

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

Marcus Vinícius Costa Duarte

Propriedades Globais de Superaglomerados de Galáxias

São Paulo

2009

Marcus Vinícius Costa Duarte

Propriedades Globais de Superaglomerados de Galáxias

Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador: Prof. Dr. Laerte Sodré Jr.

São Paulo

2009

À Dione, Darci e Rosalice

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Dione e Darci, e à minha namorada Rosa por sempre me apoiarem na profissão que escolhi.

Gostaria de agradecer ao Prof. Laerte Sodré Jr. pela orientação, paciência e por sempre estar solícito a conversar e discutir inúmeras idéias e apontamentos desta dissertação e contribuir fortemente para o que aprendi. Agradeço aos professores que colaboraram para minha formação: Prof. Antônio Mário, Prof. Roberto Costa, Prof. Eduardo Cypriano, Prof. Laerte Sodré Jr., Profa. Silvia Rossi, Prof. Roberto Boczko, Prof. Gastão Lima Neto, Prof. Ronaldo Eustáquio e Prof. Reuven Opher.

Aos meus amigos e colegas, Tiago Triumpho, Tatiana Laganá, Gustavo Rocha (TF), Oscar Cavichia (Rá), Sérgio Torres, Mairan Teodoro (BD), Vinícius Placco, Walter Santos Jr., Pedro Beaklini, Tiago Ricchi, Tatiana Zapata e Fernanda Urrutia (*chiquititas*), Raimundo Lopes, Marina Trevisan, Reinaldo Lima, Bruno Dias, Aline Vidotto, Felipe Santos, Felipe Oliveira, Thiago Matheus, Carlos Braga, Rafael Souza, Andressa Jendreieck, Beatriz Soares, Thais Silva, Daniel Moser, Thiago Almeida (Zé Colméia), Douglas Barros, Alessandro Moisés, Bernardo Borges e demais pela amizade, companheirismo, conversas sobre Astronomia, vida acadêmica, programação, LINUX (Fortran, IDL, bash, etc), e diversas outras maneiras de contribuição para esta dissertação e momentos felizes.

Agradeço a Abílio Mateus pelas dicas na instalação e execução do programa de correção-k.

Agradeço ao Prof. Augusto Daminelli que permitiu aos alunos utilizarem o computador Carina para rodar os programas.

Ao pessoal da Informática, Marcos Antônio Santos, Luis Manrique e Ulisses Castello, pela ajuda com os problemas que tive durante este período.

Às secretárias Cida, Marina, Conceição e Regina da secretaria do Departamento de Astronomia e à Rose e Marcel da secretaria da pós-graduação pela atenção e dedicação aos alunos e pelos *coffee-breaks*.

Agradeço à Inês, Sérgio e Elis por me receberem na sua casa neste período com todo carinho e dedicação e pelos deliciosos jantares.

À Rosa e Luciana pelas tardes de sábado no escritório, tornando estes momentos mais divertidos e agradáveis.

Agradeço à CAPES e FAPESP pelo apoio financeiro durante esta dissertação.

Agradeço à todos os funcionários, alunos e professores do IAG, que colaboraram para este ambiente de trabalho saudável que encontrei aqui.

“Não existe um caminho para a felicidade. A felicidade é o caminho.”

Mahatma Gandhi

“O desconhecido de ontem é a verdade de amanhã.”

Camille Flammarion

Resumo

Estudamos neste trabalho as propriedades globais dos superaglomerados de galáxias com uma amostra de galáxias observadas espectroscopicamente pelo Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Nossa amostra limitada em volume possui 121.002 galáxias com $M_r < -21$ dentro do intervalo de redshift $0,02 < z < 0,155$.

Identificamos os superaglomerados utilizando os métodos de campo de densidades e *friends-of-friends*. Escolhemos um parâmetro de suavização $\sigma = 8h^{-1}Mpc$ e amostramos o campo de densidades numa grade de largura $l_{cel} = 4h^{-1}Mpc$. Com o intuito de avaliar o efeito do limiar de densidade na identificação dos superaglomerados, escolhemos dois valores: um correspondente ao número máximo de estruturas em grande escala e um com o maior superaglomerado com dimensão de aproximadamente $120h^{-1}Mpc$. Para cada valor obtivemos a riqueza e a luminosidade total dos objetos. Para uma análise morfológica, os Funcionais de Minkowski foram calculados e os superaglomerados foram classificados como filamentos, fitas e panquecas. Analisando possíveis correlações entre as características dos superaglomerados, encontramos que filamentos tendem a ser mais ricos e conseqüentemente mais luminosos e com uma maior dispersão de velocidades. Usando a distribuição cumulativa de luminosidade de superaglomerados, encontramos que as distribuições de filamentos e fitas são distintas entre si.

