i>	119
C.1 Tabelas Dadas por Fitzpatrick (1999)	119
C.2 Parâmetros para a curva no UV	120
C.3 Modelo de Extinção de Fitzpatrick Dependente da Curva de R	120
<i>D. Dedução do Fator de Escalonamento a Partir da Fórmula Geral de χ^2</i>	123
<i>E. Cálculo das Incertezas dos Fluxos e das Magnitudes AB</i>	125
E.1 Incertezas dos Fluxos e Magnitudes para o SDSS	126
E.2 Incertezas dos Fluxos e Magnitudes para o GALEX	126
E.2.1 Incertezas para o NUV	126
E.2.2 Incertezas para o FUV	126

Introdução

*O todo sem a parte não é todo,
A parte sem o todo não é parte,
Mas se a parte o faz todo, sendo parte,
Não se diga, que é parte, sendo todo.
(...)*

Gregório de Matos Guerra, *O Boca do Inferno*. (1636-1696)

1.1 O Universo em Diferentes Comprimentos de Onda

A origem do Universo e a consequente formação de galáxias, grupos, aglomerados e estruturas tem sido tópico de estudo na Astronomia/ Astrofísica há décadas, quicá séculos. Existe, portanto, um enorme esforço coletivo da comunidade científica a fim de compreender cada vez mais e melhor as componentes físicas responsáveis pela constituição e evolução do Universo. Para isto, é necessário não apenas ter uma visão específica das partes deste *quebra-cabeças cósmico*, mas também uma visão bem estruturada do problema sob uma ótica ampla e global. Não obstante, é preciso lembrar que a Astronomia, de maneira geral, é uma ciência cujo o estudo não é tangível de forma direta, dadas as grandes distâncias entre nós e os objetos de estudo. Logo, diversas técnicas foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo para tornar a abordagem dessa ciência cada vez mais sólida (Spiniello, 2013).

É nessa linha que o modelo cosmológico Λ *Cold Dark Matter* (i.e. Λ -CDM¹) se tornou o mais aceito atualmente. Por esse modelo a matéria bariônica representa cerca de 4% dos constituintes do Universo. Os outros, a matéria escura fria e a energia escura representam,

¹No qual CDM corresponde à *Matéria Escura Fria* e Λ ao termo da expansão acelerada do Universo.

respectivamente, cerca de 20% e 76% do restante (Frieman et al., 2008; Spiniello, 2013).

O modelo Λ -CDM explica bem a expansão do Universo, a radiação cósmica de fundo e suas anisotropias, além da estrutura em grande escala. É nesse contexto no qual nosso trabalho se insere, visto que as galáxias são os constituintes visíveis principais da estrutura em grande escala, refletindo os paradigmas explicados pelo modelo cosmológico mais aceito atualmente (Frieman et al., 2008; Spiniello, 2013).

Uma galáxia, genericamente falando, é composta por estrelas, gás, poeira, matéria escura, etc. No contexto deste trabalho, não abordaremos a questão da matéria escura como componente, apenas a matéria bariônica. Uma das melhores formas de estudá-las é pela análise do espectro de grandes amostras.

Dada a necessidade de melhor compreender as componentes descritas de uma galáxia e com o desenvolvimento de modelos semi-empíricos, diversos pesquisadores formularam seus próprios modelos de síntese espectral de galáxias. No caso do STALIGHT (Cid Fernandes et al., 2005; Mateus et al., 2006; Stasinska et al., 2006; Mateus et al., 2007), o modelo é constituído de bibliotecas são formadas, basicamente, de espectros dessas populações estelares que compõem uma galáxia. Cada uma delas possui características próprias, como idade e metalicidade. Ao fazer uma combinação linear dessas populações estelares, a fim de ajustar um espectro observado - neste caso, um espectro no óptico -, obtemos como resultado as frações de estrelas presentes (jovens, intermediárias, velhas) e, conseqüentemente, características mais globais da galáxia. São elas: idade, metalicidade, massa estelar, e avermelhamento por poeira, entre outras.

A síntese realizada pelo STALIGHT é no óptico e, no caso deste trabalho, a pergunta que fazemos é com relação à emissão ultravioleta das galáxias: será que a extrapolação para o ultravioleta é consistente com as observações? Vamos responder a esta pergunta analisando uma amostra de galáxias do SDSS que foram observadas no ultravioleta pelo GALEX.

Nas próximas Seções descreveremos com maior detalhe as características dos levantamentos de dados usados como base deste trabalho, além da síntese espectral de galáxias realizada pelo STALIGHT.

1.2 O Projeto GALEX & seu Legado

Sendo a atmosfera terrestre opaca ao ultravioleta (ver Figura 1.1), o Projeto GALEX consistiu em lançar um telescópio espacial a fim de fazer o imageamento do céu nessa região do espectro eletromagnético, dando a luz ao primeiro levantamento de dados a cobrir todo o céu nos comprimentos de onda no qual observou ($\lambda_{\text{efetivo}}^{\text{FUV}} = 1528\text{\AA}$ e $\lambda_{\text{efetivo}}^{\text{NUV}} = 2310\text{\AA}$, nos quais FUV e NUV significam, respectivamente, *far ultraviolet*, ou seja ultravioleta distante, e *near ultraviolet*, ultravioleta próximo). Para mais informações sobre a definição de *comprimento de onda efetivo*, λ_{efetivo} , ver Apêndice A.1.1.

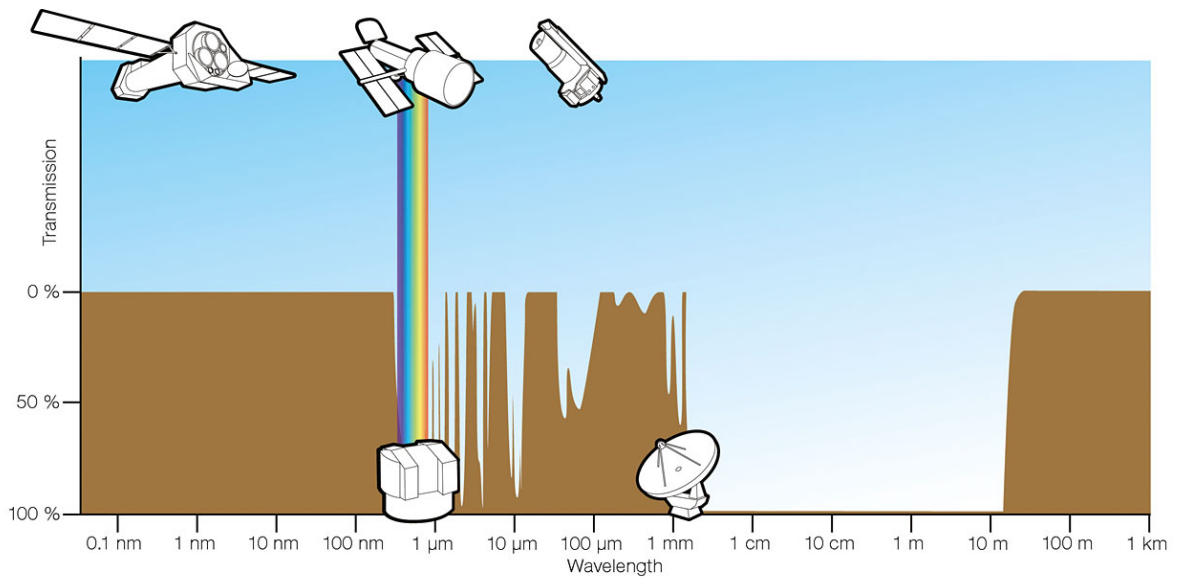


Figura 1.1: Opacidade atmosférica por comprimento de onda. Créditos: ESA/Hubble (F. Granato): http://www.eso.org/public/brazil/images/atm_opacity/

O telescópio espacial GALEX foi lançado no dia 28 de Abril de 2003 e foi completamente descomissionado no dia 28 de Junho de 2013. Por cerca de uma década, o GALEX coletou dados do céu como um todo, mesmo quando a banda FUV deixou de funcionar em Maio de 2009, continuando em operação apenas no NUV (Bianchi, 2014).

O resultado final, até sua última liberação de dados em 2013 (GR7), foi a observação de incríveis 214 milhões de objetos, aproximadamente, cuja maioria foi com ambos os detectores: cerca de 210 milhões de objetos - incluindo estrelas, galáxias, quasares, e assim por diante. Ademais, também coletou cerca de 100 mil espectros de baixa resolução no ultravioleta (Bianchi, 2014).

1.2.1 Informações Técnicas do GALEX

O levantamento de dados do GALEX consistiu em imageamento direto e espectroscopia com grisma em duas bandas largas no FUV e no NUV. Os intervalos dessas bandas são, respectivamente, 1344-1786Å e 1771-2831Å. O instrumento consistiu em um telescópio do tipo Ritchey-Chrétien; o espelho primário tinha 50cm e distância focal de 299.8cm. Ademais, para que ambas as bandas fossem observadas simultaneamente, uma fenda dicróica foi inserida a fim de alimentar simultaneamente as bandas FUV e NUV.

O campo de visão do GALEX era de aproximadamente 1.2° de diâmetro, sendo cerca de 1.28° para o FUV e 1.24° para o NUV. Já a resolução espacial era de $4.2''$ para o FUV e $5.3''$ para o NUV (Morrissey et al., 2007). As fontes detectadas em ambas as bandas foram pareadas usando um raio de $3''$ como restrição (Bianchi, 2014).

Na Tabela 1.1 é possível encontrar o legado dos levantamentos realizados pelo telescópio GALEX de forma resumida. Seu volume total de dados chega a 30TB (Zhang e Zhao, 2015).

Tabela 1.1 - Levantamentos feitos pelo GALEX. A profundidade é um parâmetro geral, sem especificar as bandas.

Survey	Tempo de Exposição (segundos)	Cobertura do Céu (graus quadrados)	Profundidade m_{AB} FUV/NUV
All-Sky Imaging (AIS)	100	26 000	$\sim 20/21$
Medium Imaging (MIS)	1 500	1 000	~ 22.7 para ambos
Deep Imaging (DIS)	30 000	80	$\sim 24.8/24.4$
Nearby Galaxy (NGS)	1 500	300	~ 23 para ambos
Medium Spectroscopic (MSS)	150 000	5	~ 20 para ambos

Os valores da Profundidade na Tabela 1.1 encontram-se em Bianchi (2014); Neff et al. (2009). Para o NGS e o MSS, em particular, em http://spider.ipac.caltech.edu/staff/cxu/galex/completeness/complete_nov12.html e http://ned.ipac.caltech.edu/level5/March05/Madore/Madore1_2.html.

Portanto, os resultados ainda serão de grande valia para os pesquisadores nos próximos anos - e, talvez, décadas - ao prover um imageamento geral do céu nos comprimentos de onda nos quais observou².

²Para mais informações técnicas do GALEX, acesse:

<http://galex.stsci.edu/> e <http://www.galex.caltech.edu/wiki/Public:Documentation>

1.3 O Projeto SDSS

O Projeto SDSS é, até o presente momento, um dos mais ambiciosos em termos de levantamento de fontes do céu, seja por meio de imageamento, seja por meio de espectroscopia. Diferentemente do GALEX, o telescópio responsável pelo levantamento do SDSS encontra-se em solo, tendo em vista que a atmosfera é muito mais transparente à região do óptico do que a do ultravioleta (ver Figura 1.1). O mesmo encontra-se no *Apache Point Observatory* no estado do Novo México nos Estados Unidos da América. O levantamento de dados iniciou-se no ano 2000 e continua em operação, já tendo feito, até o presente momento, 12 liberações de dados (DR12) (Alam et al., 2015), cobrindo cerca de 35% do céu (York et al., 2000; Gunn et al., 2006).

1.3.1 Data Release 7 (DR7)

Usamos, neste trabalho, a base de dados DR7, ou seja, utilizando até a sétima liberação de dados. Apesar de não ser o mais recente do SDSS, o DR7 foi o conjunto de dados analisado pelo Projeto STARLIGHT (a ser descrito na Seção 1.4) e os resultados estão disponíveis em sua base de dados. O DR7 possui um total de cerca de 350 milhões de objetos de todos os tipos, sendo desses cerca de 930 mil galáxias, e é composto por 3 levantamentos: o *Legacy*, o *SEGUE* e o *Supernova*³ (Abazajian et al., 2009).

1.3.2 Informações Técnicas do SDSS

O SDSS possui cinco bandas na região do óptico do espectro eletromagnético: u , g , r , i e z , com λ_{efetivo} , respectivamente, em 3543Å, 4770Å, 6231Å, 7625Å, 9134Å, indo quase do ultravioleta próximo, até o infravermelho próximo, cobrindo amplamente a região do óptico. A cobertura de cada um dos filtros é, respectivamente, de 2980-4130Å, 3630-5805Å, 5680-7230Å, 6430-8630Å e 7730-11230Å. É possível observar as respostas dos filtros na Figura 1.3.

O telescópio do SDSS também é do tipo Ritchey-Chrétien modificado com um espelho primário diâmetro de 2.5m (com dois corretores) e um espelho secundário de 1.08m (com um corretor de *astigmatismo* Gascoigne) e distância focal final de $f/5$. Sua resolução espacial para o imageamento é de 1"-2". Já o diâmetro da fibra, para a espectroscopia, é

³Para mais informações, acesse: <http://classic.sdss.org/dr7/start/aboutdr7.html>.

de $180\mu m \approx 3''$ (York et al., 2000; Gunn et al., 2006).

Em termos de profundidade em *redshift* (z), a mediana observada é de 0.1 e há galáxias luminosas até quase $z \approx 1^4$.

Na Figura 1.2 vemos a projeção do céu e as regiões nas quais foram feitas observações tanto no óptico, pelo SDSS, quanto no ultravioleta pelo GALEX.

A quantidade de dados coletados hoje chega a 40TB (Zhang e Zhao, 2015). Portanto, os futuros levantamentos a serem implementados terão como desafio superar em quantidade e qualidade de observações o SDSS, uma referência global para a pesquisa em Astrofísica Observacional atualmente.

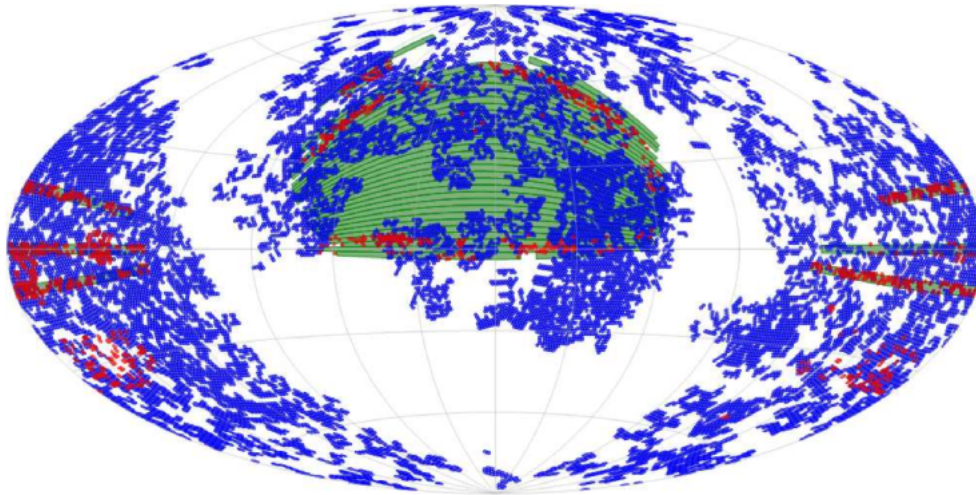


Figura 1.2: Projeção do céu em coordenadas equatoriais pelo sistema J2000, centrado nas coordenadas equatoriais $\alpha = 180^\circ$ e $\delta = 0^\circ$. Em verde há a região observada pelo SDSS; em azul é o GALEX AIS (*All Sky Imaging Survey*); e, em vermelho, é o GALEX MIS (*Medium Imaging Survey*). Créditos: Budavári et al. (2009).

Temos na Figura 1.3 as respostas dos filtros fotométricos tanto para o SDSS quanto para o GALEX.

⁴Para mais informações técnicas, acessar <http://www.sdss3.org/instruments/>.

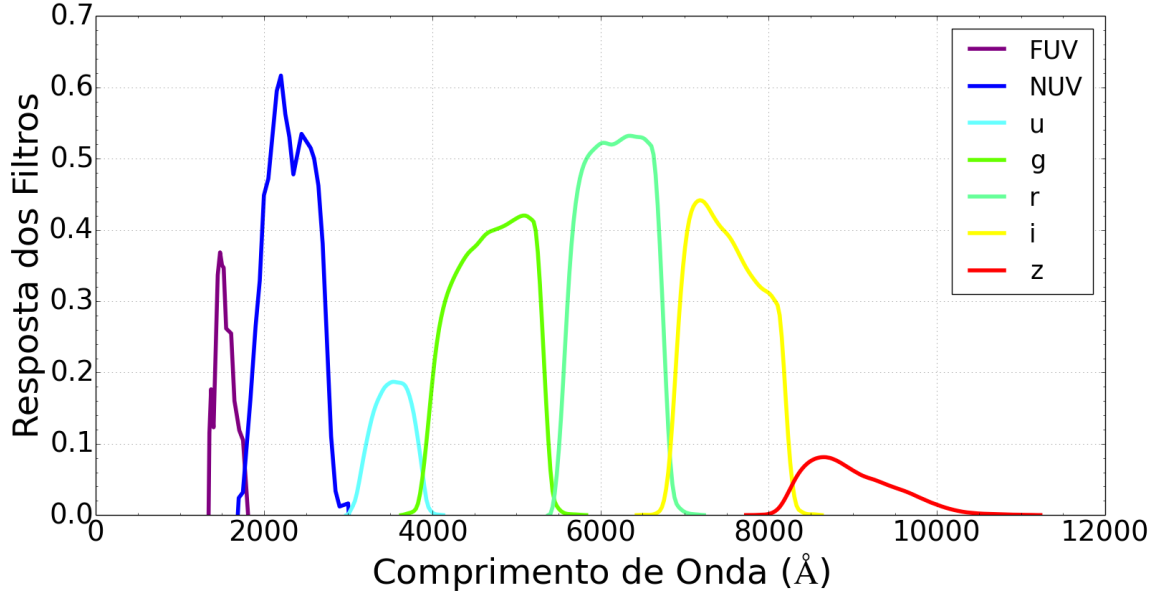


Figura 1.3: Filtros combinados das bandas do GALEX (FUV e NUV em roxo e azul, respectivamente) e do SDSS (u, g, r, i, z em ciano, verde escuro, verde claro, amarelo e vermelho, respectivamente) para objetos extensos.

1.4 Síntese Espectral - O Projeto SEAGal/STARLIGHT

A síntese espectral de galáxias é uma ferramenta que tem sido cada vez mais utilizada ao longo do tempo a fim de extrair informações das galáxias (Hayward e Smith, 2015). O método adotado pelo STARLIGHT se baseia em coletar espectros observados dessas galáxias e ajustá-los por meio de combinação linear de espectros de uma biblioteca de SSPs. O Projeto SEAGal/STARLIGHT fez a síntese espectral de galáxias utilizando espectros observados pelo SDSS (Cid Fernandes et al., 2005; Mateus et al., 2006; Stasinska et al., 2006; Mateus et al., 2007).

Neste caso usamos os dados da base de dados do STARLIGHT⁵ cujos resultados foram obtidos ao utilizar os espectros observados do SDSS/DR7 (Abazajian et al., 2009) e as bibliotecas de Bruzual e Charlot (2003).

O método do ajuste das bibliotecas é simples e funciona conforme a Equação 1.1:

$$M_{\lambda} = M_{\lambda_0} \left(\sum_{j=1}^{N_*} x_j b_{j,\lambda} r_{\lambda} \right) \otimes G(\nu_*, \sigma_*), \quad (1.1)$$

⁵Disponível em: <http://casjobs.starlight.ufsc.br/casjobs/>

nos quais M_λ é o modelo do espectro para cada comprimento de onda λ ; M_{λ_0} é o fluxo sintético no comprimento de onda de normalização λ_0 ; x_j é a fração da luz da λ_0 da j -ésima SSP, que possui idade t_j e metalicidade Z_j ; N_* é o número de SSPs da base (neste caso, 150), $b_{j,\lambda}$ é o espectro da j -ésima SSP, r_λ é o termo da extinção calculado com a Lei de Cardelli (maiores detalhes na Seção 2.4), \otimes é o operador de convolução, G é o alargamento espectral devido ao movimento estelar na linha de visada, modelado com uma distribuição gaussiana centrado na velocidade ν_* e com dispersão de velocidades σ_* , conforme descrito em Cid Fernandes et al. (2005).

A Figura 1.4 ilustra alguns espectros da base escolhida.

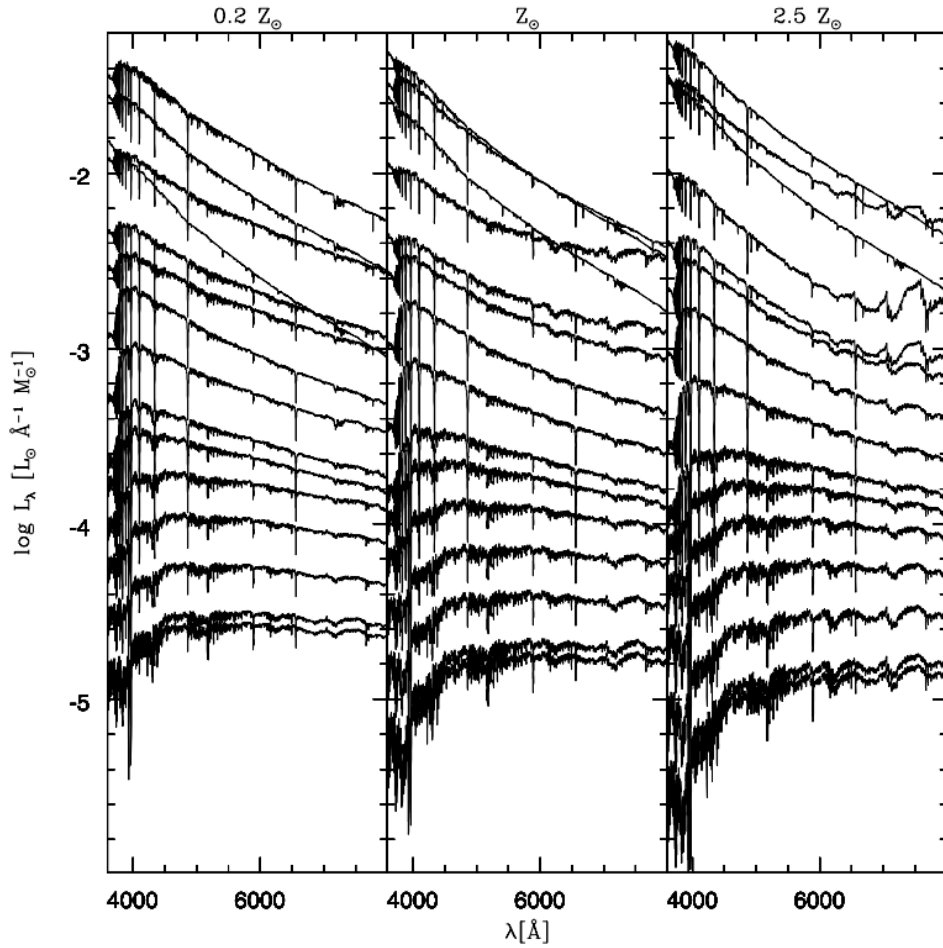


Figura 1.4: Exemplo de 45 SSPs usadas em uma síntese espectral com a biblioteca de Bruzual e Charlot (2003). Em cada uma das imagens na Figura acima, temos a estrutura das SSPs com diferentes idades e diferentes metalicidades em termos da metalicidade solar, Z_\odot . As idades das SSPs ilustradas decrescem conforme $\log L_\lambda$ cresce; ou seja, as mais jovens estão no topo dos diagramas, enquanto as mais velhas estão na base do mesmo. Créditos: Cid Fernandes et al. (2005).

Assim sendo, temos uma poderosa ferramenta em mãos a fim de extrair dados de alta qualidade e, portanto, extremamente útil do ponto de vista do estudo das propriedades das galáxias.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte maneira: no Capítulo 2 descreveremos todo o processo de seleção e tratamento de dados utilizados ao longo de toda a investigação; no Capítulo 3 mostraremos a análise realizada para os dados observacionais no óptico e no ultravioleta e os consequentes resultados; no Capítulo 4 encontra-se a análise referente à comparação dos dados observacionais no ultravioleta com os parâmetros resultantes da síntese espectral realizada pelo STARLIGHT. Por fim, no Capítulo 5 apresentamos resumidamente as conclusões de todo este trabalho.

Seleção e Tratamento dos Dados

Neste Capítulo encontram-se a descrição dos parâmetros e suas restrições utilizados na seleção dos objetos estudados nesta dissertação. Seleccionamos uma amostra de galáxias observadas tanto pelo GALEX quanto pelo SDSS conveniente, dado o estudo proposto.

Com o objetivo de entender melhor as variáveis usadas neste trabalho, é possível encontrar um minidicionário com o significado de cada uma delas no Apêndice A, Tabela A.1.

2.1 A Seleção de Dados

Com o objetivo de evitar galáxias com problemas nas observações que pudessem introduzir vieses na amostra, foram feitas restrições nos parâmetros dos objetos observados. As seções a seguir detalham a escolha dos parâmetros adotados nas buscas¹ dos objetos na ordem em que foram feitos os pareamentos/ cruzamento de dados² entre as observações do GALEX GR6 Plus 7³ e do SDSS DR7.

Os parâmetros iniciais utilizados como entrada (*input*) foram todos os identificadores, *plate*, *mjd* e *fiberID*⁴ dos 926 246 objetos observados pelo SDSS e analisados pelo STARLIGHT.

¹Ou *queries*. Uma *query* é uma busca em uma determinada base de dados por meio de comandos em SQL (*Structured Query Language* - para mais informações: <http://sqlzoo.net/>).

²*Crossmatches*.

³Último *data release*. *Data release* é cada conjunto de observações a mais que é liberado por um levantamento de dados (*survey*). No caso do satélite GALEX, o último *data release* foi o *GR7* ou *GR6 Plus 7*.

⁴Para mais detalhes sobre a definição dos identificadores, veja o Apêndice A, Tabela A.1.

2.1.1 Parâmetros Restringidos dos Dados Observados do Satélite GALEX

A primeira parte da seleção de dados consistiu em inserir como *input* todos os *plates*, *mjds* e *fiberIDs* dos 926 246 objetos na base de dados do GALEX⁵ e fazer o primeiro grande *crossmatch*.

É importante lembrar que já foi realizado um *crossmatch* entre os objetos observados pelo SDSS e o GALEX e, portanto, é possível utilizar os identificadores do SDSS dentro da base de dados do GALEX para obter as informações no ultravioleta dos mesmos objetos (Seibert et al., 2005; Bianchi et al., 2005; Budavári et al., 2009).

Assim sendo, as restrições definidas foram as seguintes:

- Não foi feita nenhuma limitação na magnitude no ultravioleta a fim de obtermos todos os objetos que tivessem alguma emissão nessa região do espectro eletromagnético com as características a serem discriminadas nesta seção.
- Foi de extrema importância selecionar os objetos que tivessem **apenas uma contrapartida (*match*) entre o SDSS e o GALEX**. Dessa maneira, é possível eliminar uma série de objetos possivelmente sobrepostos nas observações do GALEX; lembramos que a resolução dos instrumentos de cada telescópio é bastante diferente, sendo a resolução espacial do SDSS de $1'' - 2''$ - devido ao *seeing* - e a do GALEX de $4.5''$ para o FUV e $6''$ para o NUV - devido aos detectores (Bianchi et al., 2005).
- Considerando que o detector da banda FUV do satélite GALEX parou de funcionar em determinado momento (Bianchi, 2014), utilizamos uma *flag*⁶ a fim de selecionar unicamente os objetos que foram observados tanto no NUV quanto no FUV.

2.1.2 Parâmetros Restringidos das Observações do SDSS

Nesta seção, detalhamos como foi feito o *crossmatch* entre os dados obtidos anteriormente com as observações do GALEX e os dados obtidos pelo SDSS (cujo banco de dados pode ser acessado pelo *CasJobs do SDSS*⁷).

⁵*CasJobs do GALEX*: <http://galex.stsci.edu/casjobs/Guide.aspx>

⁶Uma *flag* é um marcador que aponta uma determinada característica de um objeto observado. Há várias *flags* úteis a fim de filtrar os dados conforme desejado.

⁷<http://skyserver.sdss.org/CasJobs/>

- Raio de Petrosian com 90% da luminosidade da galáxia: $1.5'' \leq R_{90} \leq 3.5''$ na banda r do SDSS, a fim de minimizar os efeitos de abertura, isto é, o fato de o diâmetro das fibras ($3''$) ser geralmente menor do que o diâmetro aparente das galáxias. Ou seja, esta restrição tem como objetivo considerar que uma fração importante do fluxo total caia na fibra, conforme ilustrado na Figura 2.1.

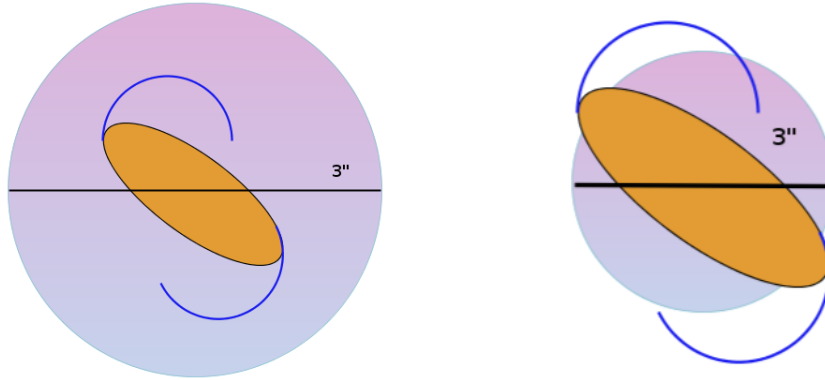


Figura 2.1: Desenho meramente ilustrativo do tamanho da fibra do SDSS e de uma galáxia com perspectiva *face on* - ou seja, com suas dimensões principais voltadas para nossa linha de visada, ao invés de estar de perfil - ora com R_{90} totalmente inserido dentro dessa fibra, ora parcialmente inserido dentro dessa fibra.

Portanto, temos como exemplo a Figura 2.2 que é a imagem de uma galáxia observada tanto pelo SDSS quanto pelo GALEX com todas as características que estão sendo descritas nesta Seção. É preciso notar que, dado o valor considerado de R_{90} , essas galáxias são relativamente pequenas, especialmente no que concerne a observação no GALEX.