Num apêndice apresentamos um estudo das populações estelares de galáxias em superaglomerados. Calculamos a densidade local para cada galáxia e estudamos um análogo da relação morfologia-densidade através da relação entre densidade local e os parâmetros espectrais. Nenhuma diferença significativa foi notada entre filamentos, fitas e panquecas. Em outras palavras, comportamentos similares foram identificados para todos os parâmetros espectrais e morfologias dos superaglomerados, em todos os limiares. Resulta-

tado semelhante foi obtido para a distribuição cumulativa dos parâmetros espectrais. Finalmente, estudamos a influência dos aglomerados no ambiente interno dos superaglomerados. Valores médios dos parâmetros espectrais foram calculados dentro de esferas centradas nas BCGs (*Brightest Cluster Galaxies*) e verificamos todos os perfis dos parâmetros espectrais apresentam tendências a populações mais jovens à medida que a distância da BCG aumenta. O perfil mediano apresentou valores assintóticos para distâncias maiores que aproximadamente $8h^{-1}Mpc$. Esse valor é da mesma ordem que o parâmetro de suavização o que usamos, o que pode explicar porque não encontramos relações entre a morfologia dos superaglomerados e os valores médios dos parâmetros espectrais das populações estelares das galáxias que os constituem.

Abstract

We have studied the global properties of galaxy superclusters with a sample of galaxies observed spectroscopically by the Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Our volume limited sample has 121,002 galaxies with $M_r < -21$ and the in redshift range $0.02 < z < 0.155$.

We have identified superclusters using the density field and friends-of-friends methods. We have adopted a smoothing parameter $\sigma = 8h^{-1}Mpc$ and sampled the density field in a grid of size $l_{cel} = 4h^{-1}Mpc$. In order to evaluate the effect of the threshold density value on supercluster identification, we have choosen two values: the threshold which corresponds to the highest number of superclusters and the threshold where the largest supercluster is about $120h^{-1}Mpc$ long. For each value, we have obtained the richness and the total luminosity of the objects. For the morphological analisys the Minkowski Functionals were calculated and the superclusters were classified as filaments, ribbons and pancakes. Analyzing possible correlations among superclusters features, we have found that filaments tend to be richer and consequently more luminous and have a higher velocity dispersion. Using the cumulative distribution of supercluster luminosities, we have found that the distributions of filaments-like and pancakes-like objects are probably distinct.

In an appendix we present a study of stellar populations of galaxies. We have calculated the local density for each galaxy, obtaining an analogous of the morphology-density relation through the relation between local density and spectral parameters. No significative difference in this relation has been noticed among filaments, ribbons and pancakes. In other words, similar behaviors have been identified for all spectral parameters and superclusters morphologies, in all threshold densities. A similar result was obtained for the cumulative distributions of spectral parameters. Finally, we have studied the influence of clusters on the inner environment of superclusters. Average values of spectral parame-

ters were calculated inside spheres centered at each BCG (*Brightest Cluster Galaxy*) and all spectral parameter profiles have shown trends towards younger populations as the distance from BCG increases. The median profile presented asymptotic values for distances greater than roughly $8h^{-1}Mpc$. Since this is of the same order of magnitude of the smoothing parameter, this might explain why we did not find any relation between the supercluster morphology and the mean value of spectral parameters of the galaxies.

Lista de Figuras

1.1	Distribuição de galáxias do <i>2dFGRS</i>	23
1.2	Campo de densidades da amostra de E07I com $\rho/\bar{\rho} > 4,5$ e $\rho/\bar{\rho} < 4,5$. . .	24
1.3	Evolução do superaglomerado mais massivo da simulação de Araya-Melo et al. (2009)	27
2.1	Disposição do conjunto de CCDs no plano focal do telescópio do SDSS. . .	31
2.2	Espectro da estrela SDSSJ172637.26+264127.6 com os pipelines de redução do DR6 e DR7.	33
2.3	Região selecionada do céu para a amostra de galáxias.	34
2.4	Magnitude absoluta versus redshift da amostra de galáxias limitada em volume ($M_r < -21$).	34
3.1	Campo de densidade de região da amostra de galáxias para os dois conjuntos de parâmetros do campo de densidades e as galáxias.	39
3.2	Fração das galáxias com espectro com relação ao total no intervalo de magnitude $13,0 < r < 17,77$	41
3.3	Riqueza e luminosidade total dos superaglomerados em função do redshift sem a correção do efeito de seleção radial.	42
3.4	Riqueza e luminosidade total dos superaglomerados em função do redshift.	43
3.5	Número de estruturas identificadas com os diferentes limiares de densidade.	45
3.6	Dimensão do maior superaglomerado em função do limiar de densidade.	45
3.7	Região do céu correspondente a amostra de galáxias e a região de borda.	46
4.1	Distribuição dos parâmetros e_1 e e_2 em L1.	51