- Restrição para objetos no Universo Local, ou seja, com *redshift* (z) compreendido entre $0.050 \leq z < 0.075$ a fim de reduzir efeitos cosmológicos na análise dos dados e minimizar a necessidade de correção K para esses objetos (Blanton e Roweis, 2007), já que esta correção não é confiável no ultravioleta e poderia afetar bastante a análise apresentada. Portanto, optamos por manter os fluxos e magnitudes no referencial observado.
- Muitos objetos, apesar de terem sido observados nas duas bandas do GALEX, foram apenas marginalmente detectados em uma delas. Esses objetos apresentam medidas espúrias e isso foi levado em consideração na seleção dos dados. Objetos que tiveram

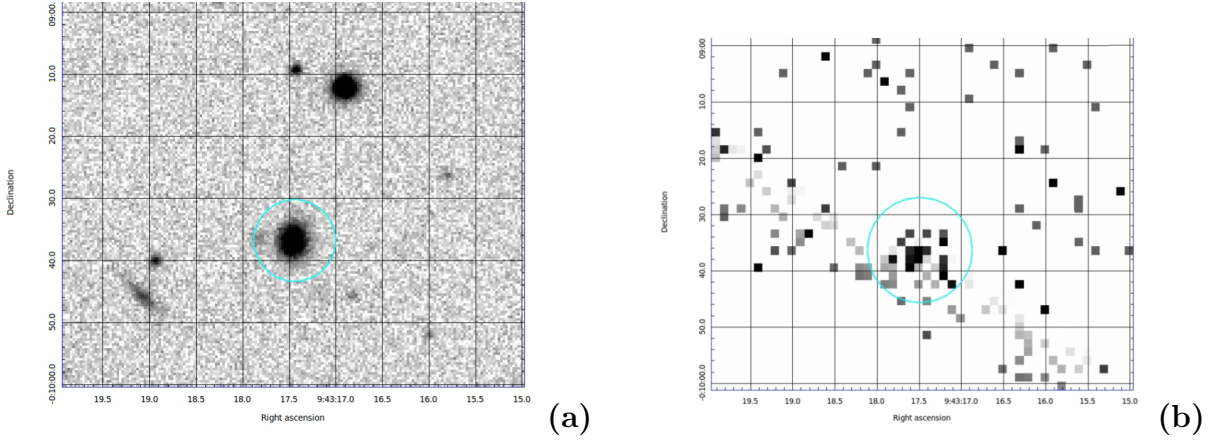


Figura 2.2: Imagens do objeto de *ObjectID* do SDSS sob o número 588848899897688275. A imagem (a) é a imagem do SDSS e a imagem (b) é do GALEX. Ver o círculo na cor ciano mostra o mesmo objeto nas duas imagens.

tais características em suas observações em alguma das cinco bandas do SDSS e/ou das duas do GALEX foram rejeitados.

- Alguns cuidados extras foram tomados, ao selecionar objetos que:
 - não possuam objetos “filhos” (subestruturas) - i.e. parâmetro $nchild = 0$;
 - não possuam pixels saturados em suas observações;
 - o centro do objeto não esteja próximo de pelo menos um pixel saturado⁸;
 - tenham magnitude medida na banda r corrigida pelo avermelhamento entre 17.0 e 17.7, dentro do intervalo espectroscópico do SDSS (Cross et al., 2004);
 - não tenham nenhuma observação (i.e. *warning*) com relação à determinação do *redshift* - ou seja, o *redshift* foi determinado sem maiores problemas (parâmetro $zWarning = 0$);
 - possuam *redshifts* confiáveis em pelo menos 90% (parâmetro $zConf > 0.9$);
 - possuam *redshifts* medidos com sucesso (parâmetro $zStatus > 1$);
 - tivessem as magnitudes medidas em todas as bandas. Em outras palavras,

⁸Não há informações mais detalhadas disponíveis sobre o quão próximos são esses pixels do centro da imagem. As *flags* que eliminam os pixels saturados são duas: **0x00000000000040000** e **0x0000080000000000**. Para mais informações, ver:

selecionamos objetos cujas magnitudes corrigidas pela extinção (magnitudes *dered*) estivessem entre 16 e 25 em todas as bandas, u, g, r, i e z .

Para maiores informações, as *queries* em SQL utilizadas encontram-se no Apêndice B.

2.1.3 Restrições Finais

Após as duas etapas anteriores de *crossmatch* e restrição dos parâmetros, há apenas uma etapa de “limpeza” dos dados que concerne às múltiplas observações de um mesmo objeto. Tanto o GALEX quanto o SDSS fizeram mais de uma observação de diversos objetos. Para isso foi desenvolvido um programa em *Python* de seleção dos objetos com a melhor razão sinal-ruído (S/N) no FUV do GALEX para um único *ObjectID* do SDSS.

Não obstante, apenas para o FUV, havia duas opções de razão sinal-ruído, na qual a primeira é dada pela Equação 2.1 e a segunda é um cálculo indireto que, por sua vez, é derivado das medidas de magnitude da outra banda, o NUV. Optamos pela primeira opção de razão sinal-ruído, pois é diretamente relacionado com as observações.

O sinal ruído utilizado é dado pela relação:

$$S/N_{\text{FUV}} = \frac{F_{\text{FUV}}^{\text{auto}}}{F_{\text{FUVerr}}^{\text{auto}}}, \quad (2.1)$$

nos quais: S/N_{FUV} é o sinal-ruído no FUV; $F_{\text{FUV}}^{\text{auto}}$ é o fluxo no FUV calculado pelo sistema automatizado de redução de dados (*pipeline*) do satélite GALEX; e $F_{\text{FUVerr}}^{\text{auto}}$ é o erro associado a esse cálculo, que, por sua vez, também sai da *pipeline* do GALEX.

A título de esclarecimento, nesta última etapa fizemos esta seleção pelo *ObjectID* ao invés do *plate*, *mjd* e *fiberID*, pois os *ObjectIDs* identificam um único objeto, enquanto os *plates*, *mjds* e *fiberIDs* identificam uma única observação, o que pode incluir a observação de um mesmo objeto mais de uma vez. Diferentemente do conjunto de identificadores *plate*, *mjd* e *fiberID*, nos quais é possível que haja múltiplas observações diferentes do mesmo objeto, o *ObjectID* seleciona um único objeto, independentemente da quantidade de observações do mesmo.

Em suma, selecionamos uma única observação de um objeto do SDSS pelo *ObjectID* e o critério de seleção para o ultravioleta foi a qualidade da razão sinal-ruído na observação fotométrica do FUV do GALEX.

2.1.4 Parâmetros do STARLIGHT

Após a seleção dos objetos com os parâmetros descritos nas subseções 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3, foi feito o *match*, usando programas em *Python*, com a base de dados do STARLIGHT⁹ a fim de obter diversos parâmetros como metalicidade, idade média, etc. Esses parâmetros serão apresentados e usados nas análises a serem feitas no Capítulo 4, mas também encontram-se no Apêndice A, Tabela A.1.

Por fim, a amostra final foi de 999 galáxias.

2.2 Cálculo dos Fluxos a Partir das Magnitudes AB

Nas próximas seções teremos a descrição detalhada da transformação das magnitudes e dos fluxos para os dados observacionais utilizados do SDSS e do GALEX.

2.2.1 Determinação de Magnitude AB para o SDSS

De acordo com o estudo feito por Doi et al. (2010), cada banda do SDSS sofre uma alteração com o tempo e que é amplamente discutida em seu trabalho. Essas alterações nos instrumentos usados no *survey* do SDSS modificam as magnitudes AB observadas e, portanto, é necessário corrigir essas magnitudes, introduzindo *offsets*¹⁰ no ponto zero das mesmas. As correções de *offset* não foram previstas por Fukugita et al. (1996) e nem por Bohlin et al. (2001). A banda *u*, particularmente, necessita de uma maior correção. Ela é fortemente afetada por efeitos de desgaste e envelhecimento de componentes instrumentais, como descrito em detalhes no trabalho supracitado.

A magnitude AB utilizada é dada pela Equação:

$$m_j^{AB} = m_j^{\text{observada}} - e_j + \text{offset}, \quad (2.2)$$

nos quais m_j^{AB} é a magnitude AB aparente para cada banda j ; $m_j^{\text{observada}}$ é a magnitude observada em cada banda j , e_j é a extinção galáctica determinada para cada banda conforme a lei de extinção usada e que será detalhada na Seção 2.4.

⁹http://casjobs.starlight.ufsc.br/casjobs/field_list.html

¹⁰Um *offset* é um pequeno desvio da magnitude AB devido a influências externas.

O sistema fotométrico AB é descrito por Oke (1974) e calibrado tal que a magnitude AB igual a zero corresponda ao fluxo:

$$F_\nu = 3631 \text{ Jy} , \quad (2.3)$$

sendo:

- F_ν : fluxo monocromático em uma determinada frequência ν de uma estrela de magnitude zero;
- $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W Hz}^{-1} \text{ m}^{-2} = 10^{-23} \text{ erg s}^{-1} \text{ Hz}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

As magnitudes AB no sistema *cgs*¹¹ (no qual a unidade para os fluxos é $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$) podem ser escritas como:

$$m^{\text{AB}} = -2.5 \log F_\nu(\text{cgs}) - 48.60 . \quad (2.4)$$

Normalmente não se medem fluxos monocromáticos, mas, sim dentro de uma certa banda com uma curva de resposta. Aqui adotamos a definição usual dada pela Equação 2.5:

$$\bar{F} = \frac{\int d(\log \nu) F_\nu R(\nu)}{\int d(\log \nu) R(\nu)} , \quad (2.5)$$

na qual $R(\nu)$ é a resposta do filtro considerado em função da frequência ν .

2.2.2 Transformação de Magnitude AB para Fluxo - SDSS

Conforme a equação 2.4, temos que a magnitude AB (para o fluxo em unidades *cgs*) em uma dada banda ν é dada por:

$$m^{\text{AB}} = -2.5 \log (F_\nu^{\text{SDSS}}) - 48.60 . \quad (2.6)$$

No entanto, considerando que:

¹¹O *cgs* é um sistema variante do sistema métrico, assim denotado por ser o acrônimo correspondente a *centímetro-grama-segundo*, ou seja, as unidades básicas para comprimento, massa e tempo. Todas as outras unidades no sistema *cgs* partem dessas três unidades.

$$\nu F_\nu = \lambda F_\lambda \rightarrow F_\nu = \lambda \frac{F_\lambda}{\nu}, \quad (2.7)$$

e sendo a velocidade da luz $c = \lambda \nu$, obtemos F_ν em função de F_λ (que é o que, de fato, queremos obter):

$$F_\nu = \frac{\lambda^2}{c} F_\lambda. \quad (2.8)$$

O que faz com que F_λ^{SDSS} seja dado por:

$$F_\lambda^{\text{SDSS}} = \frac{c}{\lambda^2} 10^{-0.4(m_\lambda^{\text{AB}} + 48.60)}, \quad (2.9)$$

no qual o λ é o λ_{pivot} da banda dado pela Equação 2.10.

$$\lambda_{\text{pivot}} = \sqrt{\frac{\int R(\lambda) \lambda d\lambda}{\int R(\lambda) \lambda \frac{d\lambda}{\lambda}}} \quad (2.10)$$

O λ_{pivot} representa a média ponderada da resposta do sistema e da distribuição de fluxo, integrada sobre os comprimentos de onda da banda em consideração¹².

Para comparação das fórmulas e valores entre os comprimentos de onda pivotais e efetivos (Tokunaga e Vacca, 2005), ver as Equações A.1, A.2 e as Tabelas A.3, A.4 do Apêndice A.

2.2.3 Transformação de Magnitude AB para Fluxo - GALEX

Os fluxos instrumentais do GALEX estão em *contagens por segundo (CPS)*. Nesta Seção descrevemos como podemos obter as magnitudes AB a partir deles (Morrissey et al., 2007).

2.2.3.1 Transformação da Magnitude AB da banda NUV para Fluxo

A relação entre a magnitude AB na banda NUV e o fluxo nas unidades usadas pelo GALEX é dada por:

¹²Ver http://www.stsci.edu/hst/HST_overview/documents/synphot/hst_synphot.pdf, página

$$m_{\text{NUV}}^{\text{AB}} = -2.5 \log \left(\frac{F_{\text{NUV}}}{2.06 \times 10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}} \right) + 20.08, \quad (2.11)$$

na qual as unidades para conversão do fluxo no NUV são:

$$1 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1} = 2.06 \times 10^{-16} \text{ CPS}.$$

Portanto, F_{NUV} é dado por:

$$F_{\text{NUV}} = 10^{-0.4(m_{\text{NUV}}^{\text{AB}} - 20.08)} 2.06 \times 10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}. \quad (2.12)$$

2.2.3.2 Transformação da Magnitude AB da banda FUV para Fluxo

A relação entre a magnitude AB na banda FUV e o fluxo em *CPS* para o GALEX é dada por:

$$m_{\text{FUV}}^{\text{AB}} = -2.5 \log \left(\frac{F_{\text{FUV}}}{1.40 \times 10^{-15} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}} \right) + 18.82, \quad (2.13)$$

na qual as unidades para conversão do fluxo no FUV são:

$$1 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1} = 1.40 \times 10^{-15} \text{ CPS}.$$

A conversão para a magnitude AB (Oke, 1990) para o FUV é dado por (Morrissey et al., 2007):

$$m_{\text{AB}} = -2.5 \log_{10} F_{\lambda}(\text{CPS}) + 18.82. \quad (2.14)$$

Portanto, F_{FUV} é dado por:

$$F_{\text{FUV}} = 10^{-0.4(m_{\text{FUV}}^{\text{AB}} - 18.82)} 1.40 \times 10^{-15} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}. \quad (2.15)$$

2.3 Correção da Abertura

Considerando os efeitos de abertura que temos neste trabalho, aplicamos, para os fluxos, no Capítulo 4, correções de abertura para os fluxos na região do ultravioleta. A correção é dada pela Equação 2.16, conforme descrito por Cid Fernandes et al. (2005):

$$F_{UV} = F_{UV}^* 10^{0.4(m_z^{\text{fibra}} - m_z^{\text{modelo}})}, \quad (2.16)$$

nos quais F_{UV} é o fluxo observado no ultravioleta (genericamente, tanto para o FUV quanto para o NUV) após a correção de abertura ser aplicada; F_{UV}^* é o fluxo observado no ultravioleta antes desta correção; m_z^{modelo} é a magnitude modelada do SDSS (*model mag*) para a banda z e m_z^{fibra} é a magnitude real medida pela fibra do SDSS na banda z ; a *model mag* pode ser considerada uma magnitude “total” da galáxia. A distribuição das correções de abertura está dada pela Figura 2.3.

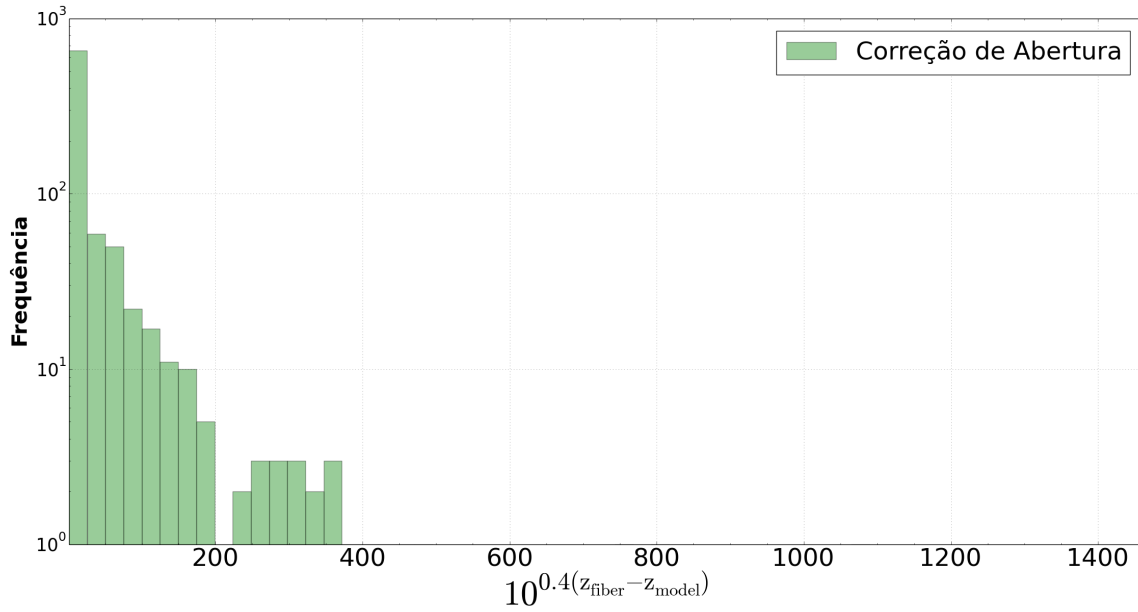


Figura 2.3: Distribuição da correção de fibra para os objetos. O valor máximo da correção foi de 1457.59 e o mínimo de 1.0. A média dessa correção é de 30.58 e a mediana é de 5.08.

É importante ressaltar que esta correção, calibrada na banda z do óptico assume que as correções no ultravioleta são idênticas àsquelas sofridas no óptico, o que pode acarretar um consequente viés no cálculo.

2.4 Leis de Extinção

Primeiramente, é necessário lembrar, de fato, o que é a extinção, como ela é definida e quais são os aspectos mais relevantes deste fenômeno dentro do processo de observação na Astrofísica.

Originalmente, esse fenômeno foi notado pelo fato de haver espaços “vazios” no céu e apenas nos anos 1920 e 1930 é que foi descrito pela primeira vez por Trumpler (1930), que percebeu deveria haver uma espécie de matéria difusa a dificultar a chegada dos fótons até o observador.

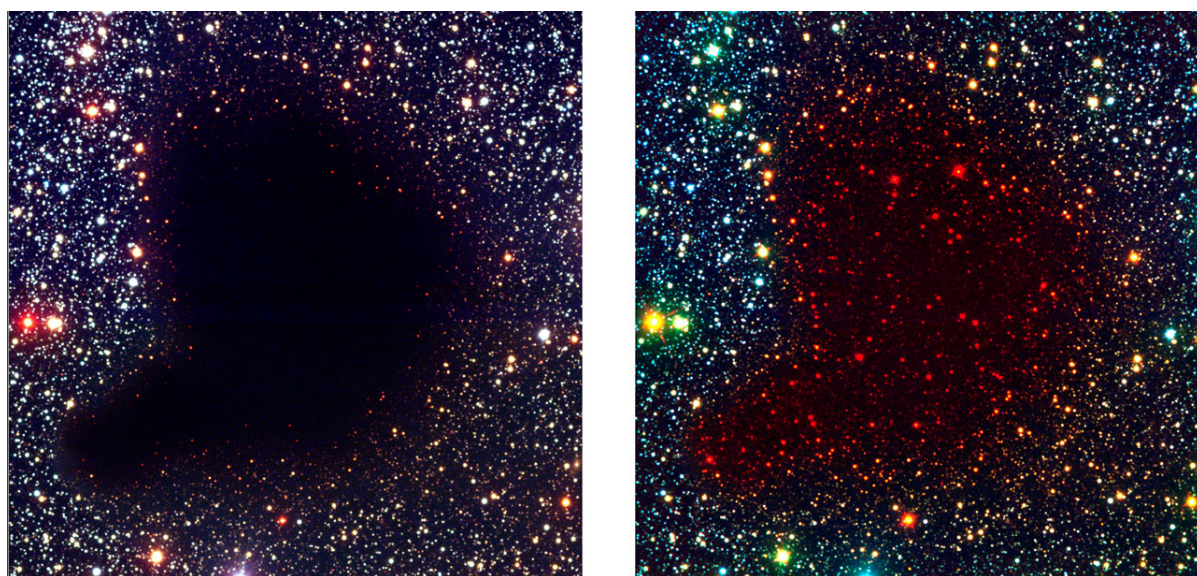


Figura 2.4: Apenas para caráter didático, temos duas figuras mostrando uma região famosa do céu noturno, Barnard 68, observada pelo *Very Large Telescope* em diferentes bandas. Na imagem à esquerda, temos a composição das observações nas bandas *B*, *V* e *I* (nos respectivos comprimentos de onda: $0.44\mu\text{m}$, $0.55\mu\text{m}$ e $0.90\mu\text{m}$); enquanto na imagem à direita, temos a composição das observações nas bandas *B*, *I* e *K_S* (nos respectivos comprimentos de onda: $0.44\mu\text{m}$, $0.55\mu\text{m}$ e $2.16\mu\text{m}$). Créditos: *European Southern Observatory* - ESO.

A Física por trás do fenômeno nada mais é do que a interação da radiação com o gás e a poeira; em outras palavras, os fenômenos físicos que explicam a extinção são: a absorção e o espalhamento da radiação eletromagnética. E é possível, de fato, notar que os efeitos causados pela extinção crescem conforme decresce o comprimento de onda, pois a radiação em menores comprimentos de onda interage mais com o gás e a poeira devido ao tamanho dos grãos. Em outras palavras, quanto mais próximo for o tamanho dos grãos, em ordem de grandeza, do comprimento de onda da radiação, mais interação haverá entre

eles, causando, em termos gerais, o efeito de *avermelhamento*.

Apenas a título de completude, quanto maior for o comprimento de onda, menor será a interação da radiação com o gás e a poeira, fazendo com que o material seja *transparente* à radiação (Weingartner e Draine, 2001).

Ao observar objetos de natureza Extragaláctica, é preciso considerar que a extinção total possui duas componentes: uma causada pelo gás e poeira da própria Via Láctea e outra causada pelo gás e poeira no interior de outras galáxias.

Nesta Seção, estamos a tratar a correção aplicada nas observações com relação à extinção causada pelo gás e poeira locais, i.e. da Via Láctea.

Por convenção, a extinção empírica numa determinada observação é mais comumente dada pelo *excesso de cor* nas bandas B e V no óptico (assim chamadas por fazerem referência a uma faixa de cor do óptico, e.g. B denomina a região do azul - *blue*) do objeto que se quer observar, normalmente denotado por $E(B - V)$:

$$E(B - V) = A_B - A_V = (B - V) - (B - V)_0, \quad (2.17)$$

nos quais temos que $E(B - V)$ é o excesso de cor para as bandas B e V; A_B e A_V são as extinções totais fotométricas para as respectivas bandas de tal forma que as magnitudes observadas são uma composição da emissão e da extinção do objeto:

$$V = V_0 + A_V \quad (2.18) \quad B = B_0 + A_B. \quad (2.19)$$

Assim sendo, podemos reescrever a equação 2.17 conforme a equação 2.20:

$$E(B - V) = A_B - A_V = \left(\frac{A_B}{A_V} - 1 \right) A_V. \quad (2.20)$$

No entanto, $\frac{A_B}{A_V}$ tem um valor aproximado de ≈ 1.324 para a Via Láctea (Cardelli et al., 1989; Fitzpatrick, 1999). Então, substituindo esse valor na Equação 2.20, temos que:

$$E(B - V) = \left(\frac{A_B}{A_V} - 1 \right) A_V = (1.324 - 1) A_V = 0.324 A_V. \quad (2.21)$$

Ou seja:

$$A_V = 3.086 E(B - V) \approx 3.1 E(B - V). \quad (2.22)$$

Por definição, R_V é adotado como um parâmetro indicador de extinção / avermelhamento da Via Láctea e normalmente considerado constante, independentemente da linha de visada (Cardelli et al., 1989). R_λ é definido segundo a equação 2.23:

$$R_\lambda \equiv \frac{A_\lambda}{E(B - \lambda)}, \quad (2.23)$$

na qual A_λ é o avermelhamento causado pela extinção em determinado comprimento de onda.

Para $\lambda = V$, temos:

$$R_V \equiv \frac{A_V}{E(B - V)} \approx 3.1. \quad (2.24)$$

Historicamente, a extinção causada pelo gás e pela poeira interestelar tem sido tópico de discussão e debate, sobretudo no que concerne a radiação ultravioleta. Até o presente momento não há uma convergência dentro da comunidade científica com relação ao comportamento da extinção no UV, como predizê-la de maneira eficaz (Cardelli et al., 1989; Fitzpatrick, 1999; Peek e Schiminovich, 2013).

Inicialmente, neste trabalho, foi considerada a utilização da lei de extinção de Cardelli et al. (1989). No entanto, considerando o tratamento dado por Fitzpatrick (1999) para o ultravioleta e testes feitos com ambas Leis de Extinção, foi adotada então a lei proposta por Fitzpatrick (1999). Entretanto, na prática, a diferença entre Cardelli et al. (1989) e Fitzpatrick (1999) é desprezível, exceto na região do UV.

2.4.1 Lei de Extinção de Fitzpatrick

O trabalho de Fitzpatrick (1999) foi de extrema importância para o melhor entendimento de como as Leis de Extinção podem influenciar muito as correções das magnitudes e/ou fluxos, dada uma extinção. O autor propõe três métodos para que seja feita a correção da extinção no UV:

1. Por meio da utilização de uma curva global média - abordagem adotada semelhante por Cardelli et al. (1989);
2. Por meio da utilização de uma curva média, porém dependente da variação do parâmetro R - que, por sua vez, depende de outras bandas e, portanto, a nomenclatura difere do parâmetro R_V que, tradicionalmente, depende da banda V ;
3. Por meio da utilização de uma curva empírica local do céu que, aparentemente, é a melhor escolha, porém é a mais trabalhosa, pois requer o conhecimento detalhado da variação de R no céu em diversos comprimentos de onda.

Entretanto, pela dificuldade aplicar os métodos 2 e 3, basicamente adota-se o valor de $R = R_V = 3.1$ como sendo o valor médio da extinção da Via Láctea. Este valor foi inicialmente estimado nos trabalhos de Seaton (1979) e Savage e Mathis (1979), nos quais foram utilizados dados do antigo Satélite Espacial IUE¹³ (Boggess et al., 1978).

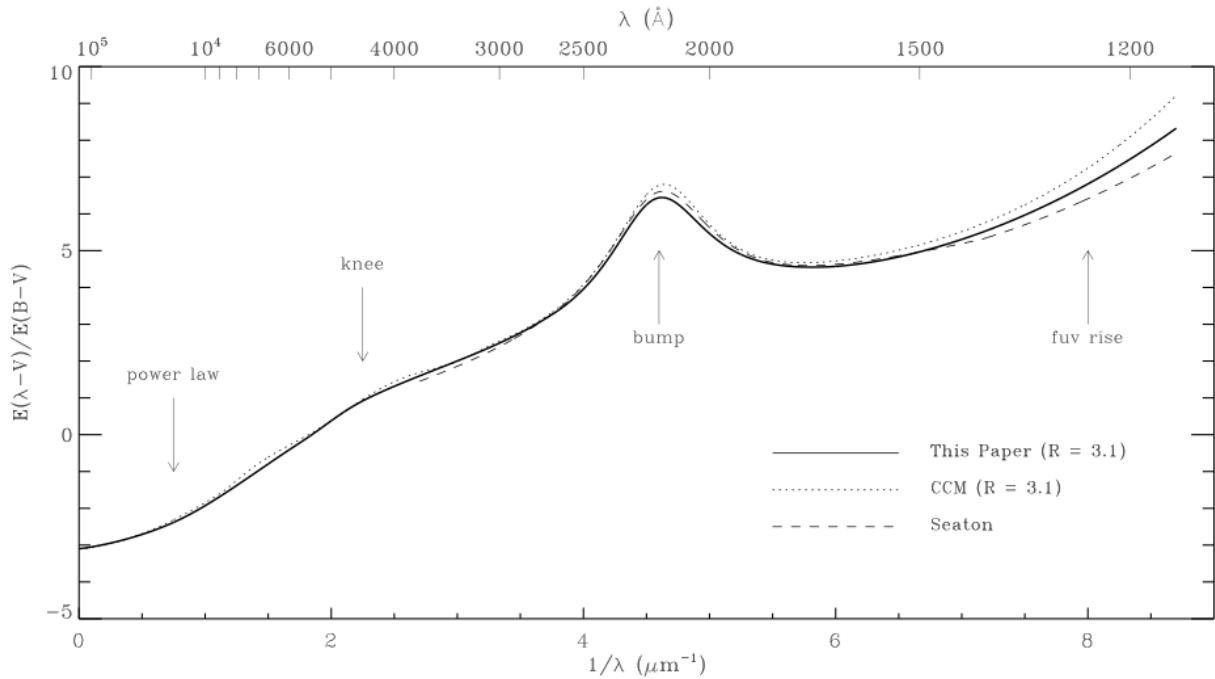


Figura 2.5: Curvas de extinção de três Leis de Extinção comparados: Seaton (1979), Cardelli et al. (1989) e Fitzpatrick (1999). Temos nesta figura a extinção interestelar normalizada para os intervalos de comprimento de onda do ultravioleta ao infravermelho distante. É preciso enfatizar que o valor de R_V para todos os modelos nesta figura é 3.1. Créditos da imagem: Fitzpatrick (1999).

¹³The International Ultraviolet Explorer

É possível perceber na Figura 2.5 que a curva de correção da lei de extinção de Fitzpatrick (1999) é diferente dos outros modelos citados (Seaton, 1979; Cardelli et al., 1989), especialmente com relação ao *FUV rise*, i.e. à subida da curva na região do ultravioleta distante.

2.4.1.1 Cálculo da Extinção Proposto no Modelo de Fitzpatrick

Fitzpatrick (1999) adotou, como modelo na sua lei de extinção, uma curva que depende do parâmetro R , conforme mostrado no item 2 da seção 2.4.1. Para determinar essa curva, o autor subdividiu sua estimativa em duas partes:

1. uma curva para o **ultravioleta** com um ajuste dependente do valor do coeficiente R ;
2. uma outra curva para a parte do **óptico** e do **infravermelho**, usando um ajuste do tipo *spline* cúbico, utilizando os valores de comprimento de onda (λ) dados pelas tabelas C.1 e C.2 no Apêndice C.

Assim, dado que o valor de R é calibrado na região do óptico e utilizada na curva de extinção como um todo, adotamos o valor “padrão” de $R = R_V = 3.1$ que é utilizada na equação 2.25 formulada por Fitzpatrick (1986).

$$\frac{E(\lambda - V)}{E(B - V)} = c_1 + c_2 \lambda^{-1} + \frac{c_3}{\left[\lambda^{-1} - \frac{x_0}{\lambda^{-1}}\right] \gamma^2} + c_4 \left[0.539 (\lambda^{-1} - 5.9)^2 + 0.0564 (\lambda^{-1} - 5.9)^3\right]. \quad (2.25)$$

Para melhor entender o significado de cada um dos parâmetros da Equação 2.25, ver o Apêndice C.2.

Em suma, a Equação 2.25 é a equação analítica que descreve a curva de extinção $\left(\frac{E(\lambda - V)}{E(B - V)}\right)$. Para a região do ultravioleta é dada pela Equação 2.25; e, para a região do óptico e infravermelho, a curva é calculada por meio de um *spline* cúbico, utilizando os valores de comprimento de onda (λ) dados pelas tabelas C.1 e C.2. Portanto, ao contatenar as duas partes da curva descritas anteriormente, obtemos a curva ilustrada pela Figura 2.5.

2.5 Escalonamento Espectral do STARLIGHT e os Dados Observacionais

Ao avaliar os resultados da síntese espectral das galáxias e compará-los com os resultados das observações fotométricas feitas pelo SDSS e pelo GALEX, é necessário colocarmos todos em um mesmo patamar de comparação. Para isso, escalonamos os dados observacionais com relação aos espectros sintéticos provenientes da análise do STARLIGHT. Não obstante, é necessário notar que os espectros de saída do mesmo não são aqueles normalizados na janela de $4010 - 4060\text{\AA}$ (Cid Fernandes et al., 2005).

Considerando que os resultados da análise do STARLIGHT foram obtidos a partir da ponderação das bibliotecas de populações estelares de Bruzual e Charlot (2003) com relação aos espectros observados do SDSS, usamos unicamente como referência neste processo de ajuste/escalonamento as observações fotométricas na região do óptico, provenientes do SDSS. Em outras palavras, os dados do satélite GALEX não são considerados neste processo.

Portanto, a fim de escalonar os dados fotométricos observados do SDSS e do GALEX e os espectros semi-empíricos resultantes da análise do STARLIGHT, foi utilizada a técnica de minimização do χ^2 . Para tanto, partimos da ideia de que o fluxo observado em cada comprimento de onda (F_{λ}^{obs}) é dado pelo fluxo sintético ($F_{\lambda}^{\text{sint}}$) multiplicado por um fator de escalonamento (C).

$$F_{\lambda}^{\text{obs}} = C F_{\lambda}^{\text{sint}}. \quad (2.26)$$

Por minimização de χ^2 (para mais informações ver Equação D.3 Apêndice D), chegamos à expressão utilizada neste trabalho para determinação deste fator de escalonamento:

$$C = \frac{\sum_{\lambda=1}^4 \frac{(F_{\lambda}^{\text{sint}} F_{\lambda}^{\text{obs}})}{(\sigma_{\lambda})^2}}{\sum_{\lambda=1}^4 \frac{(F_{\lambda}^{\text{sint}})^2}{(\sigma_{\lambda})^2}}, \quad (2.27)$$

no qual σ_{λ} é o desvio-padrão da banda λ .

Ao fazer o escalonamento dos dados observados com os espectros gerados pelo STARLIGHT e extrapolados na região do ultravioleta, obtemos gráficos como os mostrados na Figura 2.6. Lembrando ainda que o número $N = 4$ é referente às bandas do SDSS (g, r, i e z).

A banda u não foi considerada nesse escalonamento por conta de falhas instrumentais conhecidas¹⁴, mas é possível notar que em muitos casos ela é bem ajustada pelos modelos.

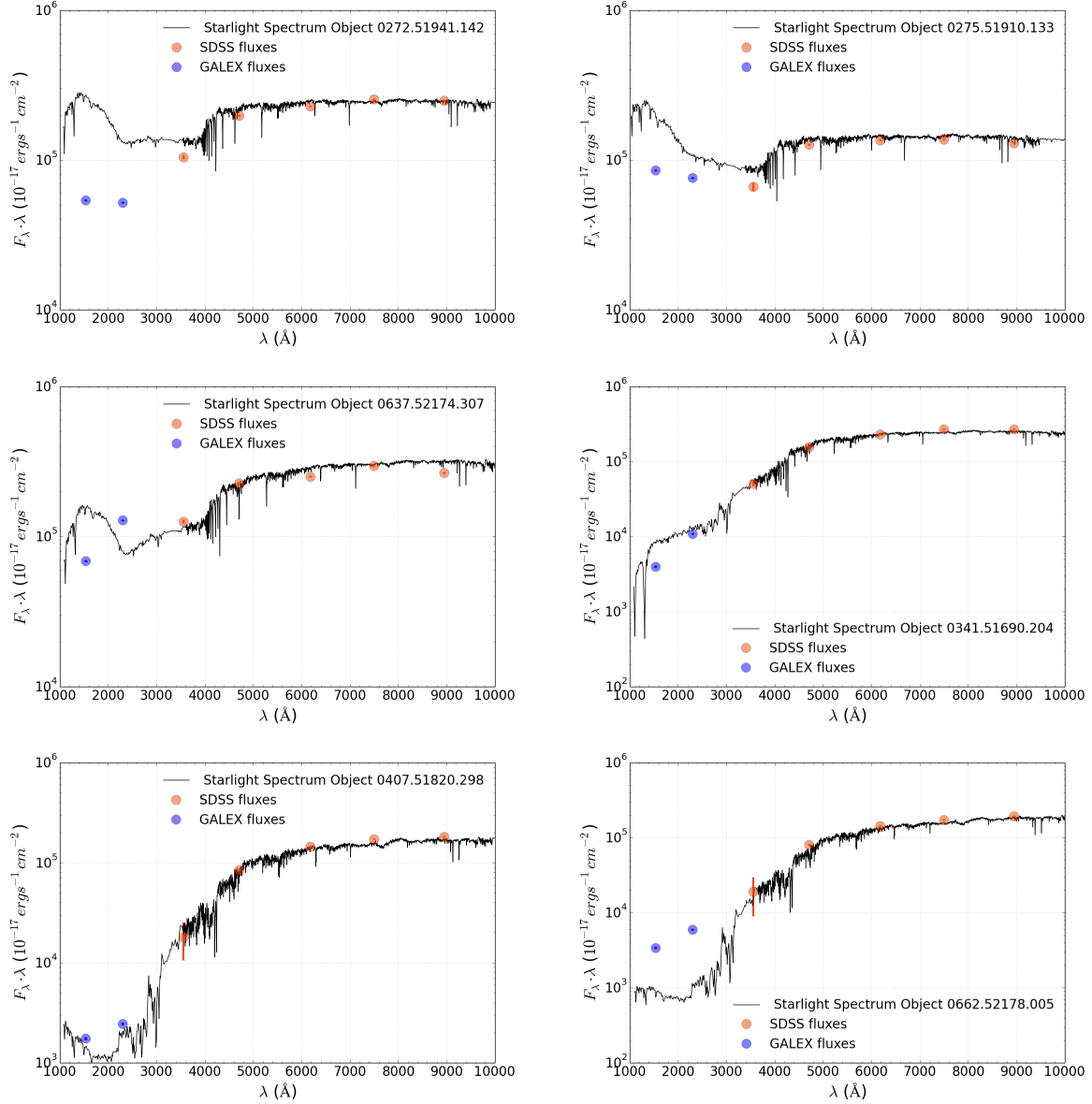


Figura 2.6: Exemplos de escalonamento para diferentes galáxias da amostra, incluindo as dos tipos *Early-Type* e *Late-Type*.

¹⁴Para mais informações sobre os problemas instrumentais na banda u do SDSS, ver:

<http://classic.sdss.org/dr7/products/images/>

Análise das Observações Fotométricas no Óptico e no Ultravioleta

Abordaremos neste Capítulo unicamente as correlações encontradas entre os dados observacionais do SDSS e GALEX. A análise será aprofundada no Capítulo 4 com a inclusão de resultados da Síntese Espectral.

3.1 Caracterização da Amostra por meio das Cores no Óptico e no Ultravioleta

Nesta seção temos a caracterização da amostra selecionada por meio de diversos diagramas feitos a partir dos dados observados e tratados.

A bimodalidade na cor $(g - r)$ das galáxias é algo explorado em diversos trabalhos anteriores, tais como os de Strateva et al. (2001), Baldry et al. (2004) e Mateus et al. (2007) e ela é um indicativo de duas grandes populações de galáxias: as azuis e as vermelhas. A bimodalidade é proeminente na cor $(g - r)$, pois ela pode ser considerada um traçador de idade.

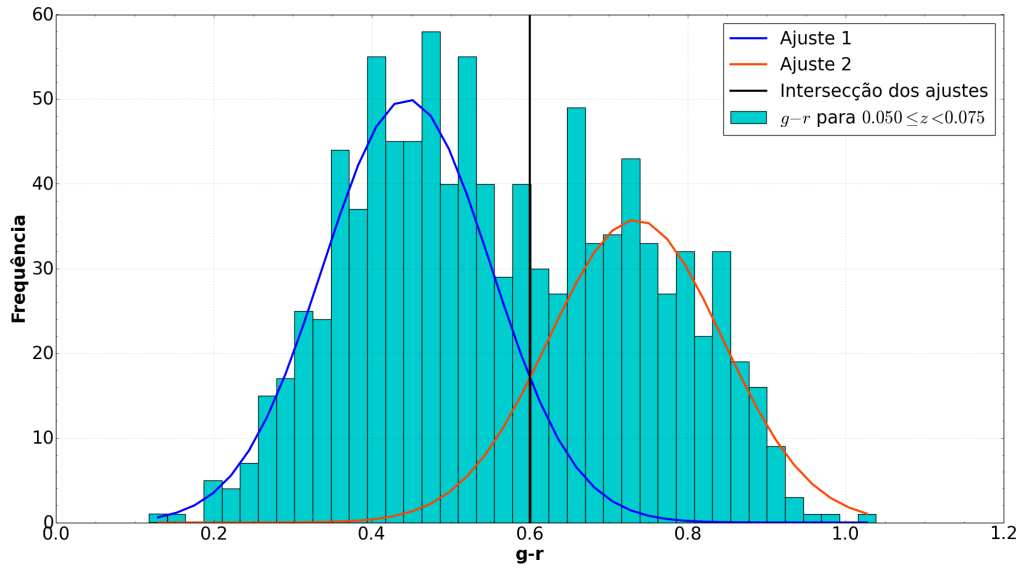


Figura 3.1: Histograma da distribuição de cor no óptico ($g-r$) e os ajustes individuais das distribuições azul e vermelha observadas.

No caso da nossa amostra, o ajuste para duplo pico na Figura 3.1 foi feito considerando a combinação de duas curvas gaussianas, conforme a Equação 3.1:

$$G_{\text{comb}}(x_1, x_2) = G_1(x_1) + G_2(x_2) = A_1 \exp \left[\frac{-(x_1 - \mu_1)^2}{2 \sigma_1^2} \right] + A_2 \exp \left[\frac{-(x_2 - \mu_2)^2}{2 \sigma_2^2} \right] \quad (3.1)$$

sendo $G(x)$ a curva gaussiana, x_i os valores para $g - r$ ($x = g - r$), μ_i é a média da Gaussiana e σ_i o seu desvio-padrão.

Os resultados obtidos para os parâmetros do ajuste dado pela Equação 3.1 estão na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Parâmetros do Ajuste para a Equação 3.1.

Parâmetros					
A_1	μ_1	σ_1	A_2	μ_2	σ_2
49.99	0.44	0.11	35.75	0.73	0.11

A intersecção dos ajustes se encontra em $(g - r) = 0.60$, como mostrado na Figura 3.1. Temos uma distribuição que evidencia a presença de duas grandes populações de

galáxias no óptico: uma mais azulada, à esquerda (ajuste azul na Figura 3.1), e uma mais avermelhada (ajuste em vermelho na mesma Figura). Este duplo pico está de acordo com trabalhos anteriores, tais como os de Strateva et al. (2001), Baldry et al. (2004) e Mateus et al. (2007). Uma medida da largura das populações é dada pelo desvio-padrão (σ).

Seria razoável supor que a mesma bimodalidade ocorresse em um histograma para as cores no ultravioleta ($FUV - NUV$), mostrado na Figura 3.2.

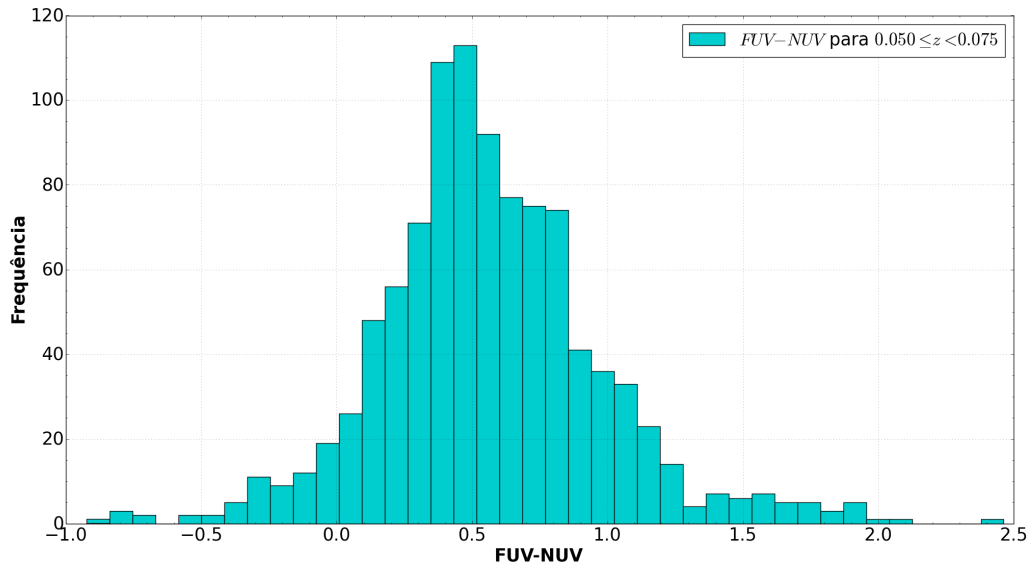


Figura 3.2: Histograma da distribuição de cor no ultravioleta.

Entretanto, é notório que não há nenhuma bimodalidade evidente. Portanto, para considerar as cores no ultravioleta, separamos a amostra em dois grupos: um com $(g - r) \geq 0.60$ e outra com $(g - r) < 0.60$ e os histogramas das cores no ultravioleta foram refeitos separadamente (para cada um desses dois grupos) e com os ajustes individuais, conforme a Figura 3.3.

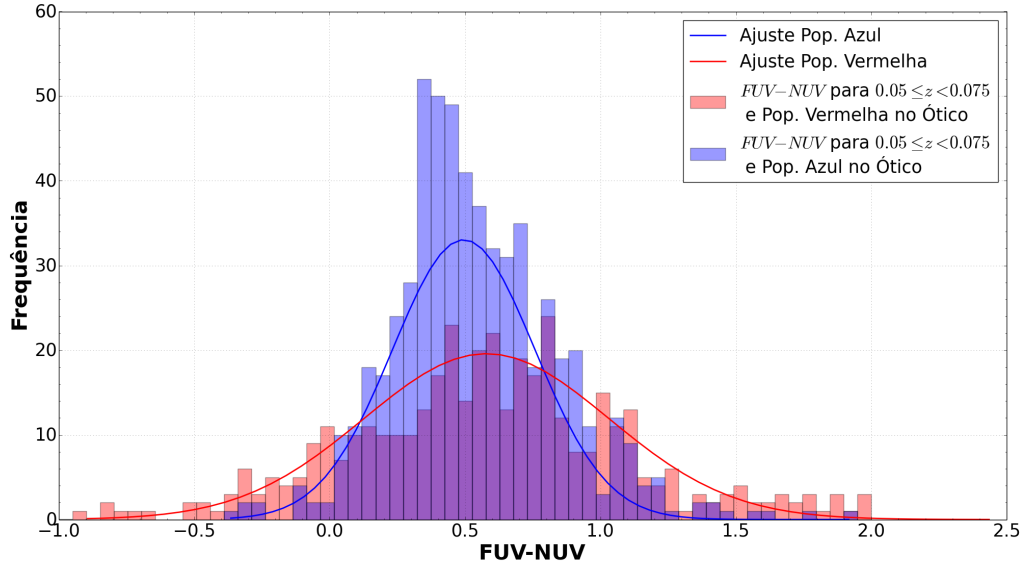


Figura 3.3: Histograma da cor no ultravioleta com as populações separadas conforme o diagrama no óptico dado pela Figura 3.1. Temos um total de 585 objetos *azuis* e 414 objetos *vermelhos* do total de 999 objetos nesse intervalo de *redshift*.

Os valores obtidos para os ajustes da Figura 3.3 estão na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros dos ajustes para o UV conforme a Equação 3.1

Parâmetros

$A_{vermelho}$	$\mu_{vermelho}$	$\sigma_{vermelho}$	A_{azul}	μ_{azul}	σ_{azul}
19.58	0.58	0.45	33.04	0.49	0.26

Nota-se um deslocamento entre os picos dos dois ajustes das gaussianas, de $(FUV - NUV)_{\mu_{azul} - \mu_{vermelho}} = +0.09$, mas esta diferença é pequena. Apesar de não termos uma real bimodalidade como aquela presente no óptico, observa-se uma maior concentração dos objetos azuis (menor σ); a dispersão é bem maior para os objetos vermelhos, que apresentam cores no ultravioleta extremas. Essa maior dispersão aparece novamente em gráficos posteriores envolvendo cores no ultravioleta.

Consideramos agora as distribuições de cor $(FUV - r)$ e $(NUV - r)$, discutidas em Wyder et al. (2007); Schiminovich et al. (2007); Martin et al. (2007).

Selecionamos, novamente, objetos com valores de $(g - r) < 0.6$ e $(g - r) \geq 0.6$ representados, respectivamente, pelos histogramas azuis e vermelhos nas Figuras 3.4 e 3.5.

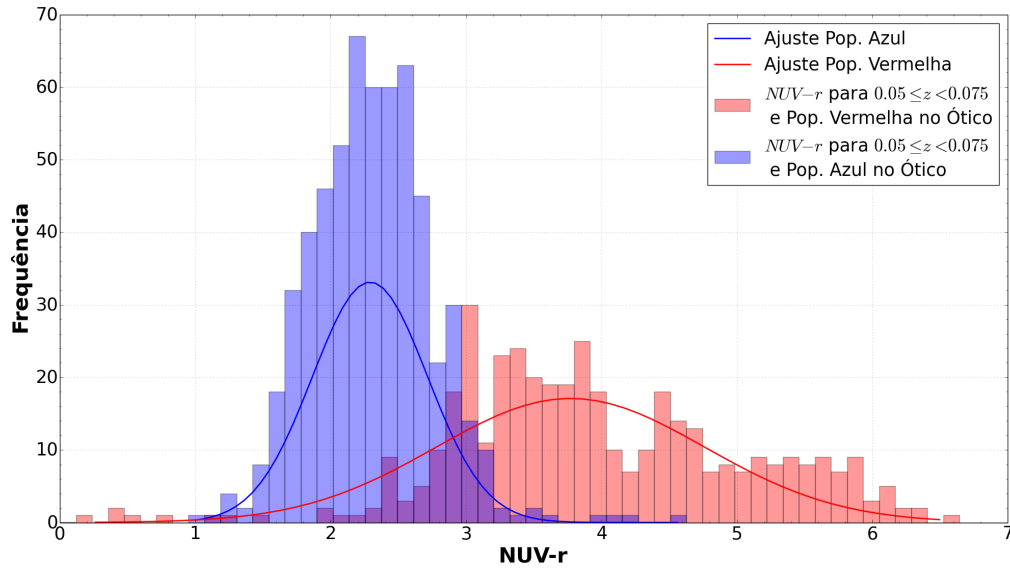


Figura 3.4: Histograma da distribuição de cor no óptico e no ultra violeta ($NUV - r$) e os ajustes individuais para ambos os picos observados.

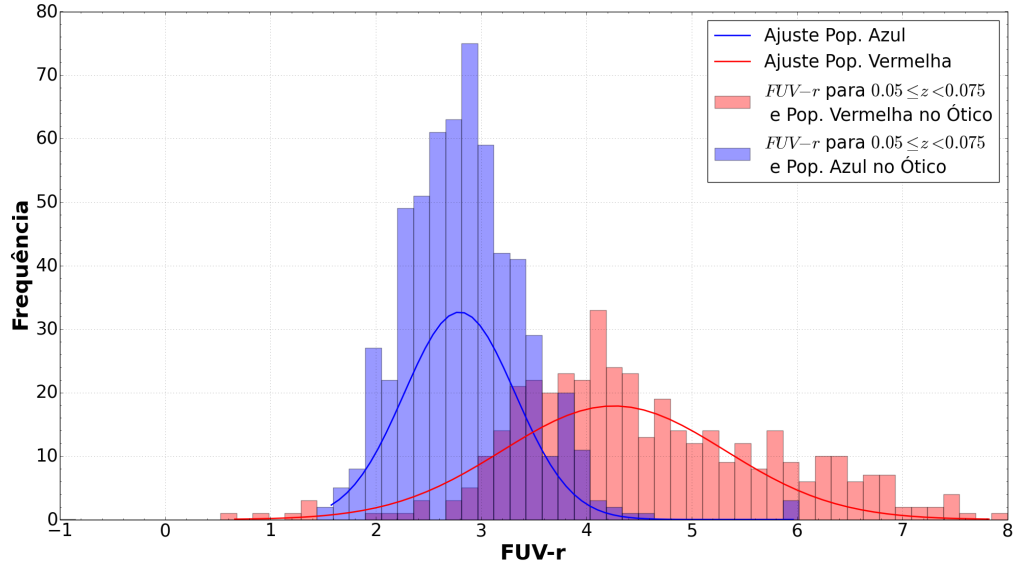


Figura 3.5: Histograma da distribuição de cor no óptico e no ultra violeta ($FUV - r$) e os ajustes individuais para ambos os picos observados.

Nas Figuras 3.4 e 3.5 é possível perceber uma bimodalidade bem mais evidente se compararmos com a Figura 3.3. Os parâmetros resultantes dos ajustes da distribuição normal para as populações azuis e vermelhas de ambas as Figuras 3.4 e 3.5, seguem na

Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Parâmetros dos ajustes para a distribuição das cores conforme a Equação 3.1 referente às Figuras 3.4 e 3.5.

Cor	$A_{vermelho}$	$\mu_{vermelho}$	$\sigma_{vermelho}$	A_{azul}	μ_{azul}	σ_{azul}
$NUV - r$	17.09	3.77	0.99	33.13	2.29	0.43
$FUV - r$	17.88	4.26	1.06	32.66	2.80	0.53

O comportamento dessas distribuições é bastante semelhante, mostrando que existe uma distância entre a média das distribuições (μ) azuis e vermelhas de 1.48 e 1.46 para $(NUV - r)$ e $(FUV - r)$, respectivamente. Esta separação certamente é mais clara do que para a Figura 3.3 que, por sua vez, apresenta diferença de 0.09. Nota-se que as galáxias vermelhas possuem uma dispersão cerca do dobro das azuis.

3.1.1 Coeficiente de Correlação de Spearman

Para analisarmos a correlação entre duas variáveis, usamos o Coeficiente de Correlação de Spearman (ρ). Diferentemente do Coeficiente de Correlação de Pearson - que, por sua vez, testa correlação ou anticorrelação linear entre variáveis -, o Coeficiente de Correlação de Spearman é muito útil para testar relações monotônicas entre duas variáveis. O parâmetro ρ possui valores $-1 \leq \rho \leq 1$, no qual 1 indica total correlação e -1 indica total anticorrelação entre os parâmetros; ρ próximo de *zero* indica ausência de correlação / anticorrelação.

O cálculo do Coeficiente de Correlação de Spearman é dado por:

$$\rho = 1 - 6 \frac{\sum_i^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (3.2)$$

nos quais x_i e y_i são as *ranks* das variáveis a serem correlacionadas e para uma amostra de n pares de medidas - ou, neste caso, objetos observados.

O parâmetro ρ é sensível a correlações não necessariamente lineares entre variáveis.

A significância do Coeficiente de Correlação de Spearman é representada por α . Quanto mais próximo α for de 0, maior a probabilidade de duas grandezas serem correlacionadas. No caso da Astronomia, é comumente usado o parâmetro 10^{-3} , equivalente a 3σ , para α

(Feigelson e Babu (2012), página 195): para uma correlação/ anticorrelação/ ausência de correlação ser significativa, $\alpha < 10^{-3}$

3.2 Diagramas Cor-Cor e Cor-Magnitude

Um dos primeiros resultados que tivemos foi perceber os efeitos de seleção importantes da nossa amostra. Considerando que foi feita uma série de restrições dentro da amostra e que os dados possuem necessariamente emissão no ultravioleta, o comportamento na região do óptico se mostra diferente em alguns aspectos do que se espera de amostras limitadas em volume ou magnitude. Lembramos ainda que a amostra que estamos usando é o resultado das buscas feitas e descritas na Capítulo 2.

Primeiramente, analisamos as correlações entre as magnitudes FUV e NUV no ultravioleta.

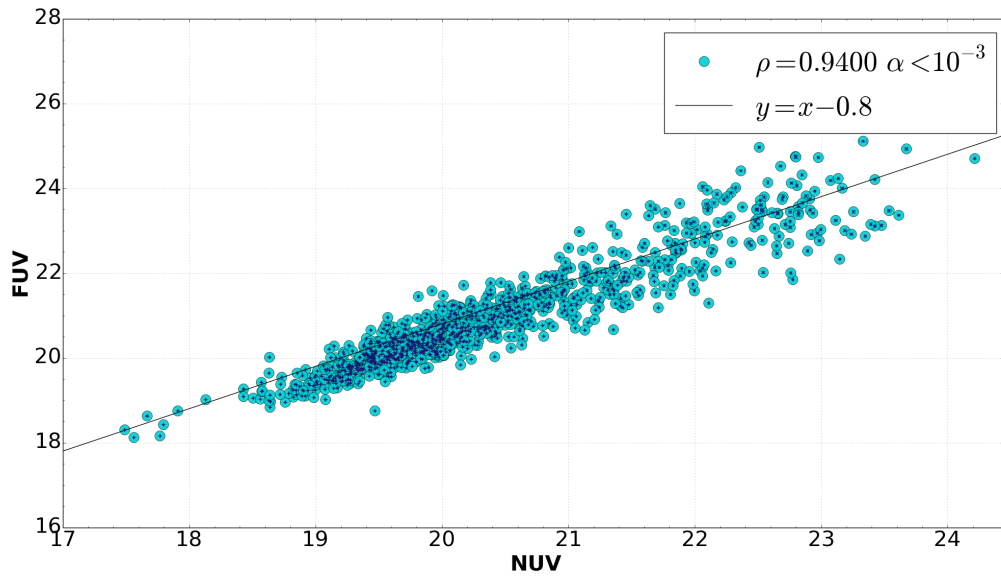


Figura 3.6: Gráfico NUV x FUV corrigidos pelo avermelhamento da Via Láctea. Os valores de ρ e α encontram-se expostos no canto superior esquerdo. A linha preta apresenta a curva um por um que seria esperada se as magnitudes FUV e NUV crescessem de forma igual.

A Figura 3.6 mostra uma forte correlação entre as magnitudes no ultravioleta - conforme esperado - independentemente do tipo de objeto observado. O valor de ρ mostra que a correlação é forte e o de α (Seção 3.1.1) é baixo o suficiente para assegurar sua

confiabilidade. Portanto, daqui por diante usaremos apenas uma banda no ultravioleta como referência nos diagramas, o FUV.

A fim de melhor estudar os objetos da amostra selecionada, foram feitos diversos diagramas de cor e de magnitude, dos quais os que mais trazem informação encontram-se nesta dissertação. O primeiro diagrama que mostrou-se interessante de analisar foi o com a cor no óptico *versus* a de cor no ultravioleta, conforme a Figuras 3.7.

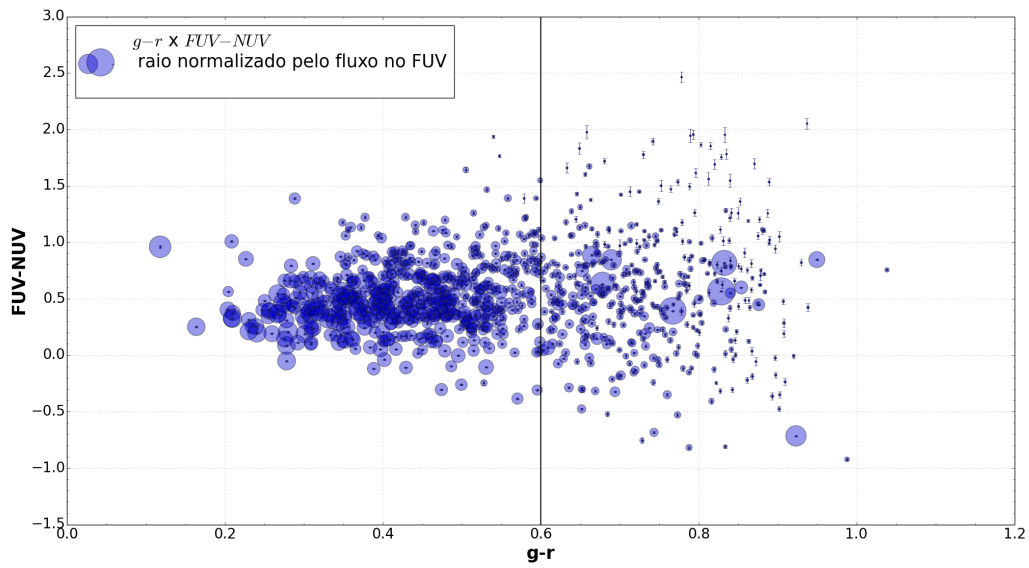


Figura 3.7: Diagrama cor-cor entre observações do SDSS e GALEX: $(g-r) \times (FUV-NUV)$. Os raios estão normalizados pelo fluxo na banda FUV. Marcamos a linha em $(g-r) = 0.6$ pelos motivos discutidos na Figura 3.1.

Na Figura 3.7 é possível observar que não existe nenhuma correlação forte entre as cores no óptico e no ultravioleta para a amostra selecionada. Contudo, conforme os objetos ficam mais vermelhos no óptico (i.e., $(g-r)$ aumenta), há uma maior variação nas cores do ultravioleta. Devido à grande dispersão deste gráfico, especialmente para as galáxias mais vermelhas na região do óptico, decidimos ver como as incertezas das magnitudes no ultravioleta variavam de acordo essas magnitudes. Portanto, foi feito a propagação de incertezas, conforme está descrito no Apêndice E. Verificamos que as incertezas nas cores são muito pequenas.

Logo, dado que as incertezas são tão pequenas que são difíceis de serem visualizadas no diagrama cor-cor (Figura 3.7), essa maior dispersão no vermelho é intrínseca à amostra

e não depende do aumento das incertezas.