4.2	Distribuição do parâmetro a_1 em L1.	52
4.3	Histograma do “shapefinder” K_1/K_2 para L1 e DF1.	54
4.4	Painel com a riqueza e a luminosidade total dos superaglomerados em função de K_1/K_2	55
4.5	Dipersão de velocidade dos superaglomerados em função de K_1/K_2	56
4.6	Distribuição cumulativa de luminosidade de superaglomerados para as diferentes morfologias com o limiar L1.	57
4.7	Distribuição cumulativa de luminosidade de superaglomerados para as diferentes morfologias com o limiar L2.	58
A.1	Espectros de 150 populações estelares de CB07 usadas no STARLIGHT.	76
A.2	Valores medianos dos parâmetros espectrais em função da densidade local das galáxias pertencentes a diferentes morfologias de superaglomerados.	78
A.3	Histogramas dos parâmetros espectrais das galáxias de superaglomerados de diferentes morfologias.	80
A.4	Distribuições cumulativas normalizadas dos parâmetros espectrais das galáxias de superaglomerados de diferentes morfologias.	82
A.5	Perfis do valor médio de D_n4000 em dois aglomerados identificados como pertencente às estruturas da nossa amostra.	83
A.6	Perfis medianos dos parâmetros espectrais com relação à distância da BCG.	84

Lista de Tabelas

1.1	Principais características dos superaglomerados identificados por Zucca et al. (1993).	22
2.1	Tabela com características gerais dos filtros do SDSS.	30
B.1	Principais características dos superaglomerados	85

Sumário

1. Introdução	19
1.1 História dos <i>surveys</i> e Superaglomerados	19
1.2 O Presente e Futuro dos Superaglomerados	26
1.3 Resumo da Dissertação	27
2. Base de Dados	29
2.1 O <i>Sloan Digital Sky Survey</i> (SDSS)	29
2.2 Amostra de galáxias do SDSS	33
2.3 Cálculo das magnitudes absolutas	33
3. O Campo de densidades	37
3.1 Campo de densidades	37
3.1.1 Definição do Campo de Densidades	37
3.1.2 A função de seleção da amostra	40
3.2 Identificação dos Superaglomerados	42
3.2.1 Método <i>Friends-of-Friends</i>	42
3.2.2 Identificação	43
3.2.3 Efeito de Borda	45
3.2.4 Conclusão	47
4. Análise Global dos Superaglomerados	49
4.0.5 Método de ajuste de elipsóides	49
4.0.6 Funcionais de Minkowski	51

4.1	Distribuição Cumulativa de Luminosidade de Superaglomerados	56
4.2	Conclusão	58
5.	<i>Conclusões e Perspectivas</i>	61
	<i>Referências</i>	63
	<i>Apêndice</i>	71
A.	<i>Populações estelares de Galáxias em Superaglomerados</i>	73
A.1	O código <i>STARLIGHT</i>	73
A.2	Populações Estelares em Superaglomerados	75
A.2.1	Relação Morfologia - Densidade	76
A.2.2	Distribuição dos Parâmetros Espectrais	79
A.2.3	Perfis dos Parâmetros Espectrais na Região de Aglomerados	80
B.	<i>Principais Propriedades dos Superaglomerados</i>	85

Introdução

Neste capítulo fazemos um breve resumo da história dos grandes levantamentos extragalácticos, discutindo como as estruturas em grande escala foram descobertas e catalogadas à medida que *surveys* cada vez mais profundos e cobrindo áreas maiores do céu foram feitos. Também descrevo resumidamente a teoria atual de formação de estruturas no contexto cosmológico, e alguns problemas que persistem na comparação entre observações e teoria. Ao final, descrevo trabalhos sobre o estado dinâmico presente e futuro dos superaglomerados.