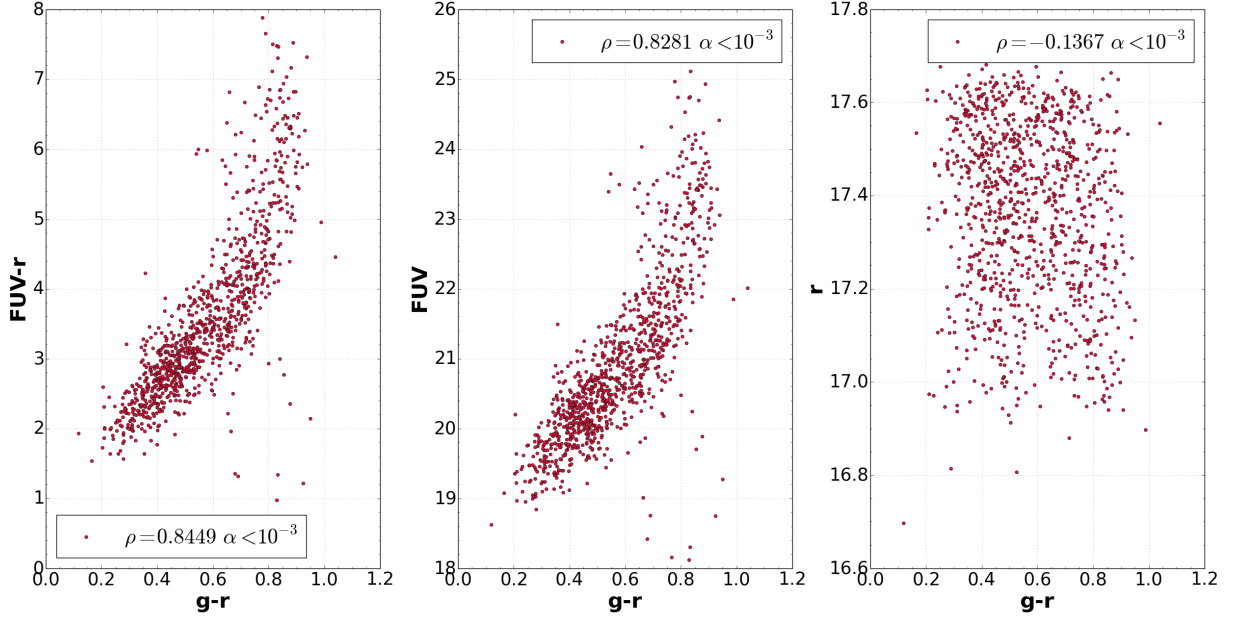


Figura 3.8: Respectivamente (da esquerda para a direita): diagrama cor-cor para $(g-r) \times (FUV-r)$ (a), diagrama cor-magnitude para $(g-r) \times FUV$ (b) e diagrama cor-magnitude para $(g-r) \times r$ (c). Mantivemos as Figuras (b) e (c) invertidas propositalmente a fim de compararmos com a Figura (a).

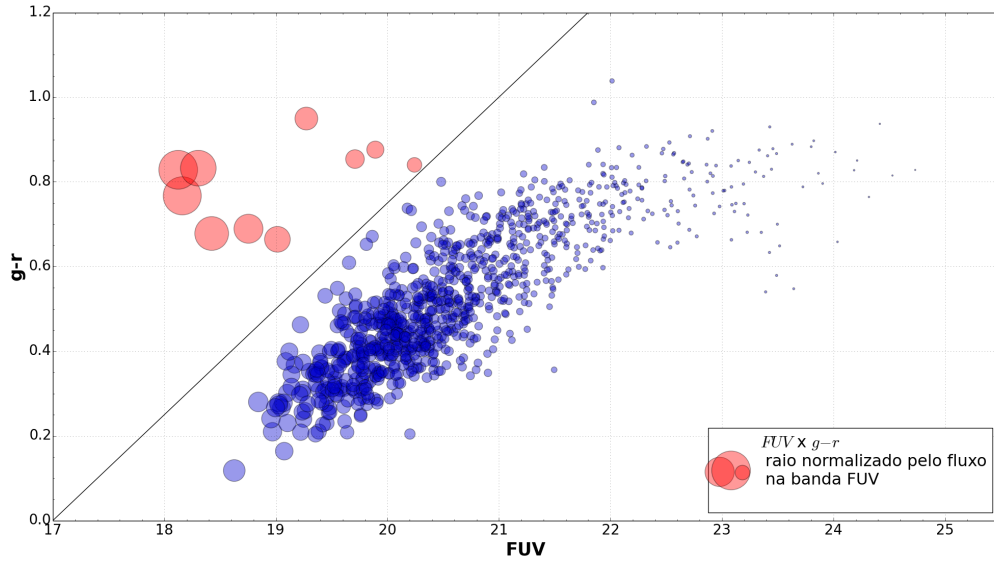
Considerando que os comportamentos com relação aos diagramas feitos usando cores $(FUV-r)$ e ao $(NUV-r)$ são muito semelhantes, neste trabalho mostramos os resultados utilizando unicamente a cor $(FUV-r)$.

Na Figura 3.8(a) percebemos que existe uma correlação significativa entre as cores $(g-r)$ e $(FUV-r)$. No entanto, a Figura 3.8(b) sugere que essa correlação não depende da magnitude na banda r do óptico, apenas do FUV. Para corroborar a hipótese, basta olhar para a Figura 3.8(c), no qual os pontos estão completamente dispersos. Portanto, a correlação mostrada na Figura 3.8 é devida principalmente à banda FUV (note os valores de ρ e α em cada um dos diagramas). Como estamos considerando um intervalo de *redshift* estreito, as magnitudes absolutas são, a menos de uma constante, parecidas com as magnitudes aparentes. Assim, a Figura 3.15(b) mostra que os objetos mais azuis são os mais luminosos no FUV e que conforme a cor aumenta (mais vermelha), esta luminosidade diminui.

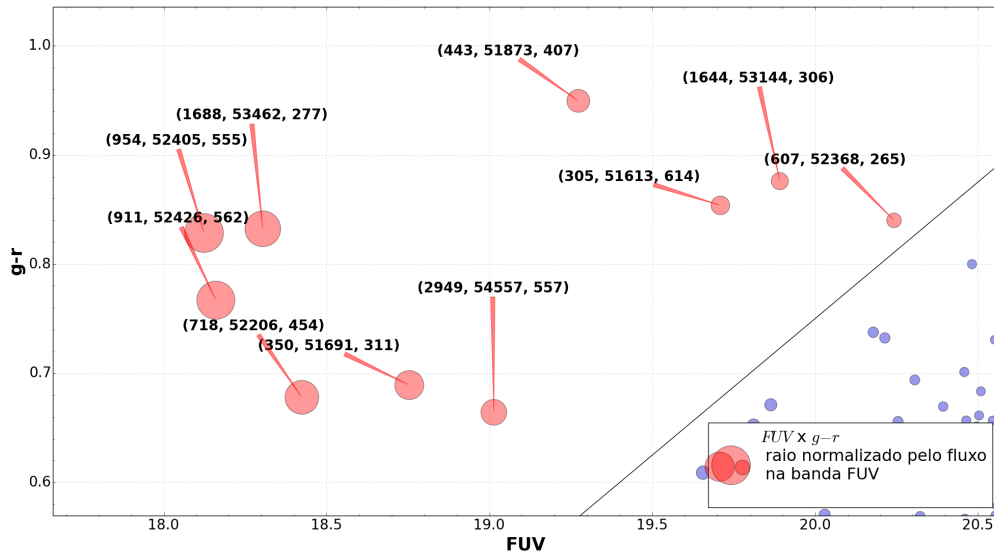
Visto que nos gráficos da Figura 3.8, a banda r não colabora para a correlação mostrada, usaremos, daqui por diante, apenas o diagrama cor-magnitude com a banda FUV.

Uma outra maneira de avaliar essa correlação foi refazendo o diagrama representado

pela Figura 3.8(b) com os raios dos pontos proporcionais ao fluxos na banda FUV.



(a)



(b)

Figura 3.9: Em (a): diagrama cor-magnitude para: $FUV \times (g - r)$ com o raio dos pontos normalizados pelo fluxo na banda FUV. A linha disposta na Figura separa a sequência dos *outliers*. A cor vermelha sinaliza os objetos vermelhos no óptico, mas luminosos no ultravioleta. Temos um zoom em (b) com os identificadores *plate*, *mjd* e *fiberID* explícitos em cada ponto.

Note que usamos as magnitudes AB no FUV, ao invés da magnitude absoluta, dado que a correção K não foi realizada, como descrito no Capítulo 2. Ao observamos o comportamento da Figura 3.9, aparentemente é possível ver dois grupos de objetos:

- Uma sequência formada tanto por objetos azuis quanto por vermelhos;
- Um conjunto de objetos vermelhos que são *outliers* da sequência mencionada e que são luminosos no ultravioleta (ver Seção 3.3).

Na sequência deste Capítulo esses *outliers* estarão destacados na cor vermelha.

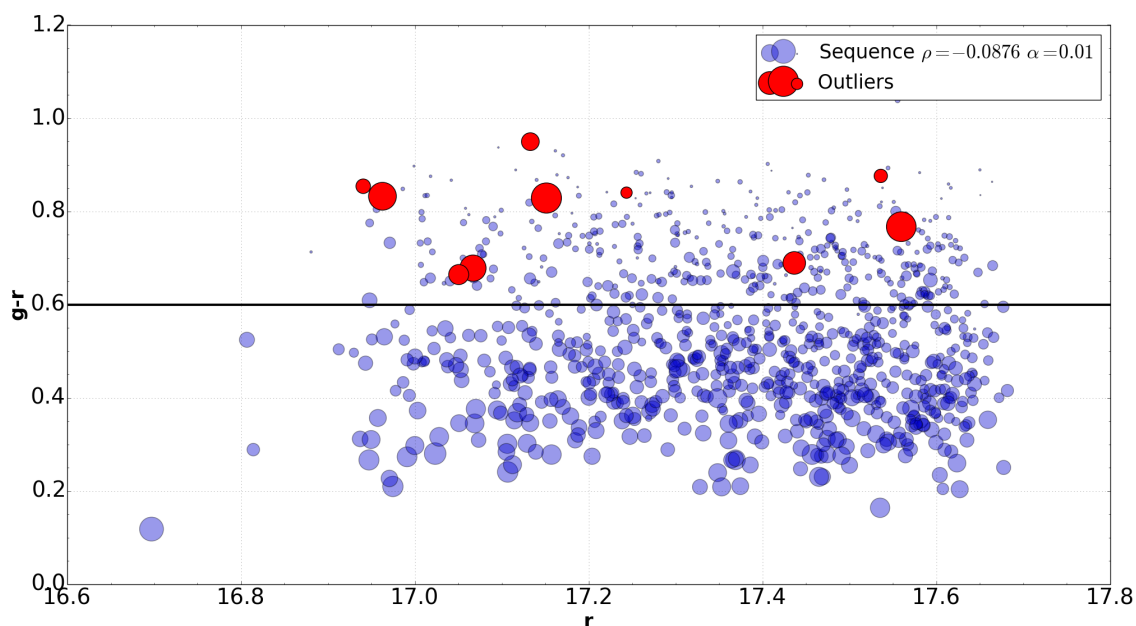


Figura 3.10: Diagrama r x $(g - r)$ nos quais r do SDSS e a cor $(g - r)$ é a cor. Os raios das bolinhas são proporcionais ao fluxo na banda FUV. Note os *outliers* em vermelho e que ρ é para toda a amostra e não apenas para a sequência.

Na Figura 3.10 temos um diagrama cor-magnitude no qual esperaríamos ter algumas tendências conhecidas como a *blue cloud*, o *green valley* e a *red sequence*. No caso, nota-se que a sequência vermelha (i.e. *red sequence*) não tem proeminência. Note que o raio dos pontos no diagrama é proporcional ao fluxo na banda FUV.

3.3 Visualização de Correlação com o AMADA

Dado que o resultado mostrado na Figura 3.9 é bastante interessante, decidimos fazer uma análise mais detalhada com o *software* em R, **AMADA**¹ (de Souza e Ciardi, 2015),

¹*Analysis of Multidimensional Astronomical Datasets*. Pacote disponível em:
<http://rafaelsdesouza.github.io/AMADA/>

que possibilita visualização de correlação de dados. A seguir mostramos e discutimos alguns desses gráficos, seus resultados e utilidade.

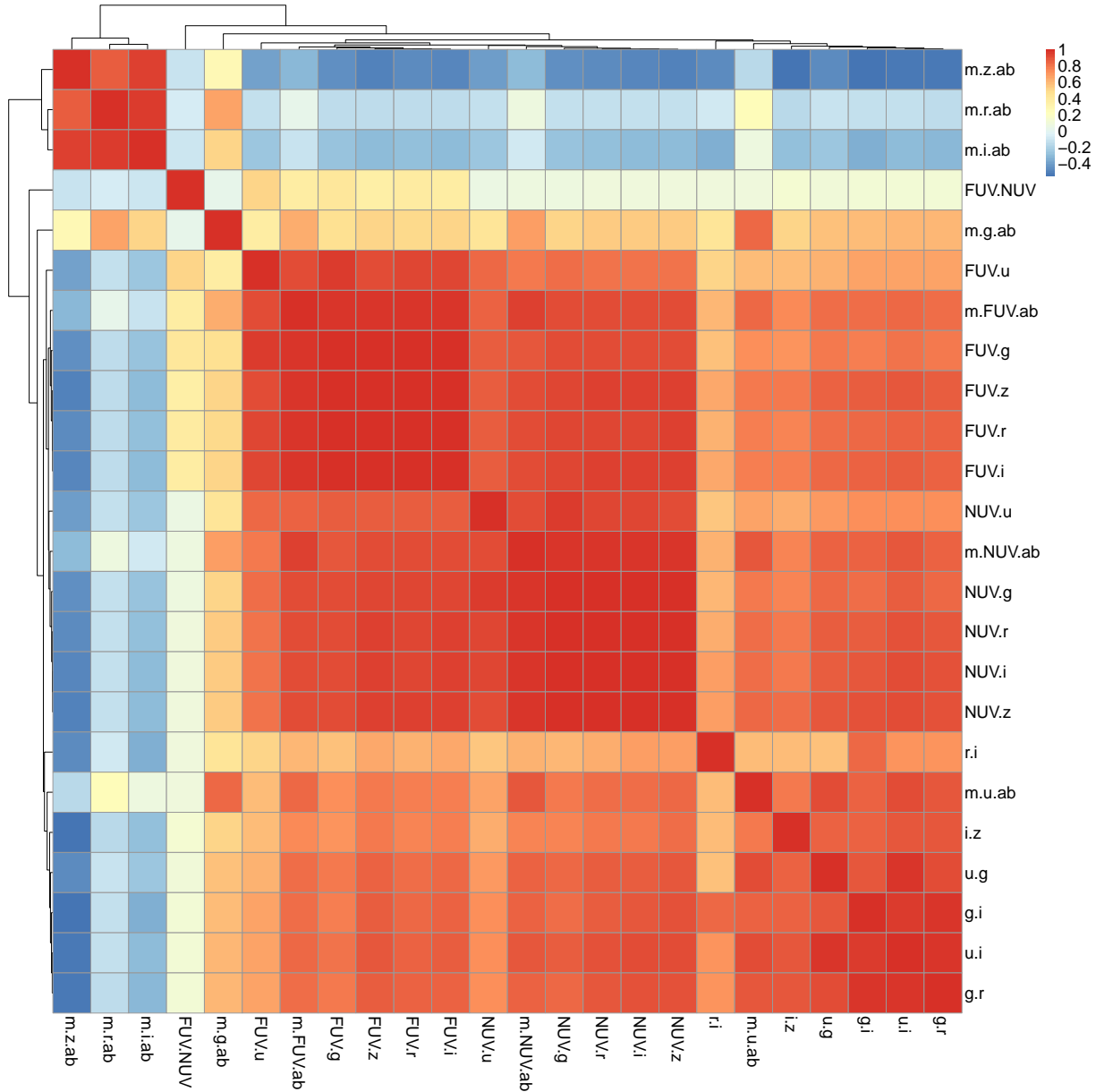


Figura 3.11: Matriz de correlação no formato *heatmap* para todas as cores no óptico e ultravioleta possíveis neste trabalho. Para esta correlação, foi considerada o Teste de Correlação de Spearman (Ver Seção 3.1.1) Temos aqui representadas as cores no óptico, óptico-ultravioleta e as magnitudes AB em cada uma das 5 bandas do SDSS e das 2 do GALEX. Perceba que grupos de correlação estão agrupados.

Na Figura 3.11 temos uma matriz de correlação cujos coeficientes estão expressos na forma de cor. Quanto mais vermelho, maior é a correlação; quanto mais azul, maior é a anticorrelação. Notam-se grupos de objetos correlacionados entre as magnitudes NUV e

FUV do ultravioleta.

A fim de melhor visualizar como as cores no óptico se correlacionam com o ultravioleta, isolamos a magnitude no FUV e as cores no óptico para compreender como elas se correlacionam entre si. Portanto, realizamos um novo *heatmap*, bem mais restrito, conforme a figura 3.12.

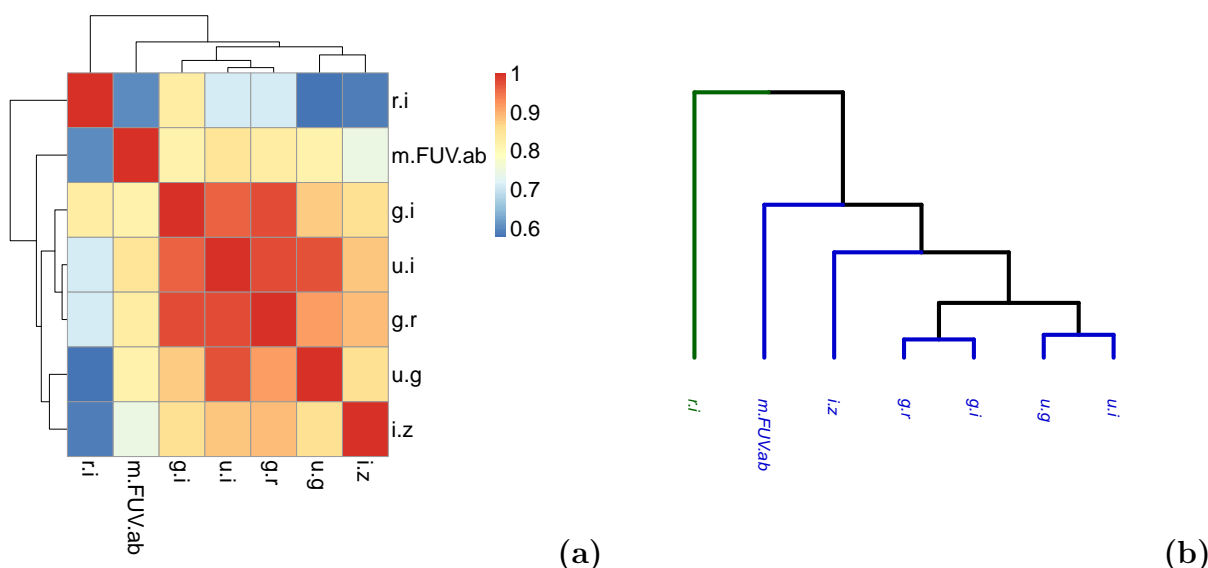


Figura 3.12: Matriz de correlação no formato *heatmap* para a Magnitude no FUV e as diversas cores no óptico mostradas em (a) e dendrograma para os mesmos parâmetros em (b). Note que o dendrograma está presente no topo e na lateral do *heatmap*.

O dendrograma é muito utilizado em Estatística para analisar grupos que são correlacionados, no formato de uma árvore e seus *branches* (ou *ramos*) e a mesma interligação de parâmetros aparece à esquerda e no topo do *heatmap*. Assim como há uma correlação entre FUV e a cor ($g - r$) no óptico mostrada na Figura 3.9, o *heatmap* (Figura 3.12 a) mostra que também existe correlação com os outras cores no óptico, mostradas na Figura 3.13.

A partir dos resultados ilustrados pela Figura 3.12 (b), o dendrograma mostra os dados mais correlacionados entre si. Conforme olhamos para os *ramos* superiores, vemos como os grupos vão se separando. Em outras palavras, as cores ($u - i$) e ($u - g$) são fortemente correlacionadas entre si; também temos as cores ($g - r$) e ($g - i$) fortemente correlacionadas entre si no *ramo* ao lado das cores citadas anteriormente. Subindo nessa escala, vemos que a cor ($i - z$) se correlaciona com ambos esses conjuntos de cores, porém de maneira menos forte; posteriormente temos a magnitude AB para o FUV e, curiosamente, encontramos

no último nível da correlação a cor ($r - i$). Sabendo que o AMADA agrupa de maneira hierárquica (indo da maior correlação até a menor) os conjuntos de variáveis, os resultados apresentados se mostram surpreendentes ao notarmos que, hierarquicamente, a magnitude no FUV é superior à cor ($r - i$) em termos de correlação com as outras variáveis analisadas.

Note que o dendrograma também está localizado na parte superior e na lateral esquerda do *heatmap*. Não obstante, não temos nenhuma variável sem correlação (ρ próximo de zero) ou com anticorrelação; ρ está variando entre valores próximos de 0.6 e 1.0.

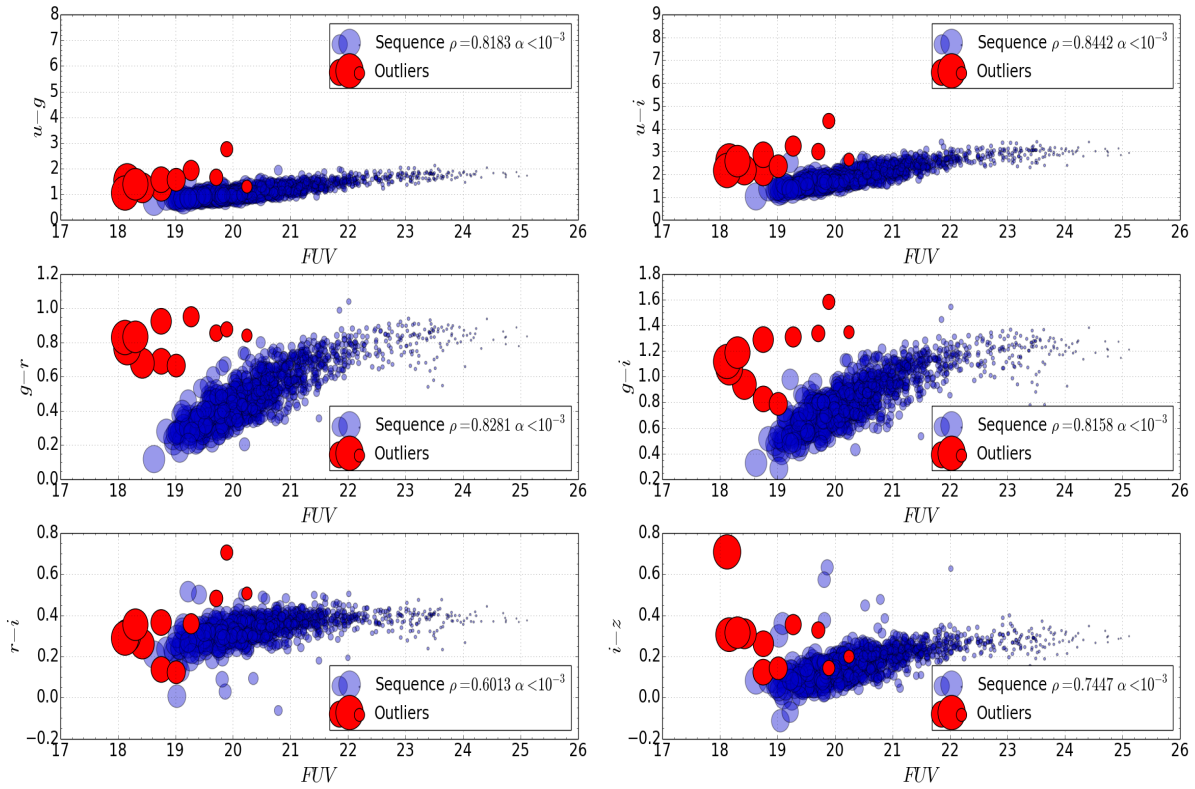


Figura 3.13: Diagramas cor-magnitude para todas as possíveis cores no óptico. Os *outliers* em ($g - r$) mostrados na Figura 3.9 estão em vermelho. Note que ρ é dado para toda a amostra em cada um dos diagramas.

Os resultados encontrados na Figura 3.13 são todos muito semelhantes ao resultado previamente encontrado para ($g - r$). Em todos os diagramas observamos as tendências discutidas para a Figura 3.9.

3.4 Diagramas de Diagnóstico

A fim de melhor entender a natureza dos objetos da amostra, utilizamos os diagramas de diagnóstico BPT (Baldwin et al., 1981; Kewley et al., 2001; Kauffmann et al., 2003) e WHAN (Cid Fernandes et al., 2011).

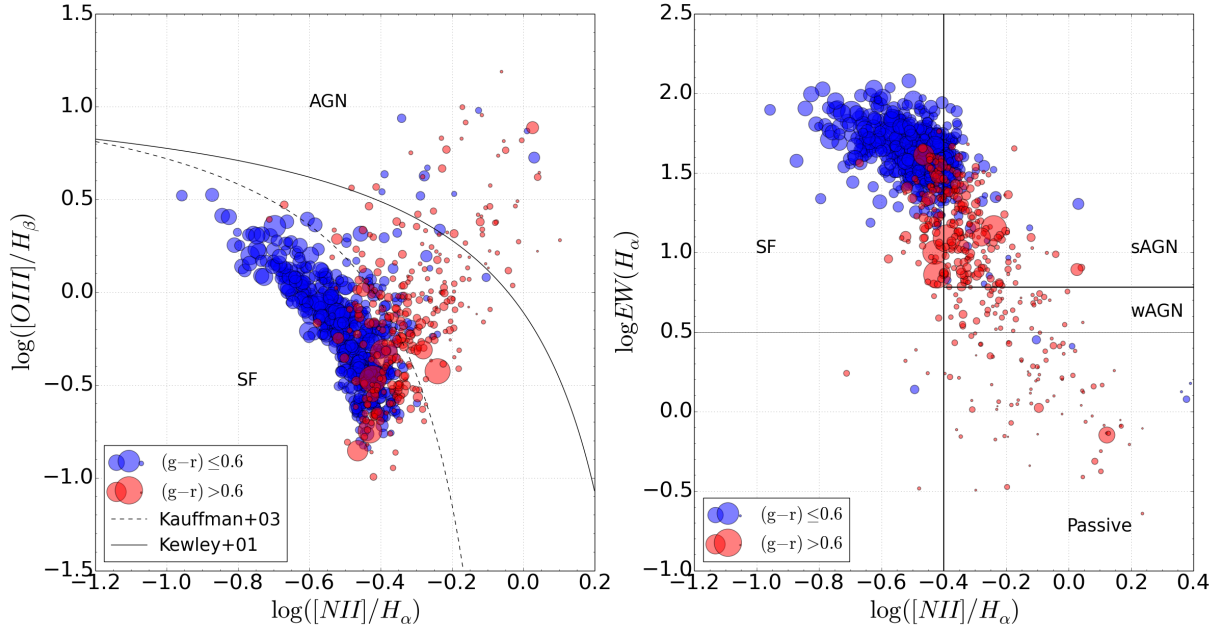


Figura 3.14: Diagramas de diagnóstico BPT (à esquerda) e WHAN (à direita) com, respectivamente, 940 e 867 objetos. Os marcadores azuis são os objetos com $(g-r) \leq 0.6$ e os vermelhos com $(g-r) > 0.6$. No diagrama BPT (à esquerda) temos as linhas contínua e tracejada, nas quais representam, respectivamente, os modelos de diagnóstico propostos por Kewley et al. (2001) e Kauffmann et al. (2003).

Dividimos a amostra em dois grupos: objetos azuis, $(g-r) \leq 0.6$ e vermelhos $(g-r) > 0.6$ e o raio dos marcadores nas figuras desta seção é proporcional ao fluxo no FUV.

Para o diagrama BPT, à esquerda da Figura 3.14, temos uma predominância de objetos azuis e muito brilhantes no ultravioleta na asa referente à SF, enquanto que os objetos mais vermelhos e menos brilhantes no ultravioleta estão em regiões onde ainda há SF, transição e poucos realmente na parte de AGNs. O comportamento geral da distribuição dos objetos está de acordo com o que sabemos sobre a emissão ultravioleta das galáxias, produzida principalmente pela presença de estrelas quentes e jovens. Ademais, temos menos objetos na asa de AGN devido aos efeitos de seleção da amostra. Os objetos na asa de AGN, no entanto, são tanto vermelhos quanto azuis na região do óptico. A maior parte dos objetos vermelhos está na região de transição do diagrama.

Ademais, para o diagrama WHAN, à direita da Figura 3.14, temos um comportamento de acordo com o esperado, até mais do que o BPT. A região de SF é dominada pelas galáxias azuis no óptico e muito brilhantes no ultravioleta, enquanto as regiões de wAGN, sAGN e galáxias passivas são dominadas por objetos vermelhos no óptico e com menor emissão no ultravioleta. No entanto, temos um misto de objetos azuis e vermelhos entre SF e AGNs. Isso sinaliza que a divisão por linhas perpendiculares neste diagrama pode não ser um método tão acurado de diagnóstico.

3.5 Os Outliers nos Diagramas de Diagnóstico

A fim de melhor entender a natureza desses *outliers* presentes na Figura 3.9 (e também presentes na Figura 3.13), utilizamos novamente os diagramas de diagnóstico BPT (Baldwin et al., 1981; Kewley et al., 2001; Kauffmann et al., 2003) e WHAN (Cid Fernandes et al., 2011) a fim de avaliarmos suas respectivas posições nos mesmos.

Os objetos em cor vermelha na Figura 3.9 são os mesmos em vermelho nos diagramas da Figura 3.15.

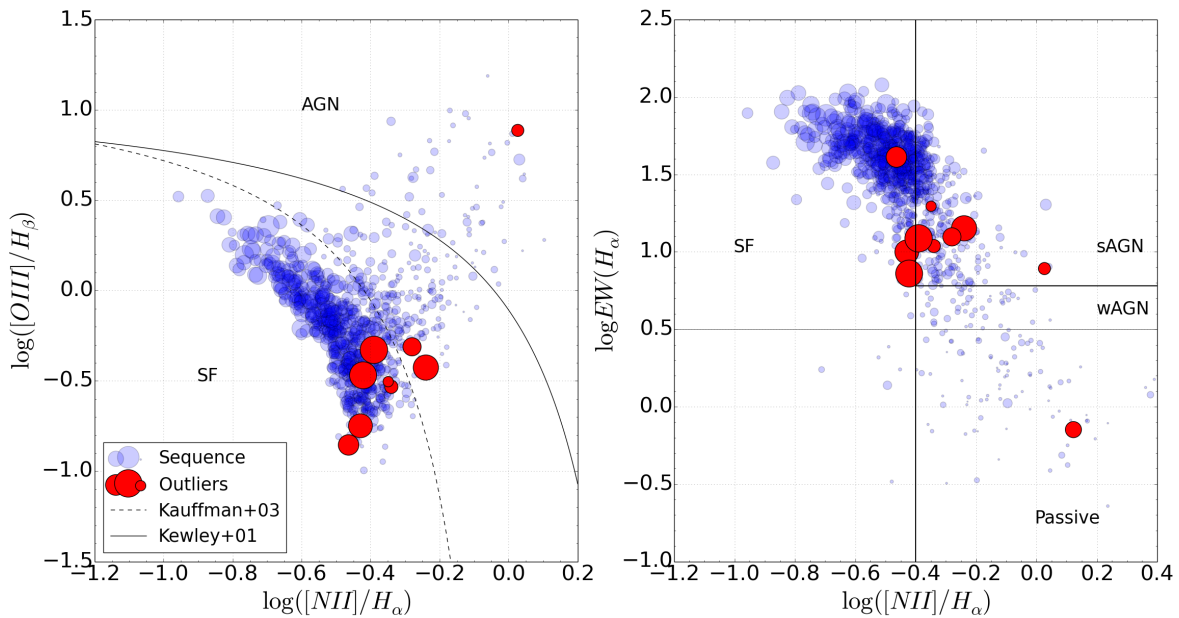


Figura 3.15: Diagramas de diagnóstico BPT (à esquerda) e WHAN (à direita) com, respectivamente, 940 e 867 objetos. Os marcadores azuis são os objetos da sequência (azuis também na Figura 3.9) e os vermelhos são os *outliers* (também em vermelho na Figura 3.9). No diagrama BPT (à esquerda) temos as linhas contínua e tracejada, nas quais representam, respectivamente, os modelos de diagnóstico propostos por Kewley et al. (2001) e Kauffmann et al. (2003).