1.1 História dos *surveys* e Superaglomerados

A história do estudo de estruturas em larga escala começa na década de 50. Até este período, o número de galáxias com distâncias conhecidas era pequeno, logo o estudo destas estruturas baseava-se simplesmente numa contagem de galáxias. Um trabalho pioneiro foi o de de Vaucouleurs (1953) que, utilizando o catálogo de Shapley e Ames (1932), notou uma região de maior densidade de galáxias no céu com magnitudes menores que 13. O autor inicialmente denomina tal estrutura como Super Galáxia Local mas somente anos depois tal região é chamada de Superaglomerado Local (de Vaucouleurs 1958).

O passo seguinte no estudo da distribuição de galáxias no Universo foi dado no Observatório do Monte Palomar com o *Palomar Observatory Sky Survey*, baseado em placas fotográficas e inspeção visual. Os primeiros catálogos de aglomerados de galáxias feitos a partir das placas do Monte Palomar foram elaborados por Abell (1958), com aglomerados do hemisfério Norte. Posteriormente o mesmo autor estende o trabalho para o hemisfério Sul, somando um total de 4074 aglomerados de galáxias (Abell et al. 1989).

No estudo do Superaglomerado Local, diversos autores utilizaram métodos estatísticos

para analisar a distribuição de galáxias e aglomerados, confirmando a existência desta estrutura (Abell 1974) ou associando-a a efeitos de extinção da nossa Galáxia e à proximidade de uma região populosa de galáxias, o aglomerado de Virgo (e.g. Bahcall e Joss 1976). No final da década de 60, Zwicky e Kowal (1968) compilaram um catálogo de galáxias com magnitudes fotográficas ($m_{ph} < 15,7$) e uma lista de aglomerados. Uma compilação de trabalhos anteriores sobre galáxias brilhantes foi elaborado por de Vaucouleurs et al. (1976), que permitiu estudar a distribuição espacial de galáxias. Já na década de 80, o CfA *survey* de Harvard realizou um estudo mais detalhado das galáxias de Zwicky com magnitude fotográfica menor que $m_{ph} = 14,5$. Trabalhos posteriores do CfA foram feitos com galáxias num limite de magnitude de 15,5.

A partir destes primeiros *surveys*, foi possível identificar galáxias numa disposição filamentar e aglomerada, formando estruturas ainda maiores, os superaglomerados e regiões com falta delas, os vazios (*voids*). Comparando observações com a teoria de formação de estruturas da época concluiu-se que o cenário de Zel'dovich se ajustava melhor às observações e que as estruturas observadas não poderiam ter sido formadas por aglomeração randômica (*random clustering*) (Einasto e Jõeveer 1978). Entretanto este cenário apresentava problemas, pois simulações numéricas mostravam que estruturas se formavam tardiamente (Davis e Peebles 1983). Um cenário alternativo de formação de estruturas foi então sugerido, com formação hierárquica e matéria escura fria (CDM) (Blumenthal et al. 1984).

O passo seguinte nos grandes *surveys* foi o *APM galaxy catalogue*, que usou placas fotográficas do *ESO Sky Survey* digitalizadas, cobrindo 185 campos com magnitudes $b_j \leq 20,5$, utilizando a máquina APM (*Automated Plate Measuring Facility*) para leitura de placas fotográficas (Maddox et al. 1990). Através destes dados, Efstathiou et al. (1990) mostraram que as observações diferiam do modelo da época (SCDM) e que o modelo cosmológico que se ajustava melhor aos dados apresentava uma densidade de matéria menor que a densidade crítica, além de uma constante cosmológica.

À medida que os *surveys* avançavam para maiores magnitudes e redshifts, a distribuição tri-dimensional de galáxias e aglomerados permitia estudos mais detalhados sobre superaglomerados. Bahcall e Soneira (1984) catalogaram uma lista de superaglomerados com redshifts até 0,1, utilizando os aglomerados de Abell (1958). Para isso, determinaram o

campo de densidades de aglomerados e adotaram uma análise de percolação com raios constantes ao redor dos aglomerados, método parecido ao *friends-of-friends*. Propriedades globais dos superaglomerados foram obtidas, apontando para uma estrutura, na maioria dos casos, alongada e com dimensões que excedem em alguns casos $100 h^{-1} Mpc$ ¹.

Apesar de serem as maiores estruturas conhecidas, os superaglomerados ocupam apenas uma pequena fração do espaço, (aproximadamente 3%) e uma fração de $\sim 54\%$ dos aglomerados ricos pertencem aos superaglomerados.