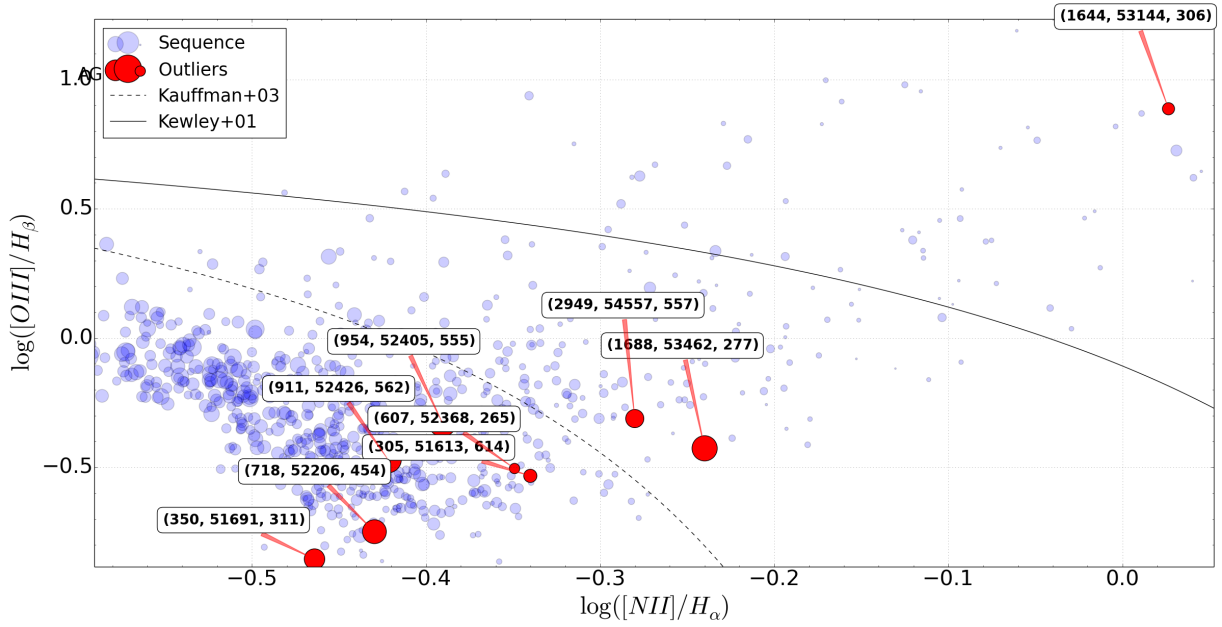


Figura 3.16: Zoom dos *outliers* expostos Figura 3.15, no diagrama BPT (esquerda).

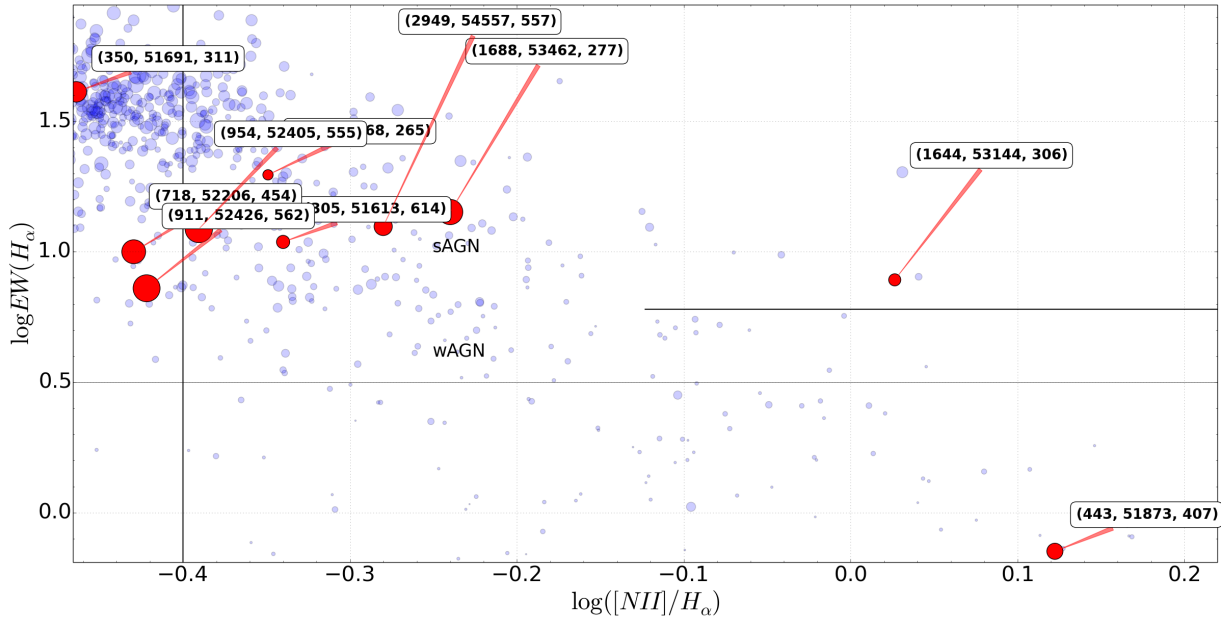


Figura 3.17: Zoom dos *outliers* expostos Figura 3.15, no diagrama WHAN (direita). Os objetos parcialmente cobertos são o 0607.52368.265 e o 0305.51613.614. Note que a galáxia passiva não aparece na Figura 3.16, pois a medida do valor de sua linha apresenta medidas espúrias.

Note que a quantidade de objetos é ligeiramente menor nos diagramas de diagnóstico, pois algumas linhas possuem valores medidos espúrios e, portanto, alguns objetos foram

desconsiderados. Entre os próprios diagramas há diferença na quantidade de objetos por conta dos valores espúrios de cada uma das linhas. Consideramos unicamente objetos com $S/N > 3$ para cada uma das linhas; e fração de *bad pixels* inferior a 25% para 1σ .

No diagrama BPT temos que os objetos destacados em vermelho, i.e. *outliers*, encontram-se na *asa* de formação estelar (*Star Forming*, i.e. SF), na região de alta metalicidade e/ou de transição com AGNs, exceto por um objeto que está na parte superior à direita. Esses objetos podem ser do tipo LINER ou Seyfert. Suas linhas de emissão os colocam numa região do diagrama que indica que esses objetos devem possuir AGNs, mas também devem ter formação estelar.

No diagrama WHAN, Figura 3.15 à direita, temos que a maior parte desses *outliers* se encontra na região de transição entre o que é considerado SF e AGN. Exceto por dois pontos: um está bem destacado como sAGN (*strong AGN*), ou seja, provavelmente uma galáxia Seyfert; e um outro ponto bem localizado na região das galáxias passivas (*Passive*) que geralmente não possuem mais sinal de formação estelar expressiva.

Tanto no diagrama BPT quanto no WHAN observamos objetos cujas propriedades são predominantemente de transição, possuindo características de objetos com formação estelar e AGN.

A fim de melhor compreender que tipos de objetos são esses (dez em particular), coletamos suas imagens e espectros do banco de dados do SDSS² que estão nas Figuras 3.18, 3.19, 3.20 e 3.21. Os identificadores desses objetos encontram-se na Tabela 3.4. A ordem das imagens é a mesma dos objetos na tabela citada.

²Em <http://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/chart/listinfo.aspx>.

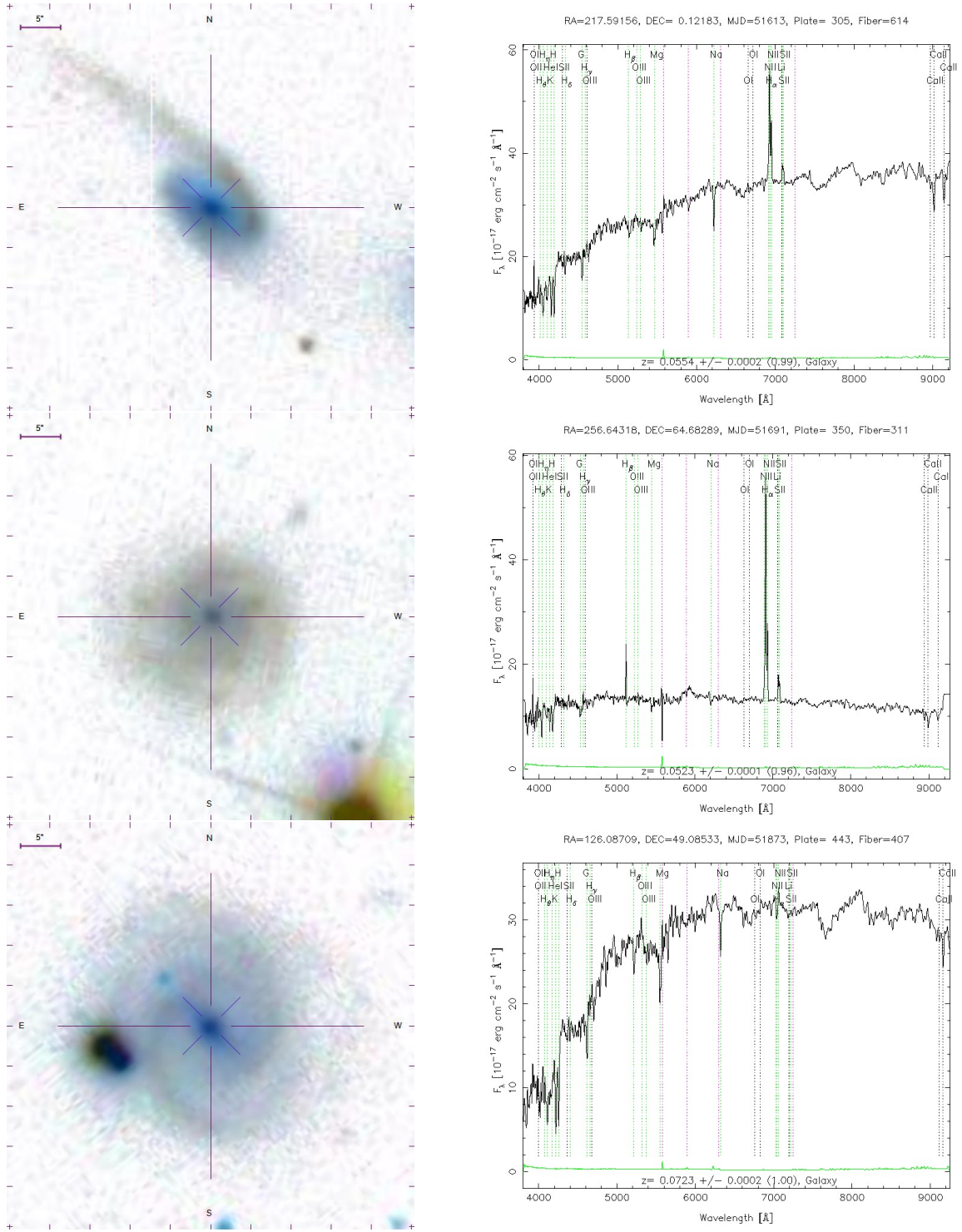


Figura 3.18: Outliers. De cima para baixo temos, respectivamente os objetos: 0305.51613.614, 0350.51691.311, 0443.51873.407

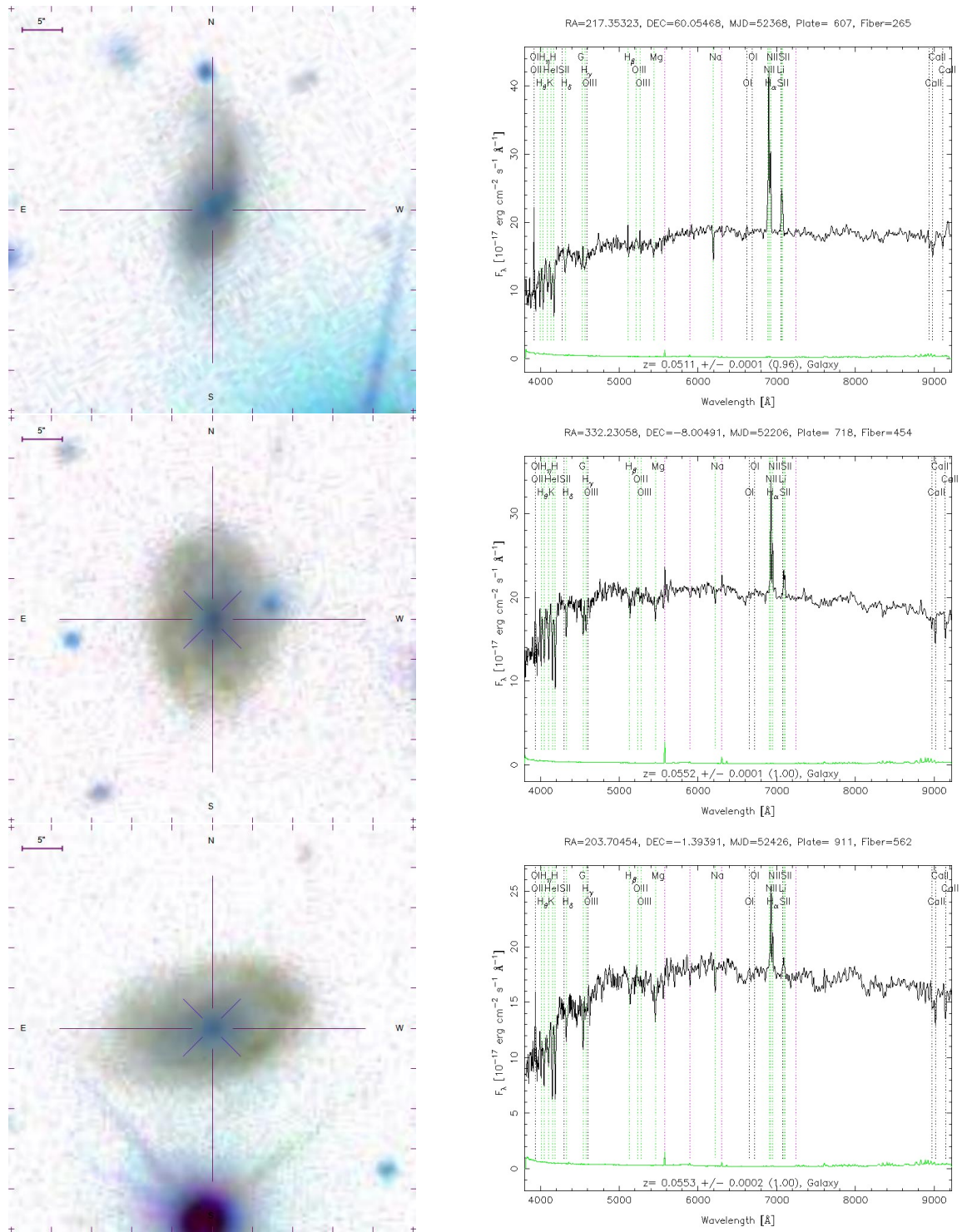


Figura 3.19: Outliers. De cima para baixo temos, respectivamente os objetos: 0607.52368.265, 0718.52206.454, 0911.52426.562.

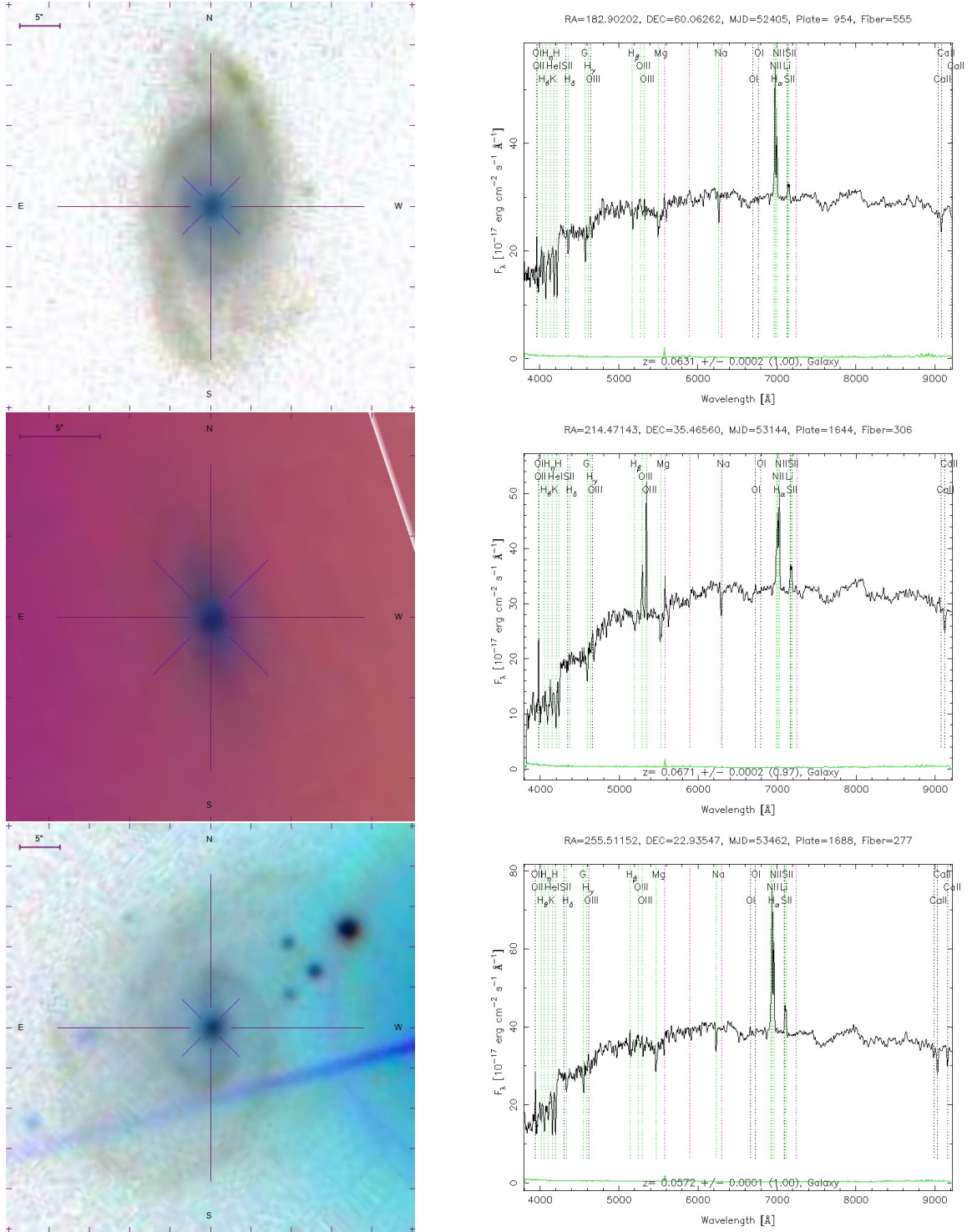


Figura 3.20: Outliers. De cima para baixo temos, respectivamente os objetos: 0954.52405.555, 1644.53144.306, 1688.53462.277.

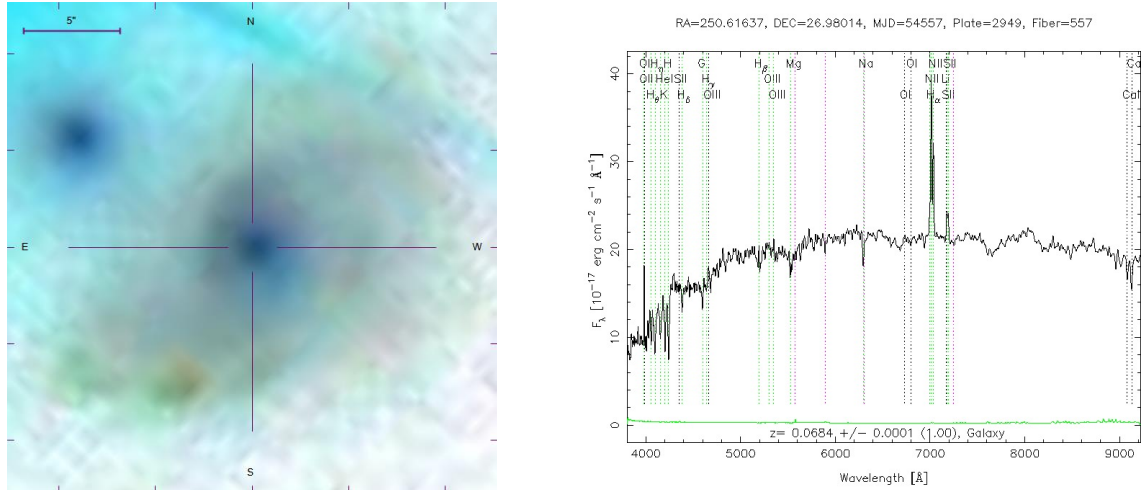


Figura 3.21: Outlier. Objeto 2949.54557.557.

Tabela 3.4 - Outliers

plate	mjd	fiberID
0305	51613	614
0350	51691	311
0443	51873	407
0607	52368	265
0718	52206	454
0911	52426	562
0954	52405	555
1644	53144	306
1688	53462	277
2949	54557	557

Ao observarmos as imagens e os espectros das mesmas, vemos que todos os outliers são, na realidade, galáxias do tipo *Late-Type* (espirais), com formação estelar nos braços - detectada pelo satélite GALEX - e com população estelar velha no bojo, conforme mostram os espectros, com o contínuo vermelho no óptico.

Observamos nesses *outliers* o claro efeito de seleção causado pelo tamanho da fibra do SDSS. Em um primeiro instante esses objetos aparentam ser do tipo *Early-Type*, dado o espectro da região central. No entanto, após uma inspeção visual, nota-se que se tratam, na realidade, de objetos com formação estelar em seus braços e com população estelar mais velha nas regiões centrais. Se observássemos os mesmos objetos com uma fibra mais larga,

é muito provável que esses objetos se movessem ao longo dos diagramas de diagnóstico, pois estaríamos considerando a luz integrada de uma maior parte da galáxia observada. Esses efeitos de abertura são discutidos em detalhes por Stasińska et al. (2015).

3.5.1 Conclusões

Em suma, temos uma bimodalidade nas populações no óptico indicada pela Figura 3.1 que é utilizada para caracterizar de maneira geral a nossa amostra. Tais populações, nas distribuições indicadas pelas Figuras 3.3, 3.4, 3.5 mostram que as cores no ultravioleta da população vermelha das galáxias possui uma maior dispersão do que as da população azul no óptico.

Ademais, existe uma forte correlação entre as cores no óptico e as magnitudes AB do ultravioleta (NUV e FUV), mostrando que existe uma sequência de objetos nesses diagramas (conforme Figuras 3.9 e 3.13), dando ênfase para a cor (g-r). Os *outliers* em (g-r) são objetos que sofreram demasiadamente os efeitos de abertura da amostra. Essas correlações foram testadas e corroboradas por meio do pacote em R, AMADA.

Por fim, mostramos pelos diagramas de diagnóstico o comportamento geral dos objetos e dos *outliers*. A amostra possui muitos objetos na asa de formação estelar e nas regiões intermediárias; menos objetos são encontrados na asa de AGNs. Isso também é um reflexo dos efeitos de seleção da nossa amostra. Para os *outliers*, temos objetos predominantemente em transição, mas que poderiam mudar de posição dentro dos diagramas BPT e WHAN caso suas observações tivessem sido realizadas com fibras maiores, coletando mais informação espectral das galáxias.

Comparação entre os Dados Fotométricos Observados com os Resultados da Síntese Espectral

Neste capítulo abordaremos os resultados obtidos a partir da análise dos dados observacionais em conjunto com os resultados da síntese espectral pelo STARLIGHT usando as bibliotecas de Bruzual e Charlot (2003).

4.1 Comparação entre os Fluxos Sintético e Observado no Ultravioleta

Na Figura 4.1, apresentamos um exemplo de espectro sintético com o escalonamento realizado para a fotometria no óptico e no ultravioleta

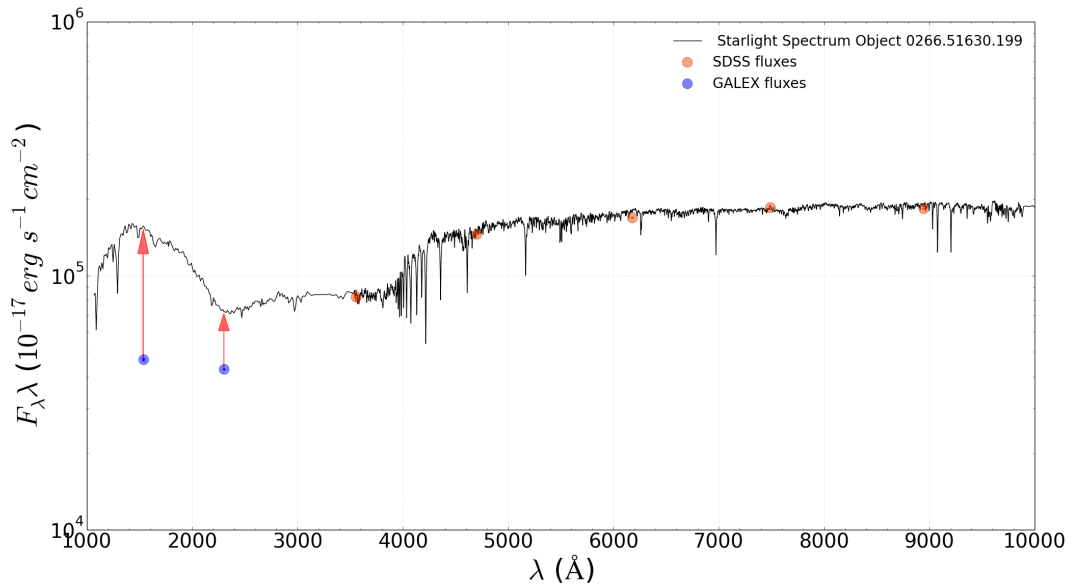


Figura 4.1: Imagem do espectro de um objeto com as observações fotométricas escalonadas. Note a grande diferença entre esses valores para a região do ultravioleta indicado pela seta vermelha.

Na Figura 4.1 notam-se grandes diferenças entre os valores dos fluxos observados e extrapolados conforme os modelos disponíveis nas bibliotecas de Bruzual e Charlot (2003).

Para melhor visualizar esse efeito em toda a amostra, apresentamos histogramas com as razões $\log F_{UV}^{\text{ sint }} / F_{UV}^{\text{ obs }}$ em escala logarítmica. Note que isso é proporcional à diferença entre as magnitudes observadas e sintéticas no ultravioleta.

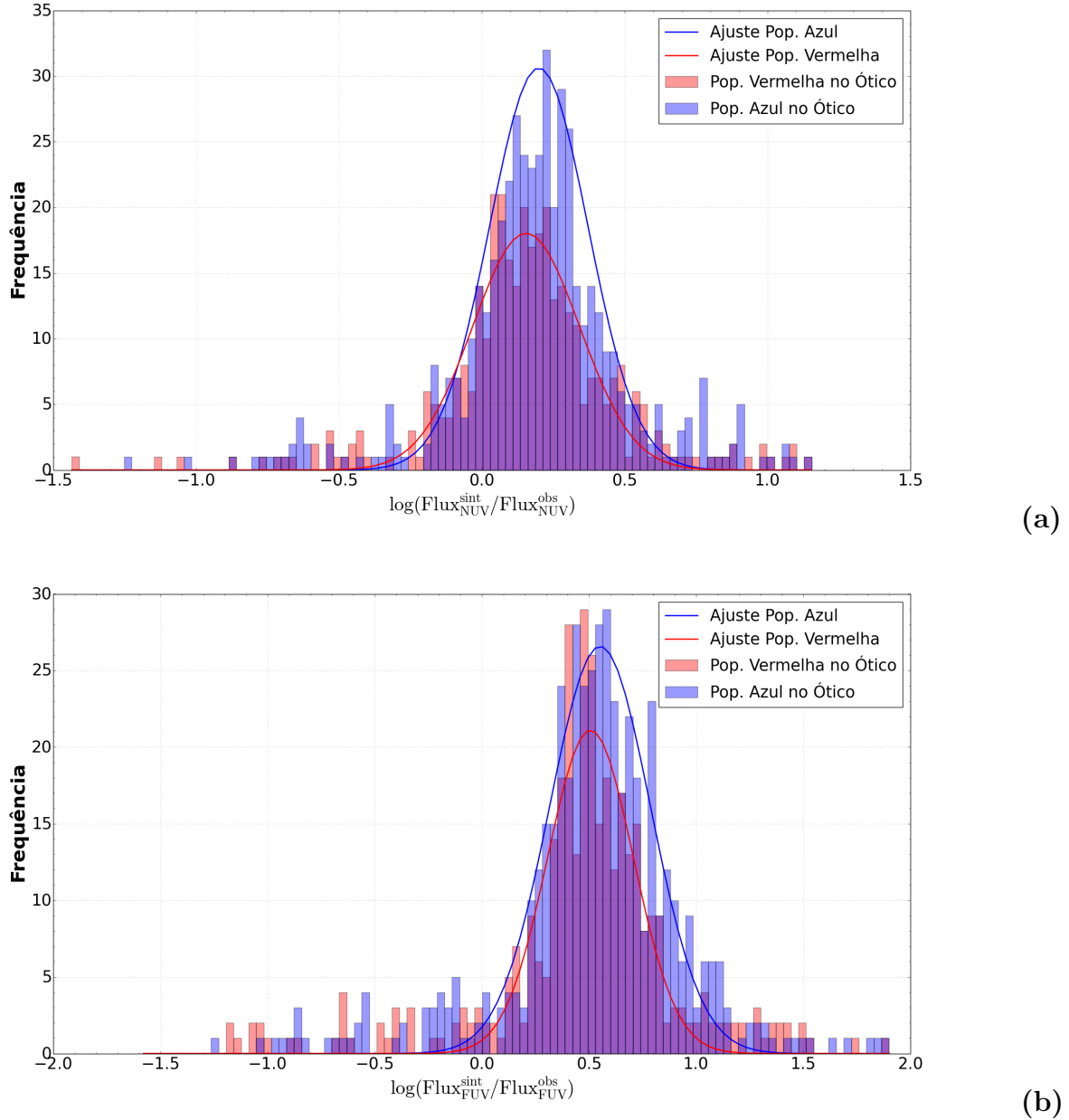


Figura 4.2: Histogramas com as distribuições das diferenças de fluxo sintético e observado, respectivamente, para NUV e no FUV para as duas populações de galáxias descritas no Capítulo 3; azuis e vermelhas de acordo com os valores da cor (g-r).