Já na década de 90, Giovanelli e Haynes (1993) realizaram um levantamento com observações na linha de 21cm em Arecibo de 765 galáxias na região do superaglomerado de Pisces-Perseus (intervalo de ascensão reta entre 22^h e 04^h e declinação entre $15,5^\circ$ e $21,5^\circ$). Também fizeram um levantamento de regiões ao Norte e ao Sul ($9,5^\circ$ a $15,5^\circ$) com o intuito de avaliar possíveis estruturas nesta região do céu. Nesta região foi encontrado um vazio centrado em $0,6^h$ e distância de $3000 km s^{-1}$, além de uma estrutura filamentar. O vazio também foi identificado nas regiões ao Norte da região de Pisces-Perseus, com uma forma de bolha, apresentando um raio de aproximadamente $20 h^{-1} Mpc$. Foi identificada também uma estrutura filamentar, que se estende até $5000 km s^{-1}$, ligando o superaglomerado de Pisces-Perseus com o Superaglomerado Local.

Já Zucca et al. (1993) apresentaram uma análise estatística de superaglomerados identificados através do método de campo de densidades, similar ao aplicado por Bahcall e Soneira (1984), com aglomerados de Abell e ACO (Abell et al. 1989). Através de uma análise de percolação, elaboraram catálogos de superaglomerados com diferentes limiares de densidades, obtendo suas propriedades e analisando a existência de possíveis velocidades peculiares. Na amostra de Abell não foi encontrada qualquer evidência de movimentos peculiares dos aglomerados, mas na amostra de ACO notou-se movimentos peculiares devido à Concentração de Shapley. Excluindo este superaglomerado, a dispersão de velocidades de superaglomerados foi determinada com um limite superior de $\sim 1000 km s^{-1}$. Através do método do tensor de inércia, calculado para cada superaglomerado, não foi observada qualquer evidência dos superaglomerados apresentarem perfis alongados em qualquer direção. A tabela 1.1 mostra os principais superaglomerados identificados neste trabalho, suas co-

¹ Utilizando um limiar de densidade de $f = N(r \leq r_p) / (\frac{4}{3} \pi r_p^3 n_0) > 20$, onde $N(r \leq r_p)$ é o número de aglomerados dentro do raio r_p , n_0 representa a densidade média local e r_p o raio de uma esfera que possui uma sobredensidade de f .

ordenadas, distância e o número de aglomerados².

Tabela 1.1 - Principais características dos superaglomerados identificados por Zucca et al. (1993) para $f \geq 2$

Nome	α_{med}	δ_{med}	distância(Mpc)	Número de Aglomerados
Pisces-Cetus(a)	0 ^h 29 ^m 14 ^s	-24° 29' 16''	181,6	11
Pisces-Cetus(b)	1 ^h 48 ^m 57 ^s	-2° 19' 33''	260,9	11
Shapley	13 ^h 25 ^m 32 ^s	-32° 32' 36''	137,9	25
Ursa Major	11 ^h 49 ^m 19 ^s	55° 53' 34''	167,6	7
Horogium-Reticulum	3 ^h 18 ^m 43 ^s	-50° 01' 40''	181,1	18
Corona-Borealis	15 ^h 25 ^m 14 ^s	30° 40' 12''	206,0	10
Hercules	16 ^h 06 ^m 05 ^s	26° 02' 37''	102,7	8
Perseus-Pegasus(a)	23 ^h 25 ^m 25 ^s	14° 33' 45''	118,6	4
Perseus-Pegasus(b)	23 ^h 33 ^m 24 ^s	22° 45' 40''	172,5	3

Depois o LCRS (*Las Campanas Redshift Survey*; Shectman et al. 1996), com um espectrógrafo multi-objeto, varreu seis faixas no céu de $1,5^\circ \times 80^\circ$ com $b_j \leq 18,8$, somando aproximadamente 26000 galáxias. Outros projetos de mapeamento do Universo local foram realizados, como o *2 degree Field Galaxy Redshift Survey (2dFGRS)* (Colless et al. 2001) que catalogou aproximadamente 250000 objetos, como mostra o diagrama de cone na figura 1.1, com magnitudes até $b_j = 19,45$.

Existem alguns estudos sobre a morfologia dos superaglomerados e suas implicações cosmológicas. Basilakos et al. (2001) utilizaram o PSCz (*Point Source Catalogue Redshift Survey*; Saunders et al. 2000) e aplicaram o método de campo de densidades na identificação destas estruturas. Para o estudo da morfologia, foi utilizado o método de geometria diferencial de Sahni et al. (1998) e concluiu-se que a maioria dos superaglomerados apresentam uma morfologia filamentar. Uma comparação dos superaglomerados do PSCz com simulações de três modelos cosmológicos (Λ CDM, SCDM e τ -CDM) mostrou que o melhor