Os valores para os ajustes de cada uma das distribuições estão na Tabela 4.1; ademais, visto que as distribuições possuem característica gaussiana, medimos o parâmetro *skewness*, que indica a obliquidade (assimetria) da distribuição - para mais informações, ver Feigelson e Babu (2012), página 91.

Tabela 4.1 - Parâmetros dos ajustes para a distribuição para as razões de fluxo no ultravioleta, $\log(F_{\text{UV}}^{\text{int}}/F_{\text{UV}}^{\text{obs}})$, referente às Figuras 4.2(a) e (b).

$\log(\text{Razão})$	A_{vermelho}	μ_{vermelho}	σ_{vermelho}	<i>Skewness</i> (vermelho)	A_{azul}	μ_{azul}	σ_{azul}	<i>Skewness</i> (azul)
$\log(F_{\text{NUV}}^{\text{int}}/F_{\text{NUV}}^{\text{obs}})$	18.03	0.15	0.19	-0.45	30.62	0.20	0.17	-0.78
$\log(F_{\text{FUV}}^{\text{int}}/F_{\text{FUV}}^{\text{obs}})$	21.12	0.51	0.20	-1.10	26.59	0.55	0.23	-1.14

Notam-se diferenças expressivas com relação aos fluxos sintético e observado. No entanto, para ambas as populações de galáxias (i.e. azuis e vermelhas), as distribuições não são tão diferentes; para o NUV temos uma média do logaritmo da razão para a população vermelha de 1.42 e uma mediana de 1.44, e, para a população azul, média e mediana de 1.58 e 1.57, respectivamente. Para o FUV temos uma média para a população vermelha de 3.21 e uma mediana de 3.13, e, para a população azul, média e mediana de 3.56 e 3.48, respectivamente. A *skewness* para todos os casos é negativa, evidenciando que a cauda da distribuição gaussiana é maior para o lado esquerdo.

Os valores máximo e mínimo gerais para as razões apresentadas são, respectivamente, 14.26 e 0.04 para o NUV; 79.32 e 0.03 para o FUV. As maiores diferenças para o FUV devem ser devidas à qualidade da medição de tal banda pelo GALEX, causando maiores erros nessas medidas do que para o NUV. Não obstante, sendo a banda FUV mais distante da região óptica do espectro eletromagnético, as estimativas da síntese devem variar mais do que para a banda NUV.

4.2 Quebra de 4000Å e as Diferenças nos Fluxos Sintético e Observado no Ultravioleta

A fim de termos uma estimativa da qualidade da síntese espectral realizada pelo STARLIGHT, ajustamos os valores de D_n4000 observados e os dados pela síntese. O

resultado do ajuste entre ambos encontra-se na Figura 4.3.

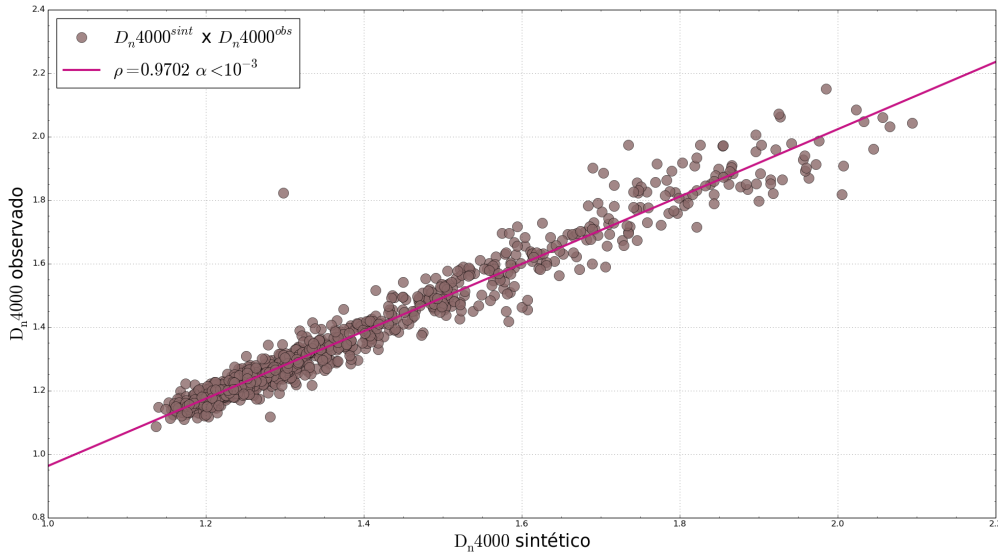


Figura 4.3: Ajuste entre os valores de D_n4000 Sintéticos *versus* Observados. Note os valores de ρ e α na Figura.

O ajuste mostrado pela Figura 4.3 foi bom, mostrando, em geral, uma boa reprodutibilidade dos resultados da síntese espectral para D_n4000 . Optamos, no entanto, por usar os valores de D_n4000 observados neste trabalho.

Sabendo que D_n4000 é um bom traçador de idade, usamo-lo para analisar as diferenças dos fluxos sintético e observado no FUV, conforme mostrado na Figura 4.4.

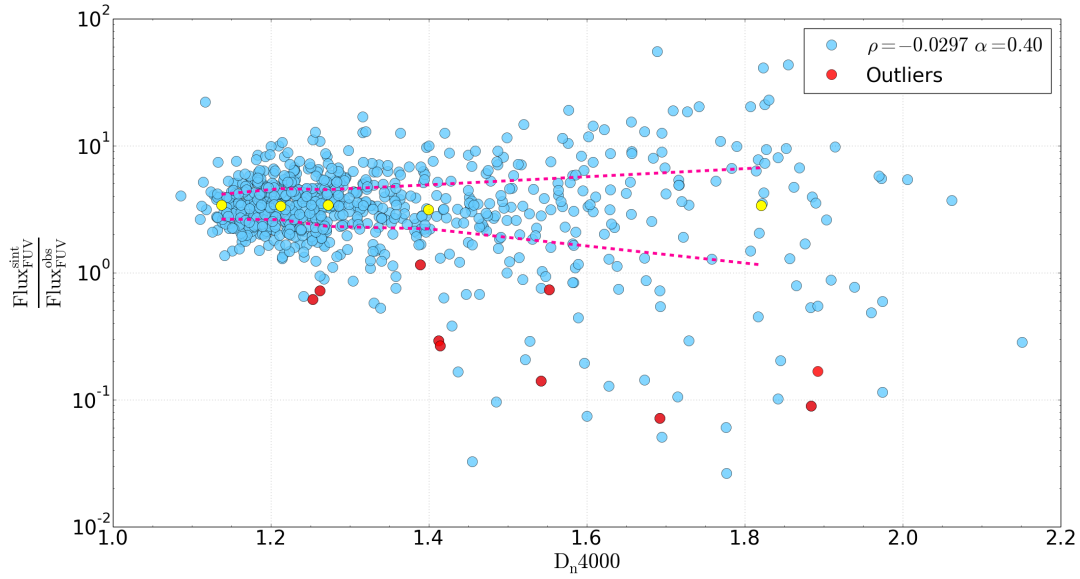


Figura 4.4: D_{n4000} observado *versus* a razão entre dos fluxos sintéticos e observados no FUV. Percentiles ajustados para 5 bins estão em rosa e as medianas dos mesmos na cor amarela. Note os valores de ρ e α na Figura e os *outliers* descritos no Capítulo 3 em vermelho.

Não é possível observar nenhuma tendência evidente para a Figura 4.4, mesmo ao analisarmos os percentiles que, por sua vez, foram ajustados para 5 bins. O valor de ρ e de α sinalizam que, de fato, não existe correlação.

Entretanto, observamos que existe uma dispersão bem maior para os objetos com maior valor de D_{n4000} , i.e. provavelmente objetos mais velhos. Mais uma vez observamos o efeito de seleção na amostra. Existe um acúmulo de objetos com $1.2 < D_{n4000} < 1.4$, i.e. objetos com populações estelares mais jovens - do que objetos mais velhos, com $D_{n4000} > 1.4$. Por outro lado, vemos uma dispersão na razão dos fluxos sintético e observado no ultravioleta significativamente maior para valores maiores de D_{n4000} .

Em geral, a Figura 4.4 não mostra nenhuma correlação significativa entre os fluxos observados e sintetizados no ultravioleta com idade da população estelar, como avaliada por D_{n4000} .

Com relação à posição dos *outliers*, discutiremos isso mais à frente neste Capítulo após a apresentação da Figura 4.6.

4.3 Diferença dos Fluxos no Ultravioleta e Resultados da Síntese

4.3.1 A Extinção na Amostra e seus Efeitos

Ponderamos o efeito da extinção na emissão ultravioleta das galáxias, dada a sensibilidade da interação entre a poeira e a radiação ultravioleta, como descrito na Seção 2.4.

Avaliamos os resultados da síntese para a extinção das galáxias (A_V^{gal}) e também consideramos a extinção da Via Láctea (A_V^{MW}) com relação aos fluxos sintético e observado no ultravioleta desses objetos.

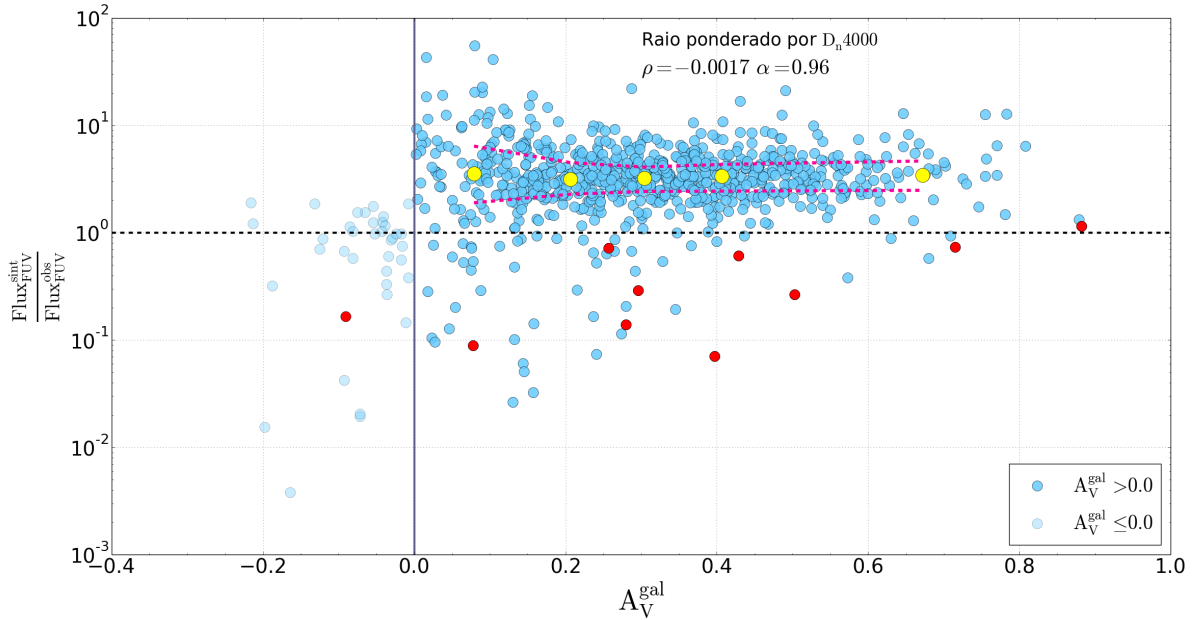


Figura 4.5: Extinção interna da galáxia observada (A_V^{gal}) por diferença dos fluxos para o FUV para os valores observados e sintéticos normalizados pelo valor observado $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{syn}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α .

Na Figura 4.5 mostramos a distribuição de A_V^{gal} por $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{syn}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$ da amostra. Existem objetos cujo A_V^{gal} resultante da síntese é negativo (cor esmaecida), resultado do procedimento adotado pelo STARLIGHT, no qual se considera a possibilidade de $A_V^{\text{gal}} < 0$ por erros na estimativa desse parâmetro.

Também temos uma dispersão geral muito grande na Figura 4.5, principalmente para valores pequenos de A_V^{gal} . Ajustamos os percentiles para 5 bins e os apresentamos na imagem, conjuntamente com as medianas dos bins. No entanto, os valores de ρ e α mostram

que não há nenhuma correlação entre A_V^{gal} e $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$, em acordo com a disposição dos percentiles.

Portanto, as diferenças entre os fluxos observados e sintetizados no ultravioleta não exibem dependência com a extinção.

Na tentativa de melhor compreender que objetos são esses que possuem $A_V^{\text{gal}} \leq 0$ ou até mesmo positivos, porém próximos de *zero*, refizemos a Figura 4.7, porém ponderando os raios dos marcadores por D_n4000 . Os resultados se encontram na Figura 4.6.

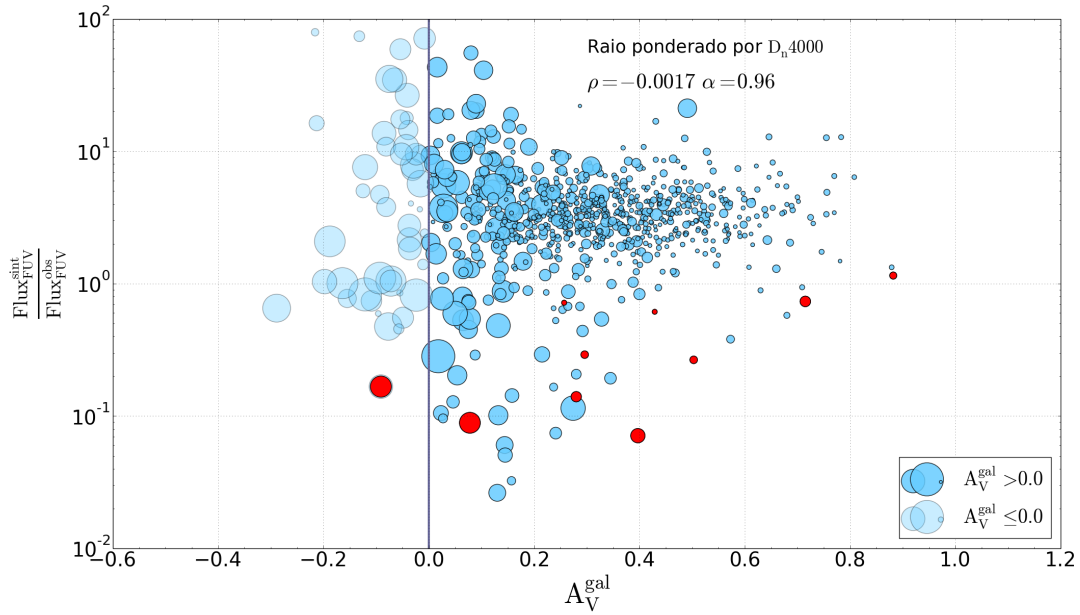


Figura 4.6: Extinção interna da galáxia observada (A_V^{gal}) por razão dos fluxos no FUV para os valores observados e sintéticos normalizados pelo valor observado $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Raio dos marcadores ponderado por D_n4000 . Note a linha tracejada em $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right) = 1$ (na qual $\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}} = \text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}$). Os *outliers* descritos no Capítulo 3 estão dispostos na cor vermelha.

Observamos na Figura 4.6 que os objetos com $A_V^{\text{gal}} \approx 0$ - porém positivos - e $A_V^{\text{gal}} \leq 0$ são objetos com os maiores valores para a quebra de 4000Å. Notamos também que a maioria dos objetos possuem os fluxos no ultravioleta **superestimados** com relação ao fluxo observado (ver linha tracejada). Ademais, nota-se um grupo de objetos com fluxos subestimados para o ultravioleta (abaixo da linha tracejada) e com D_n4000 , em geral, maior. Os *outliers* descritos no Capítulo 3 se encontram também dispostos na Figura 4.6 na região na qual os fluxos no ultravioleta estão subestimados pela síntese.

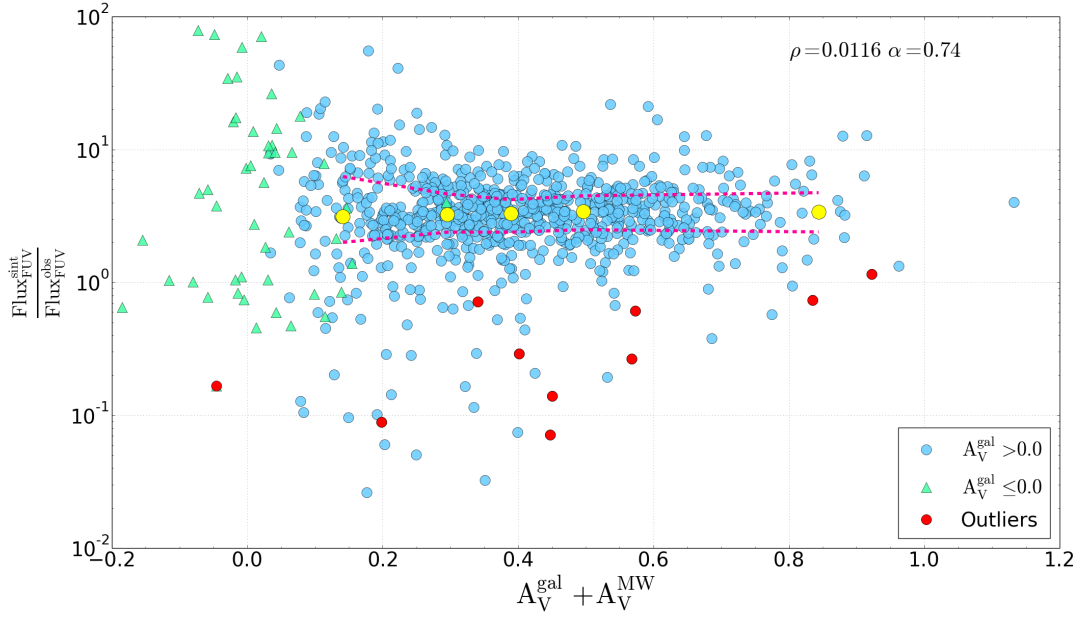


Figura 4.7: Extinção interna da galáxia observada somada à extinção da Via Láctea ($A_V^{\text{gal}} + A_V^{\text{MW}}$) por razão dos fluxos no FUV para os valores observados e sintéticos normalizados pelo valor observado ($\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}$). Os triângulos verdes são os objetos com $A_V^{\text{gal}} \leq 0$; os outliers estão em vermelho e percentiles ajustados para 5 bins em rosa tracejado e medianas dos percentiles apresentadas na cor amarela. Note a presença de ρ e α na Figura.

Para melhor averiguar como a questão do avermelhamento total é considerado, fizemos também o diagrama com a soma da extinção interna da galáxia estimada pelo STARLIGHT (A_V^{gal}) e a extinção da Via Láctea (A_V^{MW}) versus $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$, conforme ilustra a Figura 4.7. No entanto, mesmo considerando a extinção da Via Láctea, não encontramos nenhuma correlação com $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$, tal como mostram os valores de ρ e α apresentados na Figura, além do ajuste dos percentiles.

4.3.2 Idade, Metalicidade, Razão Massa-Luminosidade e Massa Estelar Resultantes da Síntese Espectral

Os parâmetros idade ($\langle \log(t) \rangle$), metalicidade ($\langle \log(Z) \rangle$), razão massa-luminosidade $\left(\frac{M}{L}\right)_r$ e massa estelar (M_*) resultante da síntese espectral de galáxias são alguns dos mais importantes a serem analisados neste trabalho, pois são as características de maior relevância no estudo da evolução estelar. Não obstante, ao sabermos que a emissão no ultravioleta sugere formação estelar, é de nosso interesse averiguar as possíveis correlações entre esses outros parâmetros.

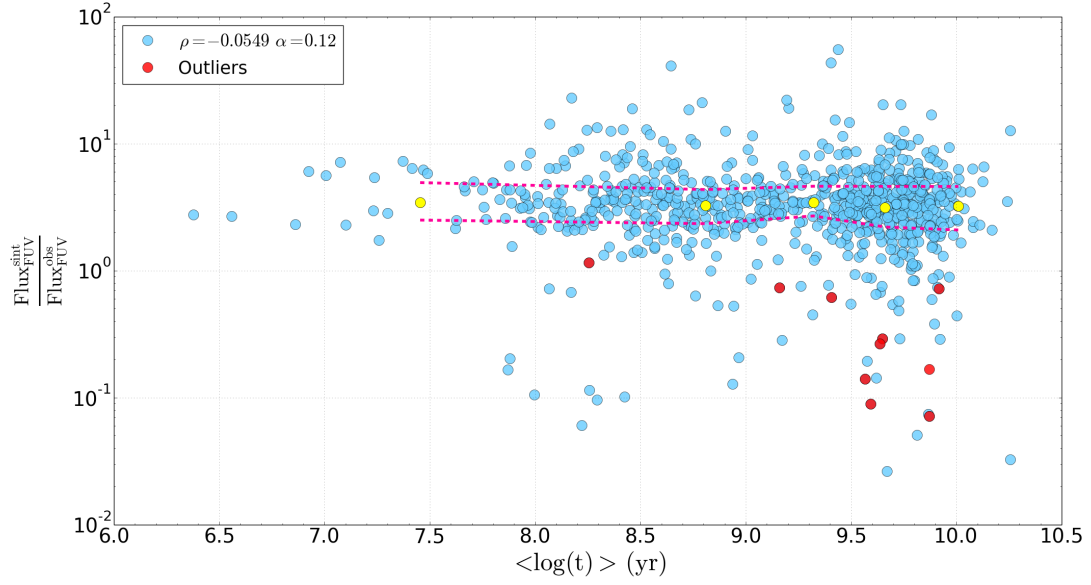


Figura 4.8: $\langle \log(t) \rangle$ resultante da síntese espectral *versus* $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{syn}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}} \right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os *outliers* citados no Capítulo 3 em vermelho.

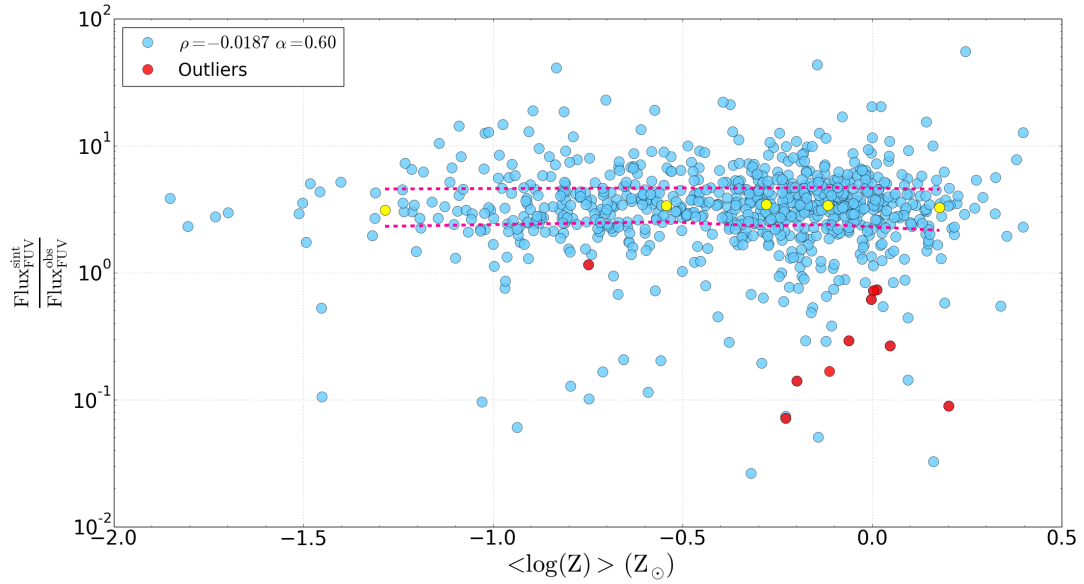


Figura 4.9: Metalicidade resultante da síntese espectral *versus* $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{syn}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}} \right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os *outliers* citados no Capítulo 3 em vermelho.

Tanto para o diagrama de idade quanto para o metalicidade (respectivamente Figuras 4.8 e 4.9) não vemos nenhuma correlação entre as variáveis.

Note que nossos *outliers* são objetos que se encontram principalmente no canto inferior direito, tendo altas idades e metalicidades, com exceção de um único objeto dentro do grupo de outliers.

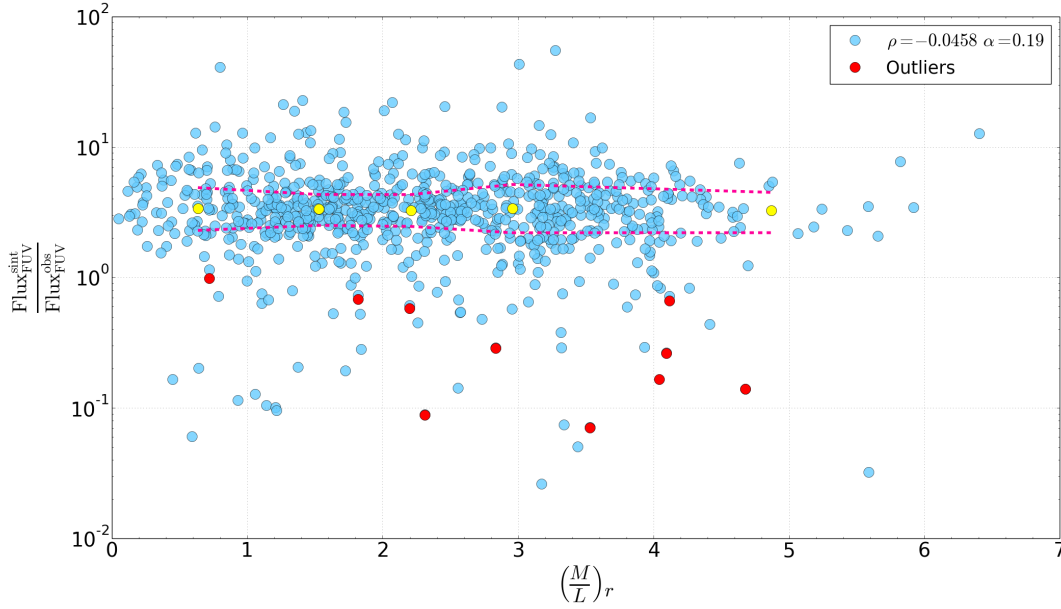


Figura 4.10: $\left(\frac{M}{L}\right)_r$ resultante da síntese espectral *versus* $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{syn}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os *outliers* citados no Capítulo 3 em vermelho.

Temos, ademais, o diagrama das razões dos fluxos no ultravioleta para a razão massa-luminosidade. Mais uma vez, não encontramos nenhuma correlação substancial.

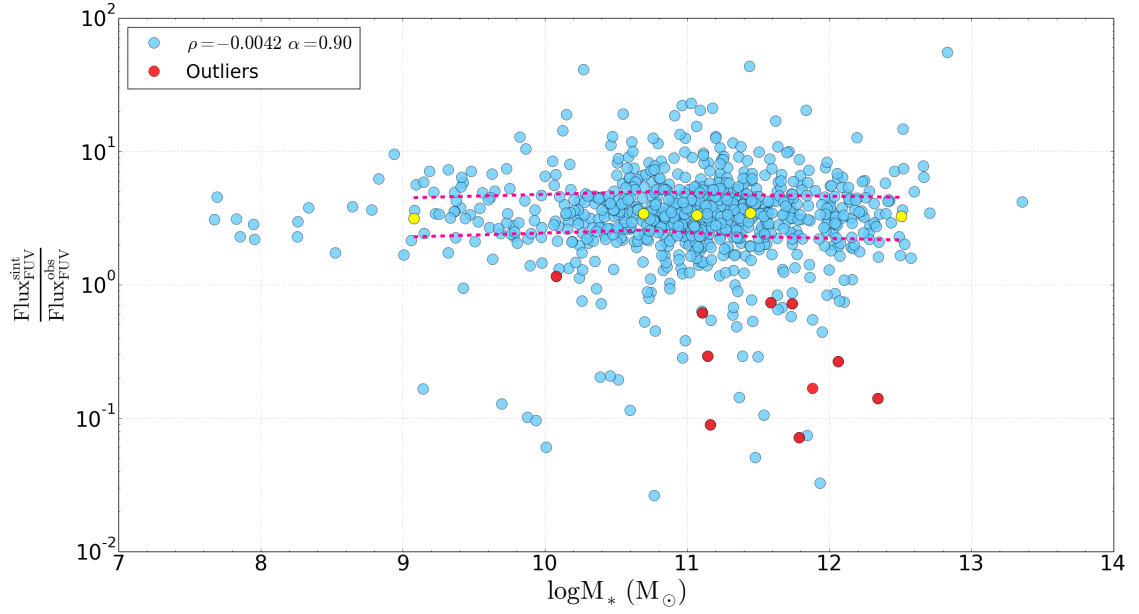


Figura 4.11: $\log M_*$ resultante da síntese espectral *versus* $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{syn}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$. Percentiles com 5 bins estão na imagem, além dos valores de ρ e α para toda a amostra apresentada. Note os *outliers* citados no Capítulo 3 em vermelho.

Temos, por fim, $\log M_*$ *versus* a razão dos fluxos sintético e observado no ultravioleta. Mais uma vez, não é observada nenhuma correlação entre as variáveis. Já os *outliers* encontram-se agrupados em uma faixa mais restrita de $\log M_*$.

Vimos que os *outliers* são galáxias do tipo *Late-Type* e que os resultados da síntese para as mesmas estão ligadas principalmente com as populações estelares evoluídas que compõem o bojo e o halo desses objetos.

A fim de analisar os resultados de $\log M_*$ provenientes da Síntese Espectral com relação à idade dos objetos, além de comparar a qualidade da estimativa do fluxo no ultravioleta, graficamos a cor (g-r) por $\log M_*$ com os marcadores sendo simplesmente proporcionais às diferenças nos fluxos sintético e observado elevado a uma potência.