² Para o limiar de densidade $f \geq 2$

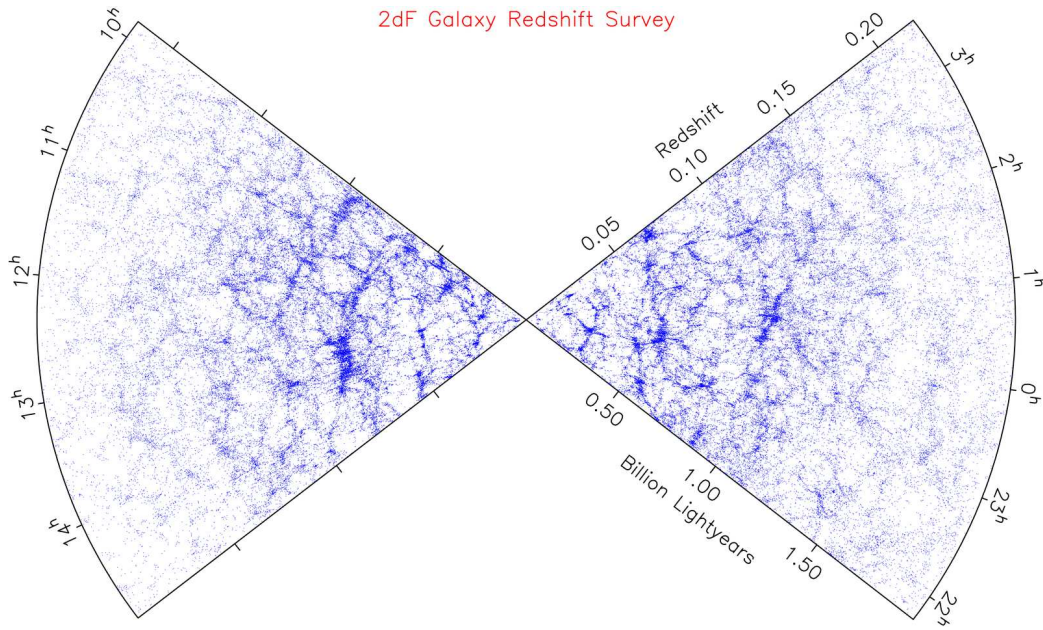


Figura 1.1: Distribuição das galáxias observadas pelo *2dFGRS*, com regiões de maior densidade de objetos formando estruturas filamentos e aglomerados.

ajuste se deu com o modelo com constante cosmológica, o Λ CDM. Mais tarde, Basilakos (2003) utilizou um catálogo de aglomerados do SDSS (Goto et al. 2002) até redshift 0,23 e o método de percolação com um raio que resulta no maior número de superaglomerados ($R_{per} = 26 h^{-1} Mpc$). Utilizando o mesmo método de Basilakos et al. (2001) no estudo da morfologia, resultados similares ao trabalho anterior foram obtidos, com a maioria ($\sim 71\%$) dos objetos apresentando uma morfologia filamentar.

Einasto et al. (2003) elaboram um catálogo de aglomerados e superaglomerados com os dados do SDSS *Early Data Release* (Stoughton et al. 2002) de duas regiões no céu com $z \leq 0,2$, somando 27000 galáxias. Na identificação de estruturas, utilizaram o método do campo de densidades com diferentes parâmetros de suavização e limiares de densidade para aglomerados e superaglomerados. A morfologia predominante encontrada foi filamentar ou a de uma série de ramos interligados (*multi-branching*).

Proust et al. (2006) estudaram o superaglomerado de Shapley, que está localizado ao norte da constelação do Centauro ($\alpha = 13^h 25^m$, $\delta = -30^\circ$). O Grupo Local desloca-se em direção a Centauro (Dressler et al. 1987), indicando uma região massiva atraindo nossa Galáxia e as galáxias vizinhas nesta direção, o chamado Grande Atrator (Lynden-Bell et al. 1988). Há também nesta direção o superaglomerado de Hydra-Centaurus, que está entre o

Grupo Local e Shapley. O superaglomerado de Shapley é a maior concentração de matéria do Universo Local ($z \leq 0,06$). Uma análise deste superaglomerado utilizando diversos métodos para a obtenção da massa e luminosidade (raios-X de aglomerados massivos, campo de velocidades dos aglomerados, etc) mostrou que a luminosidade total é de $1,4 \times 10^{14} h^{-2} L_{\odot}$ e a massa de $5 \times 10^{16} h^{-1} M_{\odot}$.