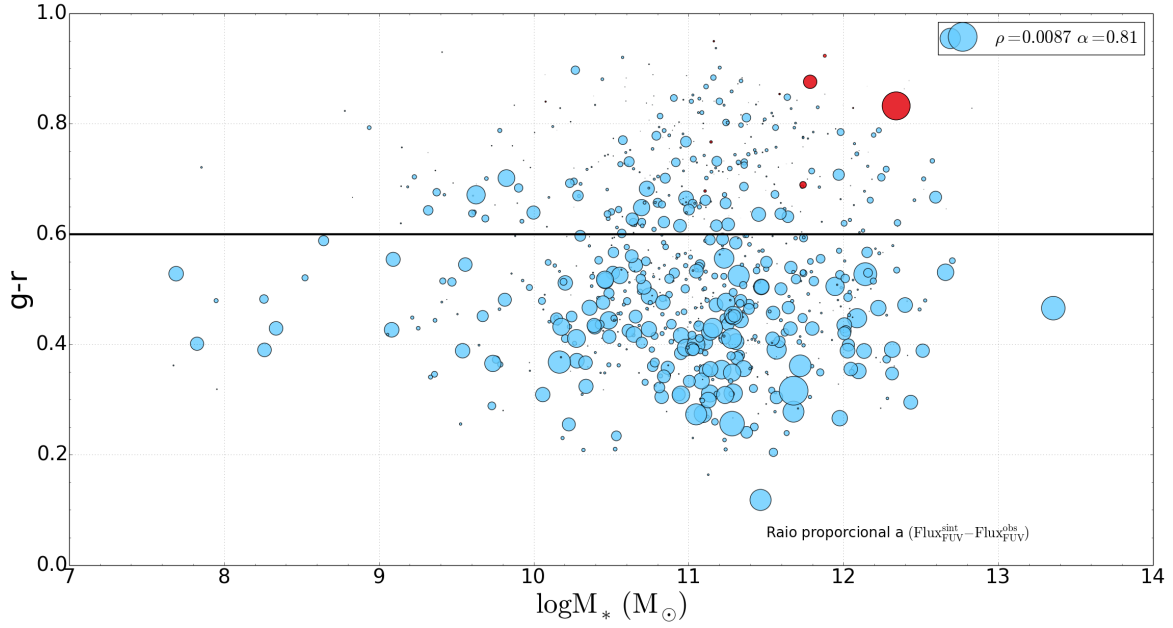


Figura 4.12: Cor ($g-r$) por $\log M_*$. Marcadores proporcionais à diferença dos fluxos sintético e observado no FUV. Note que essa proporcionalidade é dada por uma potência a fim de excluir valores negativos dessa diferença. Ou seja, os menores marcadores estão ligados à menor diferença entre os fluxos sintético e observado, sem distinguir se esse valor é sub ou superestimado; o mesmo ocorre para os maiores marcadores, sinalizando grande diferença entre ambos os valores para o fluxo no ultravioleta. Os *outliers* se encontram na cor vermelha. Note que ρ e α estão dispostos na imagem e indicam uma total falta de correlação entre esses parâmetros.

Observamos na Figura 4.12 que a maior parte dos objetos possui um fluxo sintético no ultravioleta muito diferente do observado. Notamos, além disso, que existe uma variação grande entre os valores da massa estelar da nossa amostra. Os *outliers* se encontram num intervalo bem mais restrito e massivo, com valores $10^{11}M_{\odot} \leq M_* \leq 10^{13}M_{\odot}$.

4.4 Correlações entre os Resultados da Síntese, Magnitude no FUV e Extinção Galáctica

Devido ao fato de termos verificado que as correlações entre $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{sint}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right)$ e os parâmetros resultantes da síntese são essencialmente inexistentes, decidimos novamente usar o *software* **AMADA** a fim de testar os principais resultados da síntese espectral da amostra e a magnitude no FUV.

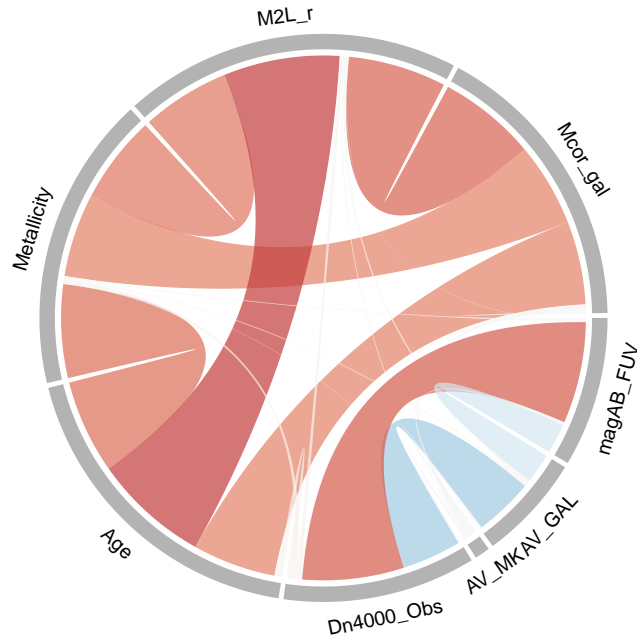


Figura 4.13: Gráfico de cordas (*chord*) do AMADA dos principais resultados da síntese espectral. A escala de cores é mesma apresentada no *heatmap* - Figuras 3.11 e 3.12(a) - e a espessura das cordas também possui informações de correlação embutidas: quanto mais espessa for a corda, maior a correlação/ anticorrelação entre as variáveis; quanto mais fina, menor a correlação/ anticorrelação entre as variáveis. As cordas mais finas e brancas neste gráfico de cordas indicam a total falta de correlação entre as variáveis conectadas por elas.

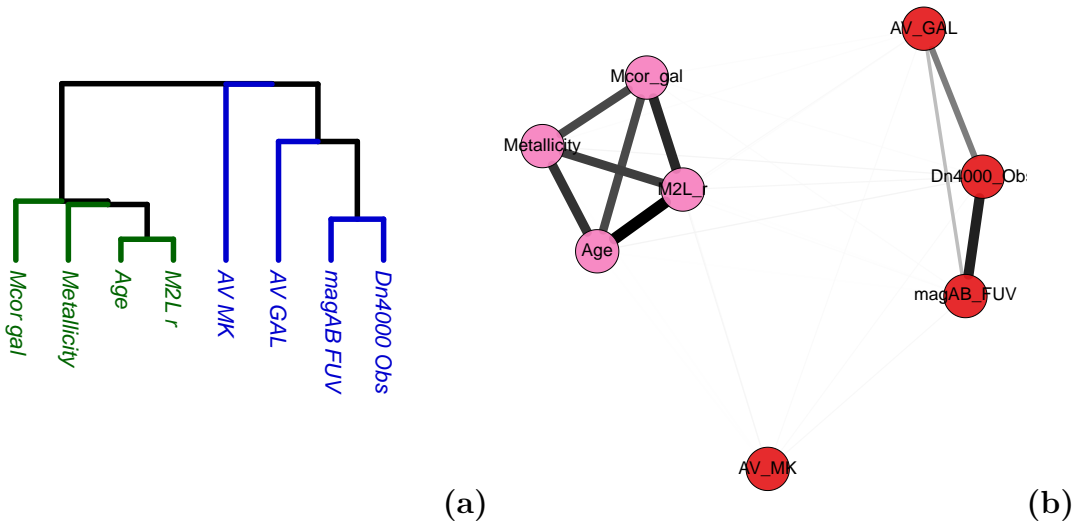


Figura 4.14: Em (a) temos o dendrograma para os principais resultados da síntese espectral e (b) temos o grafo dos mesmos. Ambos foram feitos usando o AMADA. Note as linhas fracas no grafo, em (b): as linhas mostram o agrupamento de variáveis correlacionadas e a falta de correlação entre esses grupos - vide linhas tão finas, quase imperceptíveis.

Para apresentar uma visualização da correlação entre os vários parâmetros provenientes da síntese, usamos um gráfico de cordas (Figura 4.13). Ressaltamos que esses gráficos são raramente usados em análises dentro da Astrofísica, mas que são usados mais comumente em outras áreas da Ciência, tais como a Genética, Bioestatística, etc. O uso de um gráfico de cordas é inédito dentro da Astrofísica, fazendo do presente trabalho a primeira aplicação prática dentro da área. O trabalho de de Souza e Ciardi (2015) apresentou o AMADA como pacote e usou exemplos sem análise física, apenas a fim de exemplificar seu uso dentro do contexto Astrofísico.

As Figuras 4.13 e 4.14 mostram que realmente existem grupos de variáveis que possuem correlação tão baixa ou nula entre si. Note que usamos o Coeficiente de Correlação de Spearman como parâmetro para gerar tais Figuras.

A Figura 4.13 representa um diagrama de cordas, no qual as cordas de cor mais avermelhada representam maior correlação entre si, enquanto as mais azuladas representam maior anticorrelação entre si. As linhas esbranquiçadas representam baixíssima ou nenhuma correlação entre as variáveis conectadas entre elas. A espessura das cordas também aponta o nível de correlação entre as variáveis. Note que a extinção da Via Láctea (AV_{MK}) não possui nenhuma correlação forte com nenhuma das outras variáveis. Esse mesmo comportamento aparece na Figura 4.14(b) representada pelo grafo.

Não obstante, na Figura 4.14(a) temos o dendrograma desses parâmetros separando em, basicamente, dois grupos nos quais há correlação entre si. Note que, com exceção da extinção interna das galáxias, os parâmetros resultantes do STARLIGHT não se correlacionam com os parâmetros observacionais propostos. Ademais, essa mesma tendência é evidenciada no grafo.

O grafo, nesta situação, mostra bem o que as Figuras 4.13 e 4.14(a) apontam: a separação entre grupos que possuem baixa ou nenhuma correlação entre si. Esses resultados ajudam sustentar o fato de que os modelos de síntese de população estelar não conseguem ainda tratar com o refinamento necessário a emissão ultravioleta das galáxias, conforme veremos na Seção 4.5.

4.5 O Tratamento das Populações Estelares Simples pelo STARLIGHT

Tendo em vista que não foram encontradas correlações entre os parâmetros de saída do STARLIGHT e a emissão ultravioleta das galáxias da nossa amostra, decidimos analisar com mais detalhes os espectros das SSPs usadas pelo STARLIGHT para uma pequena subamostra dentro da nossa amostra. Seleccionamos 20 objetos com as seguintes características: $D_n4000 > 1.8$, $S/N > 25$ e $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{int}}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{obs}}}\right) > 1.5$, a fim de averiguarmos quais SSPs mais influenciam na emissão ultravioleta das galáxias *Early-Type*, visto que, de acordo com as nossas análises, são esses os objetos cuja síntese realizada pelo STARLIGHT se mostra mais limitada. São, ademais, objetos vermelhos, para os quais se esperaria (a menos de efeitos de abertura) formação estelar pequena.

Classificamos os resultados em duas partes: as SSPs que mais contribuem percentualmente (x_i) na combinação linear a fim de gerar os resultados da síntese espectral do STARLIGHT na região óptica; e as SSPs que mais contribuem para o fluxo sintético na região do ultravioleta (y_i), mas precisamente em 1517Å. É possível ver esses resultados na Tabela 4.2: 4 principais SSPs para as duas partes para cada um dos 20 objetos. As idades para cada SSP encontram-se ao lado direito direito dos fluxos no ultravioleta para ambos os casos.

Calculamos y_i da seguinte maneira:

$$y_i = F(1517) 10^{-0.4 A_{1517}} x_i, \quad (4.1)$$

nos quais $F(1517)$ é o fluxo para cada SSP em 1517Å e A_{1517} é a correção para o avermelhamento devido à extinção em 1517Å, considerando tanto o avermelhamento da Via Láctea (A_V^{MW}), quanto o interno da galáxia (A_V^{gal}). Assim, y_i mede o fluxo na i -ésima SSP da base para o fluxo no ultravioleta.

Tabela 4.2 - Objetos selecionados para análise das SSPs.

SSPs Dominantes (maiores x_i)			SSPs Dominantes no UV (maiores y_i)		
x_i (%)	y_i	Idade (yr)	x_i (%)	y_i	Idade (yr)
Objeto 0311.51665.493					
9.9285	35.2799	8.71e+06	9.9285	35.2799	8.71e+06
7.0359	24.4089	1.00e+07	3.4343	29.8131	6.61e+06
6.2593	1.6413	2.86e+08	7.0359	24.4089	1.00e+07
5.7248	12.1916	2.51e+07	2.4854	20.8515	8.71e+06
Objeto 0390.51900.572					
25.0265	0.1899	1.43e+09	2.2559	35.9534	8.71e+06
17.0827	0.0545	9.05e+08	1.1848	16.1311	6.61e+06
4.1266	0.0279	4.25e+09	0.7641	8.5231	5.01e+06
4.0092	0.0414	5.09e+08	0.3664	6.9660	1.00e+06
Objeto 0443.51873.548					
21.5011	0.0887	2.50e+09	1.4280	5.3027	8.71e+06
5.8714	0.0859	1.00e+10	2.3261	5.1767	2.51e+07
5.6829	0.0237	1.43e+09	2.7093	4.5966	5.50e+07
4.9510	0.0743	1.50e+10	0.4937	4.3285	8.71e+06
Objeto 0569.52264.465					
8.3575	2.3053	2.86e+08	4.8375	44.1745	6.61e+06
7.0531	0.2891	1.80e+10	3.8596	34.0616	8.71e+06
6.4119	14.3637	2.51e+07	3.1383	27.7468	1.00e+07
5.2069	0.0787	1.50e+10	2.9816	22.4787	6.61e+06
Objeto 0664.52174.280					
29.1028	1.2175	1.30e+10	2.2748	54.5576	1.00e+07
19.1245	0.8177	1.50e+10	1.5262	37.8056	6.61e+06
13.0082	0.9180	1.50e+10	1.6357	33.4518	6.61e+06
8.0653	0.5930	1.80e+10	1.0326	19.0349	1.00e+07

Continua na próxima página...

Tabela 4.2 - Continuação

SSPs Dominantes (maiores x_i)			SSPs Dominantes no UV (maiores y_i)		
x_i (%)	y_i	Idade (yr)	x_i (%)	y_i	Idade (yr)
Objeto 0944.52614.222					
6.7833	2.9777	2.86e+08	3.2593	17.5382	3.16e+06
6.4858	15.8325	2.51e+07	6.4858	15.8325	2.51e+07
4.8061	2.1305	1.61e+08	3.2563	13.0489	3.16e+06
4.5844	0.4918	2.86e+08	1.6750	12.8426	8.71e+06
Objeto 1242.52901.176					
13.1162	0.7992	9.05e+08	4.3267	38.1491	1.00e+06
10.8169	33.3485	1.00e+07	10.8169	33.3485	1.00e+07
9.2231	13.6985	4.00e+07	3.4672	28.2252	1.00e+06
8.8620	0.7370	2.86e+08	4.8507	27.7391	5.01e+06
Objeto 1361.53047.152					
9.8397	42.5523	6.61e+06	9.8397	42.5523	6.61e+06
8.1311	22.5043	2.51e+07	5.5507	25.6336	8.71e+06
5.5507	25.6336	8.71e+06	8.1311	22.5043	2.51e+07
5.4250	1.8488	2.86e+08	3.6521	22.2810	3.16e+06
Objeto 2111.53467.602					
15.8273	36.1463	4.00e+07	6.9859	64.2013	1.00e+07
11.0870	3.1788	2.86e+08	15.8273	36.1463	4.00e+07
8.9164	16.2939	4.00e+07	2.5190	27.3272	1.00e+06
8.3647	19.4776	2.51e+07	3.1833	23.2817	8.71e+06
Objeto 2127.53859.121					
17.0385	0.9765	1.00e+10	1.8007	38.4218	1.44e+07
16.2538	1.1785	1.30e+10	2.6328	38.2157	3.16e+06
12.1903	0.9713	1.80e+10	2.5282	28.7642	1.44e+07
9.5792	0.7325	1.50e+10	0.9052	12.2022	5.01e+06

Continua na próxima página...

Tabela 4.2 - Continuação

SSPs Dominantes (maiores x_i)			SSPs Dominantes no UV (maiores y_i)		
x_i (%)	y_i	Idade (yr)	x_i (%)	y_i	Idade (yr)
Objeto 2158.54209.325					
12.8161	31.0976	4.00e+07	12.8161	31.0976	4.00e+07
7.1449	1.0924	2.50e+09	5.7780	23.8518	8.71e+06
7.1391	1.6189	1.28e+09	4.7432	19.1161	1.00e+07
6.8936	0.0765	1.00e+10	4.5886	11.3522	2.51e+07
Objeto 2297.53738.610					
9.7510	1.7097	2.86e+08	2.8928	34.8751	5.01e+06
7.3173	3.5948	2.86e+08	5.4708	34.1059	6.61e+06
7.1931	0.0732	5.09e+08	1.7268	28.0844	6.61e+06
5.6354	22.0522	4.00e+07	5.6354	22.0522	4.00e+07
Objeto 2341.53738.450					
19.5894	3.8239	2.86e+08	11.2617	29.7892	8.71e+06
11.2617	29.7892	8.71e+06	4.6525	23.1659	8.71e+06
10.3866	0.3013	1.80e+10	4.2861	22.0171	1.44e+07
8.8944	14.1002	2.51e+07	3.1510	19.7149	1.00e+07
Objeto 2495.54175.566					
10.0956	0.0537	1.43e+09	6.5512	75.8050	6.61e+06
6.5512	75.8050	6.61e+06	2.9834	39.4550	1.00e+06
5.9845	0.1074	1.28e+09	2.2454	21.4507	6.61e+06
5.6208	0.1238	1.00e+10	2.1898	19.1907	3.16e+06
Objeto 2514.53882.510					
7.6724	1.8467	2.86e+08	4.0557	32.3173	6.61e+06
5.6610	0.0208	1.43e+09	3.9816	30.7181	1.00e+07
5.6268	0.0469	7.50e+09	3.7548	28.9154	8.71e+06
5.6159	0.2009	1.80e+10	2.8275	18.6013	6.61e+06

Continua na próxima página...

Tabela 4.2 - Continuação

SSPs Dominantes (maiores x_i)			SSPs Dominantes no UV (maiores y_i)		
x_i (%)	y_i	Idade (yr)	x_i (%)	y_i	Idade (yr)
Objeto 2613.54481.109					
11.5317	0.1788	1.50e+10	8.8979	31.9514	6.61e+06
10.0109	2.8328	2.86e+08	7.5300	16.9725	4.00e+07
8.8979	31.9514	6.61e+06	2.0809	15.0204	8.71e+06
7.5300	16.9725	4.00e+07	4.0109	15.0158	1.00e+07
Objeto 2758.54523.392					
12.2162	2.1347	2.86e+08	4.4818	25.9267	6.61e+06
5.9743	8.4784	2.51e+07	4.4179	24.7445	1.00e+07
5.9687	0.0067	9.05e+08	4.0545	17.4545	1.00e+07
5.8467	6.5116	4.00e+07	3.5629	17.0165	6.61e+06
Objeto 2769.54527.477					
7.7369	0.0264	1.28e+09	3.8818	31.0468	5.01e+06
6.4871	0.0149	9.05e+08	4.1634	17.2848	6.61e+06
6.4340	0.0346	2.50e+09	2.9908	14.2418	3.16e+06
5.4090	0.1103	1.80e+10	2.2205	13.8124	3.16e+06
Objeto 2789.54555.206					
8.7333	17.2555	2.51e+07	7.3270	22.6204	6.61e+06
8.6387	0.5495	9.05e+08	5.8754	19.0569	3.16e+06
7.3270	22.6204	6.61e+06	8.7333	17.2555	2.51e+07
6.2722	3.7032	1.02e+08	1.7370	15.9894	1.00e+06
Objeto 2884.54526.164					
16.5955	4.4168	2.86e+08	4.9572	42.2882	1.00e+07
8.7931	0.3478	1.80e+10	5.3802	24.9374	3.16e+06
5.3802	24.9374	3.16e+06	4.5786	16.5129	8.71e+06
4.9572	42.2882	1.00e+07	1.8046	11.7861	5.01e+06

Notamos que as SSPs que mais contribuem para o fluxo no ultravioleta são diferentes das principais que compõem o espectro como um todo. Ao compararmos as idades do conjunto das quatro principais SSPs (maiores x_i em %) e as idades daquelas que mais contribuem para a emissão no ultra violeta (maiores y_i em fluxo), percebemos que existe uma diferença considerável entre as ordens de grandezas dessas idades. Eventualmente temos algumas SSPs em comum, mas em nenhum dos objetos isso ocorreu para todo o conjunto das 4 principais em ambos os casos. Se olharmos no caso do objeto 0390.51900.572, temos SSPs que contribuem em menos de 1% no óptico e que estão entre as que mais emitem na região do ultravioleta.

Portanto, é possível perceber que a combinação linear de algumas SSPs, por menor que seja sua contribuição percentual, pode gerar fluxos sintéticos altíssimos no ultravioleta. Isso aponta para a necessidade de um ajuste fino nessa região, visto que todo o ajuste espectral do STARLIGHT é realizado no óptico, na janela de 4010-4060Å. Verificamos que essa conclusão não depende do efeito de abertura, pois 8 entre os 20 objetos da amostra estudada nessa seção não são afetados por esse efeito.

4.6 Conclusões

O resultado principal deste Capítulo encontra-se na Figura 4.2, na qual observamos que o fluxo sintético no ultravioleta se comporta como um valor múltiplo do fluxo observado, i.e. ($F_{UV}^{sint} = k F_{UV}^{obs}$), no qual o fator k é um fator multiplicativo. Também observamos que a distribuição de $\log(F_{UV}^{sint}/F_{UV}^{obs})$ para ambas as bandas e divisão por cores no óptico se comportam de maneira gaussiana. Esses valores estão levemente concentrados à direita dos histogramas, evidenciando a superestimativa desses fluxos pela síntese espectral proveniente do STARLIGHT.

Ponderamos se essas diferenças poderiam estar correlacionadas com os parâmetros observacionais, como D_n4000 , ou resultantes da síntese (i.e. A_V^{gal} , $\langle \log(t) \rangle$, $\langle \log(Z) \rangle$, $\log M_*$) e constatamos que a razão ($F_{UV}^{sint}/F_{UV}^{obs}$) não depende desses parâmetros. Portanto, algumas hipóteses foram consideradas para tentar entender o motivo pelo qual ($F_{UV}^{sint}/F_{UV}^{obs}$), tais como o efeito de abertura, a extinção da Via Láctea e problemas na síntese.

Para a primeira hipótese, acreditamos que seja muito improvável isso aconteça por efeitos de abertura, visto que, ao obtermos o espectro do SDSS no óptico, estamos obser-

vando as regiões centrais das galáxias, até mesmo das *Late-Type* e, portanto, o conjunto de populações estelares ali é mais velha (a menos num cenário de formação/ evolução do tipo *inside-out*). Ainda assim, os valores calculados pela síntese superestimam o fluxo no ultravioleta desses objetos.

Em seguida, ao analisarmos a segunda hipótese, sobre a correção da extinção da Via Láctea percebemos, novamente, que os fluxos sintéticos deveriam ser mais baixos, considerando a atenuação dada a absorção e o espalhamento da poeira. Entretanto, se os resultados superestimam essa medida, então esse motivo não explica o resultado encontrado. É possível, no entanto, que se os valores de R_λ para a região do ultravioleta fossem muito menores do que os assumidos aqui, haveria uma melhora entre modelos e observações.

Avaliamos também o caso de 20 objetos do tipo *Early-Type* da nossa amostra que possuem grandes diferenças entre os valores observados e sintéticos ao analisar as 4 mais importantes SSPs para a síntese *versus* as 4 que mais contribuem para a emissão no ultravioleta. Verificamos que existem SSPs associadas a populações muito jovens com contribuição desprezível no óptico e dominante no ultravioleta. Isso nos permite sugerir mudanças na maneira em que o STARLIGHT realiza sua síntese espectral, talvez até considerando, de fato, fluxos observados de telescópios no ultravioleta, como o GALEX.

Logo, dadas todas as nossas hipóteses, apenas a síntese espectral se mostra como um real fator para essas diferenças entre os fluxos sintéticos e observados. Por algum motivo, temos que o fluxo no ultravioleta encontra-se quase sistematicamente superestimado com relação ao fluxo observado, mesmo após de uma série de correções realizadas e uma série de fatores ponderados. Acreditamos que populações muito jovens estejam influenciando esse resultado.

Em trabalhos mais recentes, como o de Hayward e Smith (2015) no qual foram testados vários modelos com diferentes bibliotecas de Populações Estelares Simples (*Simple Stellar Populations* ou SSPs) - tais como Leitherer et al. (1999), Bolzonella et al. (2000), Bruzual e Charlot (2003), Le Borgne et al. (2004), Maraston (2005), Burgarella et al. (2005), da Cunha et al. (2008), Kotulla et al. (2009), Kriek et al. (2009), Noll et al. (2009), Conroy e Gunn (2010a) e Serra et al. (2011) - para galáxias com disco simuladas usando o *software* MAGPHYS (da Cunha et al., 2008), ajustando as distribuições espectrais de energia (SEDs) modeladas, foi possível mostrar que as bibliotecas e os modelos, em geral, encontram-se de acordo no que concerne recuperar propriedades dessas galáxias, inclusive

independentemente do ângulo no qual foram simuladas (e.g. *face on* ou *edge on*); não obstante, houve uma grande convergência entre esses modelos nas regiões de maiores comprimentos de onda, **diferentemente da região do ultravioleta**. Por fim, foi discutido por Hayward e Smith (2015) que os problemas podem estar relacionados fortemente à curva de atenuação da extinção - caso a curva real seja muito diferente daquela utilizada pelo MAGPHYS. Assim como descrito no caso da síntese espectral feita pelo STARLIGHT para as bibliotecas de Bruzual e Charlot (2003), esses trabalhos, em geral, tratam a extinção da Via Láctea como sendo um parâmetro imutável, inclusive para a região do ultravioleta, o que sabemos ser uma abordagem genérica, mas que não representa fielmente o fenômeno físico da interação entre a radiação ultravioleta, a poeira e o gás.

Conclusões e Perspectivas

Comparamos os dados observacionais no óptico e no ultravioleta da nossa amostra com os resultados da síntese espectral de galáxias provenientes do STARLIGHT usando como base os espectros das bibliotecas de Bruzual e Charlot (2003), a fim de encontrarmos possíveis correlações entre a emissão ultravioleta observada e os resultados da síntese.

Notamos que a bimodalidade observada nas cores do óptico, como (g-r), não é observada entre as cores no ultravioleta, (FUV-NUV), mas está presente quando se combinam bandas ópticas e no ultravioleta (e.g. FUV-r, NUV-r) e observamos comportamentos muito distintos entre as galáxias azuis e vermelhas.

Percebemos, ademais, que as galáxias vermelhas possuem uma dispersão muito maior no ultravioleta do que as azuis. Isso deve ser proveniente de uma combinação mais ampla de fontes (e.g. populações estelares evoluídas e AGNs) do que para as azuis, cuja emissão no ultravioleta se origina primordialmente de um conjunto de estrelas jovens e quentes. Encontramos também correlações entre as cores no óptico (tal como g-r) e as magnitudes AB no ultravioleta.

Por fim, caracterizamos a amostra de uma maneira mais global usando os diagramas de diagnóstico BPT (Baldwin et al., 1981) e WHAN (Kewley et al., 2001; Kauffmann et al., 2003; Cid Fernandes et al., 2011), além do pacote AMADA, que nos ajudou a termos uma visão ampla dos resultados finais. Verificamos que grande parte dos objetos vermelhos da nossa amostra estão na região de AGNs nesses diagramas.

É notória a diferença entre os valores observados e sintéticos no ultravioleta. Além disso, não encontramos nenhuma correlação entre a emissão observada e os parâmetros resultantes da síntese, tais como A_V^{gal} , $\langle \log(t) \rangle$, $\langle \log(Z) \rangle$ e $\log M_*$. Comprovamos, por fim, a falta de correlação, novamente, por meio do AMADA, nos fornecendo uma

visualização mais sucinta dos parâmetros que se correlacionam entre si e os que não se correlacionam.

Fizemos uma avaliação mais *cirúrgica* ao olharmos em detalhes uma subamostra de 20 galáxias com características particulares ($D_n4000 > 1.8$, $S/N > 25$ e $\left(\frac{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{ sint }}}{\text{Flux}_{\text{FUV}}^{\text{ obs }}}\right) > 1.5$) a fim de melhor entender o motivo pelo qual o STARLIGHT superestima os fluxos na região do ultravioleta.

Concluimos que algumas SSPs que são pouco importantes no óptico, contribuem muito na emissão final na região do ultravioleta, comprometendo a qualidade do ajuste do STARLIGHT nessa região espectral.

Dada a natureza mal conhecida da emissão ultravioleta das galáxias, especialmente, as do tipo *Early-Type*, temos como objetivo continuar este trabalho sob uma ótica mais focada nestas galáxias, fazendo uso de ferramentas estatísticas robustas e de *machine learning*.

Referências Bibliográficas

- Abazajian K. N., Adelman-McCarthy J. K., Agüeros M. A., Allam S. S., Allende Prieto C., An D., Anderson K. S. J., Anderson S. F., Annis J., Bahcall N. A., et al. The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *ApJS*, 2009, vol. 182, p. 543
- Alam S., Albareti F. D., Allende Prieto C., Anders F., Anderson S. F., Anderton T., Andrews B. H., Armengaud E., Aubourg É., Bailey S., et al. The Eleventh and Twelfth Data Releases of the Sloan Digital Sky Survey: Final Data from SDSS-III, *ApJS*, 2015, vol. 219, p. 12
- Baldry I. K., Glazebrook K., Brinkmann J., Ivezić Ž., Lupton R. H., Nichol R. C., Szalay A. S., Quantifying the Bimodal Color-Magnitude Distribution of Galaxies, *ApJ*, 2004, vol. 600, p. 681
- Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R., Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects, *PASP*, 1981, vol. 93, p. 5
- Bianchi L., The Galaxy Evolution Explorer (GALEX). Its legacy of UV surveys, and science highlights, *Ap&SS*, 2014, vol. 354, p. 103
- Bianchi et al. Classification and Characterization of Objects from the Galaxy Evolution Explorer Survey and the Sloan Digital Sky Survey, *ApJ*, 2005, vol. 619, p. L27
- Blanton M. R., Roweis S., K-Corrections and Filter Transformations in the Ultraviolet, Optical, and Near-Infrared, *AJ*, 2007, vol. 133, p. 734
- Boggess A., Carr F. A., Evans D. C., Fischel D., Freeman H. R., Fuechsel C. F., Klinglesmith D. A., Krueger V. L., Longanecker G. W., Moore J. V., The IUE spacecraft and instrumentation, *Nature*, 1978, vol. 275, p. 372

- Bohlin R. C., Dickinson M. E., Calzetti D., Spectrophotometric Standards from the Far-Ultraviolet to the Near-Infrared: STIS and NICMOS Fluxes, *AJ*, 2001, vol. 122, p. 2118
- Bolzonella M., Miralles J.-M., Pelló R., Photometric redshifts based on standard SED fitting procedures, *A&A*, 2000, vol. 363, p. 476
- Boyle B. J., Fong R., Shanks T., Peterson B. A., A catalogue of faint, UV-excess objects, *MNRAS*, 1990, vol. 243, p. 1
- Bruzual G., Charlot S., Stellar population synthesis at the resolution of 2003, *MNRAS*, 2003, vol. 344, p. 1000
- Budavári et al. GALEX-SDSS Catalogs for Statistical Studies, *ApJ*, 2009, vol. 694, p. 1281
- Burgarella D., Buat V., Iglesias-Páramo J., Star formation and dust attenuation properties in galaxies from a statistical ultraviolet-to-far-infrared analysis, *MNRAS*, 2005, vol. 360, p. 1413
- Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction, *ApJ*, 1989, vol. 345, p. 245
- Chung S. M., Kochanek C. S., Assef R., Brown M. J. I., Stern D., Jannuzi B. T., Gonzalez A. H., Hickox R. C., Moustakas J., A UV to Mid-IR Study of AGN Selection, *ApJ*, 2014, vol. 790, p. 54
- 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, *MNRAS*, 2005, vol. 358, p. 363
- Cid Fernandes R., Stasińska G., Mateus A., Vale Asari N., A comprehensive classification of galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: how to tell true from fake AGN?, *MNRAS*, 2011, vol. 413, p. 1687
- Conroy C., Gunn J. E., The Propagation of Uncertainties in Stellar Population Synthesis Modeling. III. Model Calibration, Comparison, and Evaluation, *ApJ*, 2010a, vol. 712, p. 833

- Conroy C., Gunn J. E., The Propagation of Uncertainties in Stellar Population Synthesis Modeling. III. Model Calibration, Comparison, and Evaluation, *ApJ*, 2010b, vol. 712, p. 833
- Cross N. J. G., Driver S. P., Liske J., Lemon D. J., Peacock J. A., Cole S., Norberg P., Sutherland W. J., The Millennium Galaxy Catalogue: the photometric accuracy, completeness and contamination of the 2dFGRS and SDSS-EDR/DR1 data sets, *MNRAS*, 2004, vol. 349, p. 576
- da Cunha E., Charlot S., Elbaz D., A simple model to interpret the ultraviolet, optical and infrared emission from galaxies, *MNRAS*, 2008, vol. 388, p. 1595
- de Souza R. S., Ciardi B., AMADA-Analysis of multidimensional astronomical datasets, *Astronomy and Computing*, 2015, vol. 12, p. 100
- de Souza R. S., Maio U., Biffi V., Ciardi B., Robust PCA and MIC statistics of baryons in early minihaloes, *MNRAS*, 2014, vol. 440, p. 240
- Doi M., Tanaka M., Fukugita M., Gunn J. E., Yasuda N., Ivezić Ž., Brinkmann J., de Haars E., Kleinman S. J., Krzesinski J., French Leger R., Photometric Response Functions of the Sloan Digital Sky Survey Imager, *AJ*, 2010, vol. 139, p. 1628
- Feigelson E. D., Babu G. J., Modern statistical methods for astronomy : with R applications (New Arrival 2012-2013) /. Cambridge University Press, New York :, 2012.
- Fitzpatrick E. L., An average interstellar extinction curve for the Large Magellanic Cloud, *AJ*, 1986, vol. 92, p. 1068
- Fitzpatrick E. L., Correcting for the Effects of Interstellar Extinction, *PASP*, 1999, vol. 111, p. 63
- Fowler J. W., , 2008 Chi-Square Minimization http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/statistics_refs/Chi-square-min.pdf
- Frieman J. A., Turner M. S., Huterer D., Dark Energy and the Accelerating Universe, *ARA&A*, 2008, vol. 46, p. 385
- Fukugita M., Ichikawa T., Gunn J. E., Doi M., Shimasaku K., Schneider D. P., The Sloan Digital Sky Survey Photometric System, *AJ*, 1996, vol. 111, p. 1748

- Golay Introduction to Astronomical Photometry. Astrophysics and Space Science Library : a series of books on the recent developments of space science and of general geophysics and astrophysics, Springer, 1974
- Gunn et al. The 2.5 m Telescope of the Sloan Digital Sky Survey, *AJ*, 2006, vol. 131, p. 2332
- Guo K., Zheng X. Z., Wang T., Fu H., The Star Formation Main Sequence: The Dependence of Specific Star Formation Rate and Its Dispersion on Galaxy Stellar Mass, *ApJ*, 2015, vol. 808, p. L49
- Hayward C. C., Smith D. J. B., Should we believe the results of ultraviolet-millimetre galaxy spectral energy distribution modelling?, *MNRAS*, 2015, vol. 446, p. 1512
- Kauffmann G., Heckman T. M., Tremonti C., Brinchmann J., Charlot S., White S. D. M., Ridgway S. E., Brinkmann J., Fukugita M., Hall P. B., Ivezić Ž., Richards G. T., Schneider D. P., The host galaxies of active galactic nuclei, *MNRAS*, 2003, vol. 346, p. 1055
- Kennicutt Jr. R. C., Star Formation in Galaxies Along the Hubble Sequence, *ARA&A*, 1998, vol. 36, p. 189
- Kewley L. J., Dopita M. A., Sutherland R. S., Heisler C. A., Trevena J., Theoretical Modeling of Starburst Galaxies, *ApJ*, 2001, vol. 556, p. 121
- Kokoska S., Zwillinger D., CRC Standard Probability and Statistics Tables and Formulae, Student Edition. Mathematics/Probability/Statistics, Taylor & Francis, 2000
- Kotulla R., Fritze U., Weilbacher P., Anders P., GALEV evolutionary synthesis models - I. Code, input physics and web interface, *MNRAS*, 2009, vol. 396, p. 462
- Kriek M., van Dokkum P. G., Labbé I., Franx M., Illingworth G. D., Marchesini D., Quadri R. F., An Ultra-Deep Near-Infrared Spectrum of a Compact Quiescent Galaxy at $z = 2.2$, *ApJ*, 2009, vol. 700, p. 221
- Le Borgne D., Rocca-Volmerange B., Prugniel P., Lançon A., Fioc M., Soubiran C., Evolutionary synthesis of galaxies at high spectral resolution with the code PEGASE-HR. Metallicity and age tracers, *A&A*, 2004, vol. 425, p. 881

- Leitherer C., Schaerer D., Goldader J. D., Delgado R. M. G., Robert C., Kune D. F., de Mello D. F., Devost D., Heckman T. M., Starburst99: Synthesis Models for Galaxies with Active Star Formation, *ApJS*, 1999, vol. 123, p. 3
- Maraston C., Evolutionary population synthesis: models, analysis of the ingredients and application to high-*z* galaxies, *MNRAS*, 2005, vol. 362, p. 799
- Martin et al. The UV-Optical Galaxy Color-Magnitude Diagram. III. Constraints on Evolution from the Blue to the Red Sequence, *ApJS*, 2007, vol. 173, p. 342
- Mateus A., Sodré L., Cid Fernandes R., Stasińska G., Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - IV. A nature via nurture scenario for galaxy evolution, *MNRAS*, 2007, vol. 374, p. 1457
- Mateus a., Sodre L., Fernandes R. C., Stasinska G., Schoenell W., Gomes J. M., Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - II. The bimodality of the galaxy population revisited, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2006, vol. 370, p. 721
- Morrissey et al. The Calibration and Data Products of GALEX, *APJ*, 2007, vol. 173, p. 682
- Neff S. G., Hollis J. E., Offenberg J. D., , 2009 GALEX Surveys and Sensitivities <http://www.galex.caltech.edu/researcher/techdoc-ch2.html#5>
- Noll S., Burgarella D., Giovannoli E., Buat V., Marcillac D., Muñoz-Mateos J. C., Analysis of galaxy spectral energy distributions from far-UV to far-IR with CIGALE: studying a SINGS test sample, *A&A*, 2009, vol. 507, p. 1793
- Oke J. B., Absolute Spectral Energy Distributions for White Dwarfs, *ApJS*, 1974, vol. 27, p. 21
- Oke J. B., Faint spectrophotometric standard stars, *AJ*, 1990, vol. 99, p. 1621
- O'Mill A. L., Duplancic F., García Lambas D., Sodré Jr. L., Photometric redshifts and *k*-corrections for the Sloan Digital Sky Survey Data Release 7, *Mnras*, 2011, vol. 413, p. 1395

- Peek J. E. G., Schiminovich D., Ultraviolet Extinction at High Galactic Latitudes, *ApJ*, 2013, vol. 771, p. 68
- Ree C. H., Jeong H., Oh K., Chung C., Lee J. H., Kim S. C., Kyeong J., Ultraviolet Color-Color Relation of Early-type Galaxies at $0.05 \leq z \leq 0.12$, *ApJ*, 2012, vol. 744, p. L10
- Reshef D., Reshef Y., Mitzenmacher M., Sabeti P., Equitability Analysis of the Maximal Information Coefficient, with Comparisons, *ArXiv e-prints*, 2013
- Savage B. D., Mathis J. S., Observed properties of interstellar dust, *ARA&A*, 1979, vol. 17, p. 73
- Schiminovich et al. The UV-Optical Color Magnitude Diagram. II. Physical Properties and Morphological Evolution On and Off of a Star-forming Sequence, *ApJS*, 2007, vol. 173, p. 315
- Seaton M. J., Interstellar extinction in the UV, *MNRAS*, 1979, vol. 187, p. 73P
- Seibert et al. GALEX Observations of the Sloan Digital Sky Survey: A Comparison, *ApJ*, 2005, vol. 619, p. L23
- Serra P., Amblard A., Temi P., Burgarella D., Giovannoli E., Buat V., Noll S., Im S., CI-GALEMC: Galaxy Parameter Estimation Using a Markov Chain Monte Carlo Approach with CIGALE, *ApJ*, 2011, vol. 740, p. 22
- Singh et al. The nature of LINER galaxies:. Ubiquitous hot old stars and rare accreting black holes, *A&A*, 2013, vol. 558, p. A43
- Smith M. A., Bianchi L., Shiao B., Interesting Features in the Combined GALEX and Sloan Color Diagrams of Solar-like Galactic Populations, *AJ*, 2014, vol. 147, p. 159
- Spiniello C., The initial mass function in early-type galaxies, 2013, Tese de Doutorado
- Stasińska G., Costa-Duarte M. V., Vale Asari N., Cid Fernandes R., Sodré L., Retired galaxies: not to be forgotten in the quest of the star formation - AGN connection, *MNRAS*, 2015, vol. 449, p. 559

-
- Stasinska G., Fernandes R. C., Mateus a., Sodre L., Asari N. V., Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - III. How to distinguish AGN hosts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2006, vol. 371, p. 972
- Strateva et al. Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *AJ*, 2001, vol. 122, p. 1861
- Tokunaga A. T., Vacca W. D., The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. III. Isophotal Wavelengths and Absolute Calibration, *PASP*, 2005, vol. 117, p. 421
- Trumpler R. J., Absorption of Light in the Galactic System, *PASP*, 1930, vol. 42, p. 214
- Weingartner J. C., Draine B. T., Dust Grain-Size Distributions and Extinction in the Milky Way, Large Magellanic Cloud, and Small Magellanic Cloud, *The Astrophysical Journal*, 2001, vol. 548, p. 296
- Wyder et al. The UV-Optical Galaxy Color-Magnitude Diagram. I. Basic Properties, *ApJS*, 2007, vol. 173, p. 293
- York et al. The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *AJ*, 2000, vol. 120, p. 1579
- Zhang Y., Zhao Y., Astronomy in the Big Data Era, *Data Science Journal*, 2015, vol. 14, p. 11

Apêndice

Apêndice A

Parâmetros

A.1 Descrição das variáveis citadas neste trabalho.

Tabela A.1 - Dicionário de Variáveis

Variáveis	Significado
$ObjectId$	Código identificador de um objeto pelo SDSS.
mjd	Data Juliana Modificada, i.e. <i>Modified Julian Date</i> .
$plate$	Chapa ou simplesmente <i>plate</i> ; em cada chapa (<i>plate</i>) do SDSS há cerca de 1000 objetos no campo de observação de 3 graus.
$fiberID$	Identificador da fibra utilizada na observação - o SDSS possui 640 fibras em cada chapa (<i>plate</i>).
ra	Ascensão reta;
dec	Declinação;
x	Banda, comprimento de onda ou frequência observada - i.e. FUV , NUV , u , g , r , i ou z , λ ou ν .
m_x^{AB}	Magnitude AB para a banda x .
m_x^{SDSS}	Magnitude para a banda x do SDSS.
m_x^{GALEX}	Magnitude para a banda x do GALEX.
F_x^{SDSS}	Fluxo obtido para as bandas do SDSS a partir da magnitude AB calculada anteriormente e corrigida pela lei de extinção de Fitzpatrick.
F_{NUV}	Fluxo obtido para a banda NUV do GALEX a partir da magnitude AB calculada anteriormente e corrigida pela lei de extinção de Fitzpatrick.
F_{FUV}	Fluxo obtido para a banda FUV do GALEX a partir da magnitude AB calculada anteriormente e corrigida pela lei de extinção de Fitzpatrick.
R_{90}	Raio de Petrosian na banda r no qual se encontra 90% do fluxo emitido pela galáxia.

Continua na próxima página...

Tabela A.1 - Continuação

Variáveis	Significado
R_{50}	Raio de Petrosian na banda r no qual se encontra 50% do fluxo emitido pela galáxia.
R_r	Raio de Petrosian na banda r no qual se encontra todo do fluxo emitido pela galáxia.
$E(B - V)$	Excesso de cor entre as bandas U e V.
A_V^{MK}	Avermelhamento causado pela extinção na banda V na Via Láctea.
$A_V^{STARLIGHT}$	Avermelhamento causado pela extinção na banda V interna da galáxia observada estimada pelo STARLIGHT.
$D_n^{sint}4000$	D_n^{4000} sintético estimado pelo STARLIGHT.
$D_n^{obs}4000$	D_n^{4000} observado pelo SDSS.
S/N_r	Sinal-ruído na banda r .
S/N_{FUV}	Sinal-ruído na banda FUV .
F_{FUV}^{auto}	Fluxo no FUV calculado de forma automatizada pela <i>pipeline</i> do GALEX.
$F_{FUV}^{auto}_{err}$	Erro associado ao cálculo do fluxo do FUV que também sai da <i>pipeline</i> do GALEX.
C	Fator de correção do escalonamento.
$\langle t \rangle$	Idade média da galáxia estimada pelo STARLIGHT.
$\langle z \rangle$	Metalicidade média da galáxia estimada pelo STARLIGHT.
$(M/L)_x$	Razão massa-luminosidade da galáxia na banda x do SDSS estimada pelo STARLIGHT.
M_{cor}^{gal}	Massa “atual” da galáxia em estrelas estimada pelo STARLIGHT.

Tabela A.2 - Correções dos *offsets* para as bandas do SDSS, na qual m_x^{AB} é a magnitude AB para cada banda x e m_x^{SDSS} é a magnitude original obtida pelo SDSS para a mesma banda x , respectivamente.

Banda do SDSS	Offset	Correção
u	-0.04	$m_u^{AB} = m_u^{SDSS} - 0.04$
g	+0.01	$m_g^{AB} = m_g^{SDSS} + 0.01$
r	+0.01	$m_r^{AB} = m_r^{SDSS} + 0.01$
i	+0.01	$m_i^{AB} = m_i^{SDSS} + 0.01$
z	+0.02	$m_z^{AB} = m_z^{SDSS} + 0.02$

A.1.1 Comprimentos de Onda de Pivot e Efetivos

Abaixo temos as definições dos comprimentos de onda pivotais (Tokunaga e Vacca, 2005) e efetivos e seus respectivos valores para as bandas no óptico e no ultravioleta apresentados neste trabalho:

$$\lambda_{\text{pivot}} = \sqrt{\frac{\int R(\lambda) \lambda d\lambda}{\int R(\lambda) \lambda \frac{d\lambda}{\lambda}}} \quad (\text{A.1})$$

$$\lambda_{\text{efetivo}} = \frac{\int F_{\lambda} R(\lambda) \lambda d\lambda}{\int F_{\lambda} R(\lambda) d\lambda}. \quad (\text{A.2})$$

Tabela A.3 - Comprimentos de onda de pivot para cada uma das bandas do GALEX e do SDSS, respectivamente (em Å).

Comprimentos de Onda Pivotalis						
λ_{pivot} FUV	λ_{pivot} NUV	λ_{pivot} u	λ_{pivot} g	λ_{pivot} r	λ_{pivot} i	λ_{pivot} z
1535	2301	3557	4702	6175	7491	8943

Tabela A.4 - Comprimentos de onda de efetivos para cada uma das bandas do GALEX e do SDSS, respectivamente (em Å).

Comprimentos de Onda Efetivos						
λ_{efetivo} FUV	λ_{efetivo} NUV	λ_{efetivo} u	λ_{efetivo} g	λ_{efetivo} r	λ_{efetivo} i	λ_{efetivo} z
1516	2267	3543	4770	6231	7625	9134

Apêndice B

Queries

B.1 Seleção dos objetos analisados pelo STARLIGHT e observados pelo GALEX

Foram inseridos como entrada na busca para as observações do GALEX todos os identificadores dos objetos analisados pelo STARLIGHT e disponível em sua base de dados. A query realizada foi:

```
SELECT r.Objid, r.plate, r.mjd, r.fiberid, p.ra, p.delta, p.nuv_mag, p.fuv_mag,
p.nuv_magerr, p.fuv_magerr, p.e_bv, p.fuv_s2n as sn_fuv_auto,
pe.mpstype as survey
INTO MyDB.MyData_GALEX
FROM PhotoObjAll as p, XSDSSDR7 as s, MyDB.starlight_params as r,
photoextract as pe
WHERE (p.objid = s.objid AND s.SDSSObjid = r.ObjID AND
pe.photoExtractID = p.photoExtractID AND p.nuv_mag > -99 AND
(p.fuv_mag > -99 AND p.fuv_mag < 19) AND p.band=3 AND s.multipleMatchCount = 1 )
ORDER BY r.plate, r.mjd, r.fiberid
```

E os comentários da *query*:

```
/*band = 3 - objects that have both fuv and nuv measurements*/  
/*multipleMatchCount = 1 - an integer, for any given GALEX object  
how many SDSS objects it matched, for example a value of 1 indicates  
the GALEX object only matched 1 SDSS object within the 5" match radius.*/  
/*fuv_s2n - FUV signal-to-noise from 'AUTO' flux value - This is the  
ratio of FUV_FLUX_AUTO and FUV_FLUXERR_AUTO.*/
```

B.2 Pareamento dos dados obtidos pelo GALEX com a base de dados do SDSS

A partir dos dados coletados pelo GALEX, foi realizado um novo *crossmatch* com os dados do SDSS. A query realizada foi:

```
SELECT res.Objid, res.plate, res.mjd, res.fiberid, res.ra, res.delta,
glx.modelMag_u, glx.modelMag_g, glx.modelMag_r, glx.modelMag_i, glx.modelMag_z,
res.fuv_mag, res.nuv_mag, glx.dered_u, glx.dered_g, glx.dered_r, glx.dered_i,
glx.dered_z, glx.petroR90_r, res.fuv_magerr, res.nuv_magerr, res.e_bv,
s.sn_1 as s2n_r, res.sn_fuv_auto, res.survey, glx.morphtype
INTO MyDB.MyData_GALEX_SDSS
FROM MyDB.MyData_GALEX AS res, Galaxy AS glx, SpecObj AS s
WHERE glx.nchild = 0 AND
(glx.Flags & (0x00000000000040000 + 0x0000000000000002 + 0x0000080000000000) ) = 0
AND glx.dered_r <= 22.0 AND (glx.dered_u between 5 AND 30) AND
(glx.dered_g between 5 AND 30) AND glx.dered_r > 5 AND (glx.dered_i between 5 AND 30)
AND (glx.dered_z between 5 AND 30) AND s.specClass = 2 AND s.zStatus > 1 AND
s.zConf > 0.9 AND s.zWarning = 0 AND res.Objid = glx.objid AND
glx.objid = s.bestObjID AND s.z BETWEEN 0.05 AND 0.075 AND
(glx.petroR90_r BETWEEN 1.5 AND 3.5)
ORDER BY res.plate, res.mjd, res.fiberid
```

E os comentários da *query*:

```

/*specClass = 2 are galaxies spectra*/
/*nchild = 0 - Number of children if this is a composite object that has
been deblended. BRIGHT (in a flags sense) objects also have nchild == 1,
the non-BRIGHT sibling.*/
/*0x00000000000040000 - Object contains one or more saturated pixels*/
/*0x0000000000000002 - Object detected in first, bright object-finding;
generally  $r < 17.5$ */
/*0x0000080000000000 - Object center is close to at least one saturated
pixel.*/
/*zWarning = 0 - Spectra with zWarning equal to zero have no known
problems. */
/*zConf* = reliable redshifts within a range./

```

Após as etapas acima (B.1 e B.2), foram feitos os refinamentos descritos no Capítulo 2.

Dados Importantes Para a Lei de Extinção de
Fitzpatrick

C.1 Tabelas Dadas por Fitzpatrick (1999)

As tabelas a seguir são as tabelas 3 e 4 publicadas no trabalho de Fitzpatrick (1999).

Tabela C.1 - Tabela 3 publicada no trabalho de Fitzpatrick (1999) referentes aos dados utilizados para o *spline* cúbico para a curva em que $R = R_V = 3.1$.

Valores de acoragem utilizados no *spline* cúbico para a curva em que $R = R_V = 3.1$.

Comprimento de onda Å (1)	λ^{-1} μm^{-1} (2)	$\frac{A(\lambda)}{E(B-V)}$ (3)
∞	0.000	0.000
26500	0.377	0.265
12200	0.820	0.829
6000	1.667	2.688
5470	1.828	3.055
4670	2.141	3.806
4110	2.433	4.315
2700	3.704	6.265
2600	3.846	6.591

Tabela C.2 - Tabela 4 publicada no trabalho de Fitzpatrick (1999) referentes aos dados utilizados para o *spline* cúbico para a região do ótico.

Valores de acoragem utilizados no *spline* cúbico para o modelo dependente de R para a região do ótico

Comprimento de onda Å (1)	λ^{-1} μm^{-1} (2)	$\frac{A(\lambda)}{E(B-V)}$ (3)
6000	1.667	$-0.426 + 1.0044 \cdot R$
5470	1.828	$-0.050 + 1.0016 \cdot R$
4670	2.141	$0.701 + 1.0016 \cdot R$
4110	2.433	$-1.208 + 1.0032 \cdot R - 0.00033 \cdot R^2$

C.2 Parâmetros para a curva no UV

Os parâmetros básicos utilizados na determinação da curva na região do ultravioleta são:

- $x_0 = \lambda_0^{-1} = 4.596 \equiv$ valor padrão (para a Via Láctea) do centróide do *bump* (ou “subida”) conforme ilustra a Figura 2.5 em μm ;
- $\gamma = 0.99 \equiv$ valor padrão da largura do centróide (para a Via Láctea) do *bump* (Figura 2.5) em μm ;
- $c_4 = 0.41 \equiv$ valor padrão (para a Via Láctea) da curvatura do FUV;
- $c_3 = 3.23 \equiv$ valor padrão (para a Via Láctea) da intensidade do *bump* (Figura 2.5);
- $c_2 = -0.824 + \frac{4.717}{R} \equiv$ valor padrão (para a Via Láctea) do coeficiente angular da componente linear da extinção no ultravioleta;
- $c_1 = 2.030 - 3.007 \cdot c_2 \equiv$ valor padrão (para a Via Láctea) do coeficiente linear da componente linear da extinção no ultravioleta;

C.3 Modelo de Extinção de Fitzpatrick Dependente da Curva de R

As equações C.1, C.2, C.3 e C.4 dão as relações necessárias para uma correção dependente de R .

$$R = 1.39 \cdot \frac{E(V - J)}{E(B - V)} - 0.02 \quad (\text{C.1}) \quad R = 1.19 \cdot \frac{E(V - H)}{E(B - V)} + 0.04 \quad (\text{C.2})$$

$$R = 1.12 \cdot \frac{E(V - K)}{E(B - V)} + 0.02 \quad (\text{C.3}) \quad R = 1.07 \cdot \frac{E(V - L)}{E(B - V)} - 0.01 \quad (\text{C.4})$$

Dedução do Fator de Escalonamento a Partir da Fórmula Geral de χ^2

Uma maneira conveniente de determinar o fator de escalonamento (C) é minimizar o χ^2 entre os fluxos (Fowler, 2008).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{\left[y_i - \sum_{k=1}^M p_k \cdot f_k(x_i) \right]^2}{\sigma_i^2} \quad (\text{D.1})$$

Em outras palavras, é possível substituir essas variáveis genéricas pelos parâmetros que definem o espectro de um objeto. Portanto, é possível definir que:

- $y_i \equiv$ fluxos observados ($F_{\lambda}^{\text{observado}}$);
- $p_k \equiv$ fator(s) de correção do escalonamento (C);
- $f_k \equiv$ fluxos sintéticos ($F_{\lambda}^{\text{sintetico}}$);
- Além disso, é possível considerar que: $k = M = 1$, pois o escalonamento é feito ao se comparar um fluxo observado por um fluxo sintético. Em outras palavras, a soma é de apenas um fator.
- O índice i é dado pelos comprimentos de onda utilizados no escalonamento dos dados fotométricos ao espectro. Portanto, o total de “ i ”s é N ;
- Considerando que o STARLIGHT utiliza espectros observados pelo SDSS (região do ótico do espectro eletromagnético) para ajustar as bibliotecas de Bruzual e Charlot (2003), foram utilizados **unicamente** as observações fotométricas do SDSS para o escalonamento. Em outras palavras, $N = 5$.

A derivada de χ^2 deve ser igual a zero (Fowler, 2008) para que possamos determinar a relação entre os fluxos oriundos da síntese espectral e os obtidos por meio das observações do SDSS.

Com as simplificações descritas, reescrevemos a equação D.1, da maneira como está colocada a equação D.2.

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial p_k} = -2 \cdot \sum_{i=1}^N \left[\frac{y_i \cdot f_k(x_i) - p_k \cdot f_k(x_i) \cdot f_k(x_i)}{\sigma_i^2} \right] = 0 \quad (\text{D.2})$$

Substituindo pelas variáveis em questão (citadas acima), temos que:

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial C} = -2 \cdot \sum_{\lambda=1}^5 \left[\frac{F_{\lambda}^{\text{observado}} \cdot F_{\lambda}^{\text{sinetico}} - C \cdot (F_{\lambda}^{\text{sinetico}})^2}{\sigma_i^2} \right] = 0 \quad (\text{D.3})$$

Por fim, após simplificarmos a expressão D.3, chegamos à expressão utilizada neste trabalho para determinação deste fator de escalonamento:

$$C = \frac{\sum_{\lambda=1}^5 \frac{(F_{\lambda}^{\text{sinetico}} \cdot F_{\lambda}^{\text{observado}})}{(\sigma_i)^2}}{\sum_{\lambda=1}^5 \frac{(F_{\lambda}^{\text{sinetico}})^2}{(\sigma_i)^2}} \quad (\text{D.4})$$

Cálculo das Incertezas dos Fluxos e das Magnitudes AB

As incertezas das magnitudes AB foram estimadas por meio da propagação descrita na teoria de erros. Como descrito no Capítulo 2, a correção da Extinção pela Lei de Fitzpatrick foi feita diretamente sobre o cálculo do fluxo a partir das magnitudes medidas para que, apenas depois, fosse feito o cálculo real das magnitudes AB. Assim sendo, foi feito primeiramente o cálculo da incerteza dos fluxos a partir das magnitudes brutas do SDSS (sem correção pela extinção), aqui representada por m_{λ}^{*AB} , pois o fluxo foi calculado já com a correção pela Lei de Extinção de Fitzpatrick, conforme a Equação E.1. A partir da determinação desse fluxo, calculou-se novamente a magnitude - desta vez corrigida pela extinção. Portanto, o cálculo da incerteza dessa magnitude, aqui representada por m_{λ}^{AB} é proveniente do fluxo corrigido calculado previamente.

$$\sigma_{F_{\lambda}} = \sqrt{\left(\frac{\partial F_{\lambda}}{\partial m_{\lambda}^{*AB}}\right)^2 \cdot \sigma_{m_{\lambda}^{*AB}}^2} \quad (\text{E.1})$$

sendo que $\sigma_{m_{\lambda}^{*AB}}$ é a incerteza fornecida pela *pipeline* de ambos os *surveys* - i.e. SDSS e GALEX.

Portanto, conforme descrito anteriormente, a incerteza das magnitudes corrigidas pela Lei de Extinção de Fitzpatrick é dada pela Equação E.2:

$$\sigma_{m_{\lambda}^{AB}} = \sqrt{\left(\frac{\partial m_{\lambda}^{AB}}{\partial F_{\lambda}}\right)^2 \cdot \sigma_{F_{\lambda}}^2} \quad (\text{E.2})$$

E.1 Incertezas dos Fluxos e Magnitudes para o SDSS

No caso de $\sigma_{F_\lambda}^{SDSS}$, temos que (Equação E.3):

$$\sigma_{F_\lambda}^{SDSS} = \left[\frac{c}{\lambda_{pivot}^2} \cdot (-0.4)^2 \cdot (m_\lambda^{*AB} + 48.60) \cdot 10^{-0.4 \cdot (m_\lambda^{*AB} + 48.60) - 1} \right] \cdot \sigma_{m_\lambda^{*AB}} \quad (E.3)$$

e $\sigma_{m_\lambda^{AB}}$ a Equação E.4:

$$\sigma_{m_\lambda^{AB}} = \left(\frac{2.5}{F_\lambda^{SDSS} \cdot \ln 10} \right) \cdot \sigma_{F_\lambda}^{SDSS} \quad (E.4)$$

sendo que $\sigma_{F_\lambda}^{SDSS}$ foi calculado na Equação E.3.

E.2 Incertezas dos Fluxos e Magnitudes para o GALEX

E, para o GALEX, $\sigma_{F_\lambda}^{GALEX}$ é distinta para cada comprimento de onda, por conta das diferentes calibrações realizadas para cada banda do ultravioleta descritas no Capítulo 2.

E.2.1 Incertezas para o NUV

Para o NUV, temos que as incertezas para os fluxos e para as magnitudes são dadas pela Equação E.5:

$$\sigma_{F_{NUV}}^{GALEX} = \left[2.06 \cdot 10^{-16} \cdot (-0.4)^2 \cdot (m_{NUV}^{*AB} - 20.08) \cdot 10^{-0.4 \cdot (m_{NUV}^{*AB} - 20.08) - 1} \right] \cdot \sigma_{m_{NUV}^{*AB}} \quad (E.5)$$

E, por fim, as incertezas para as magnitudes finais, corrigidas pela Lei de Extinção de Fitzpatrick são dadas por (Equação E.6):

$$\sigma_{m_{NUV}^{AB}} = \left(\frac{2.5}{F_{NUV}^{GALEX} \cdot \ln 10} \right) \cdot \sigma_{F_{NUV}}^{GALEX} \quad (E.6)$$

E.2.2 Incertezas para o FUV

Para o FUV, temos que as incertezas para os fluxos e para as magnitudes são dadas pela Equação E.7:

$$\sigma_{F_{FUV}^{GALEX}} = \left[1.40 \cdot 10^{-15} \cdot (-0.4)^2 \cdot (m_{FUV}^{*AB} - 18.82) \cdot 10^{-0.4 \cdot (m_{FUV}^{*AB} - 18.82) - 1} \right] \cdot \sigma_{m_{FUV}^{*AB}} \quad (\text{E.7})$$

E, por fim, as incertezas para as magnitudes finais, corrigidas pela Lei de Extinção de Fitzpatrick são dadas por (Equação E.8):

$$\sigma_{m_{FUV}^{AB}} = \left(\frac{2.5}{F_{FUV}^{GALEX} \cdot \ln 10} \right) \cdot \sigma_{F_{FUV}^{GALEX}} \quad (\text{E.8})$$