Posteriormente uma série de trabalhos foi feita com relação à identificação e estudo das propriedades de superaglomerados utilizando os dados do *2dFGRS* pelo grupo estoniano. No primeiro artigo, Einasto et al. (2007a) (E07a) utilizam novamente o método do campo de densidades, com um limiar de 4,5 vezes a densidade média, para a identificação de estruturas. A figura 1.2 mostra o campo de densidades bi-dimensional para a região Norte com regiões de alta ($\rho/\bar{\rho} > 4,5$) e baixa ($\rho/\bar{\rho} < 4,5$) densidade. Ao final, o catálogo de superaglomerados é composto por 314 superaglomerados na região Sul e 229 superaglomerados na região Norte. Para cada objeto foram determinados parâmetros importantes como coordenadas equatoriais, distância, número de galáxias, número de aglomerados, luminosidade total. Em Einasto et al. (2007b), realiza-se uma comparação com simulações, (E07b).

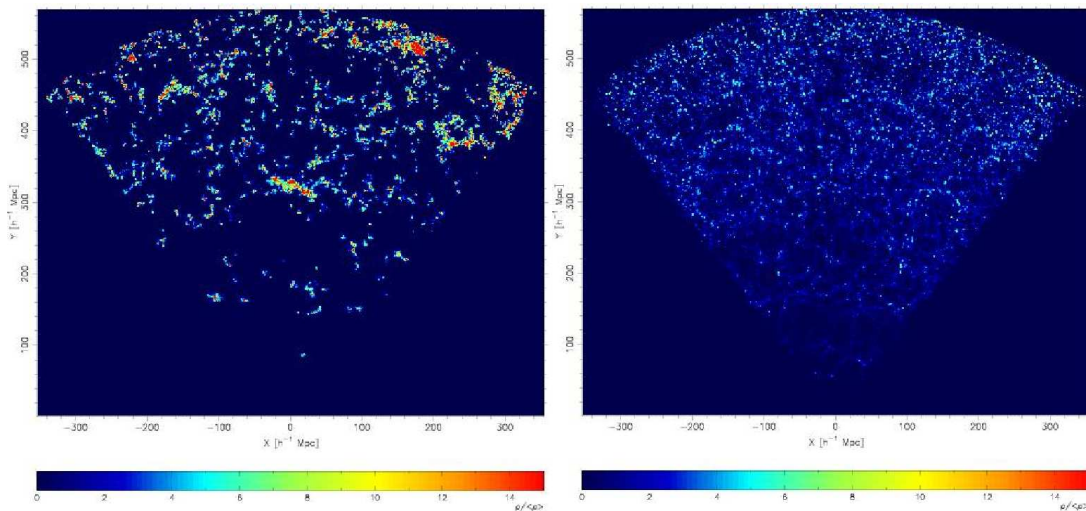


Figura 1.2: Campos de densidades de E07I com um limiar de densidade de $\rho/\bar{\rho} > 4,5$ (esquerda) e $\rho/\bar{\rho} \leq 4,5$ (direita).

Os autores comparam os resultados do primeiro artigo com cones de luz da Simulação do Milênio (Croton et al. 2006) e concluem que as propriedades dos superaglomerados são similares. Entretanto não foi identificado nas simulações superaglomerados tão ricos e

luminosos como os observados.

No terceiro artigo da série, Einasto et al. (2007c) (E07c), foi feita uma comparação entre as propriedades dos superaglomerados ricos (compostos por mais de 200 galáxias) e pobres (compostos por menos de 200 galáxias). As principais conclusões foram que as propriedades das galáxias são influenciadas tanto por fatores locais (aglomerados e grupos) como globais (superaglomerados). Superaglomerados ricos possuem uma fração maior de galáxias *early-type* que superaglomerados pobres, além de apresentarem galáxias mais luminosas que nos superaglomerados pobres.

Atualmente, o maior *survey* em operação é o *Sloan Digital Sky Survey* (Abazajian et al. 2009), que é um esforço de cooperação entre instituições de vários países e cobre aproximadamente um quarto do céu. Projetos futuros de mapeamento de galáxias são esperados, como o *Dark Energy Survey* e o *Large-aperture Synoptic Survey Telescope* (Ivezic et al. 2008).

1.2 O Presente e Futuro dos Superaglomerados

Vários trabalhos estudaram a dinâmica atual dos superaglomerados. Ettori et al. (1997) analisaram o superaglomerado de Shapley e concluíram que a região central da estrutura está perto de cessar a expansão e começar o colapso (ponto de *turnaround*). Bardelli et al. (2000) analisaram o mesmo superaglomerado utilizando o modelo de colapso esférico e os resultados indicaram que este já começou a colapsar. Um estudo similar aplicado ao superaglomerado de Coronas Borealis foi feito por Small et al. (1998) e chegaram à mesma conclusão, de que a estrutura já começou o colapso.

Utilizando simulações de N-corpos, Gramann e Suhhonenko (2002) investigaram o estado dinâmico dos superaglomerados no modelo cosmológico Λ CDM, utilizando uma série de combinações de Ω_M , σ_8 e dois formalismos para o espectro de potência, com o código do Virgo Consortium (Jenkins et al. 1998). Para a identificação dos superaglomerados, utilizaram o método do campo de densidades com o parâmetro de suavização igual a $10h^{-1}Mpc$ e $5h^{-1}Mpc$, definindo tais estruturas como regiões de máximos. Para o contraste de densidade das simulações, foi determinado o valor de *turnaround* em torno de $\delta_T = 16,2 \pm 4,6$ e concluíram que superaglomerados identificados com o parâmetro de suavização igual a $10h^{-1}Mpc$ estão ainda em processo de expansão hoje. Somente uma pequena fração dos objetos identificados com $5h^{-1}Mpc$ já alcançaram o ponto de *turnaround*, iniciando o colapso.

O trabalho de Araya-Melo et al. (2009) consiste no estudo da evolução dos superaglomerados num modelo Λ CDM. Num Universo acelerado, acredita-se que estes objetos se tornarão os chamados “universos ilhas”, regiões colapsadas e praticamente isoladas da vizinhança. Na simulação de Araya-Melo et al. (2009), consideraram um modelo Λ CDM com $\Omega_M = 0,3$, $\Omega_\Lambda = 0,7$ e $h = 0,7$ com uma caixa de $500h^{-1}Mpc$ de lado e 512^3 partículas, cada uma com massa igual a $7,75 \times 10^{10}M_\odot$. A simulação começa com um fator de escala de $a = 0,02$ e chega a $a = 100$. Para esta simulação utilizaram o código *GADGET* – 2 (Springel 2005).

Os resultados desta simulação mostraram que enquanto a evolução da teia cósmica, isto é, a distribuição espacial dos superaglomerados, é interrompida como consequência da aceleração do Universo, a evolução dos superaglomerados continua até a formação de halos de matéria virializada quase esféricos, isolados e com altas densidades. A figura 1.3 mostra

a evolução do superaglomerado mais massivo da simulação, com $M \simeq 6,8 \times 10^{15} h^{-1} M_{\odot}$. Da esquerda para a direita temos o superaglomerado em $a = 1$, $a = 2$, $a = 5$ e $a = 100$, em coordenadas físicas. Podemos perceber um grau substancial de subestruturas em $a = 1$. Com o passar do tempo, halos pertencentes à sub-estrutura filamentar do superaglomerado caem no poço de potencial central. Como praticamente toda a matéria que se encontrava na vizinhança caiu na região central, o resultado em $a = 100$ consiste num halo quase esférico e virializado de matéria escura. Deste modo, os superaglomerados se tornaram grandes concentrações isoladas de massa, os chamados “universos ilhas”.

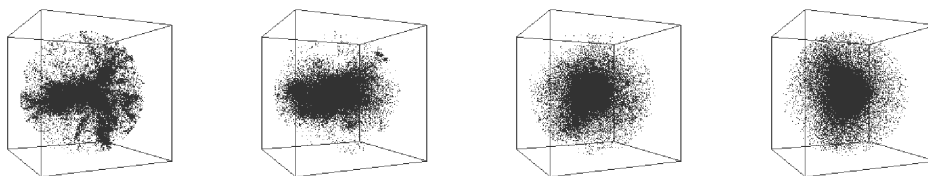


Figura 1.3: Superaglomerado da simulação de Araya-Melo et al. (2009) com $M \simeq 6,8 \times 10^{15} h^{-1} M_{\odot}$. Da esquerda para a direita, com $a = 1$, $a = 2$, $a = 10$ e $a = 100$, podemos perceber o desaparecimento de subestruturas pela queda de material na região central, formando-se um halo praticamente esférico, virializado e isolado, um “universo ilha”.

1.3 Resumo da Dissertação

Neste trabalho, usamos uma amostra de galáxias do SDSS. Calculamos o campo de densidades e identificamos as grandes estruturas. Caracterizamos sua morfologia e estudamos a relação entre a morfologia dos superaglomerados e suas propriedades.

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira. No capítulo 2, descrevemos a base de dados utilizada e as correções utilizadas. No capítulo 3, descrevemos o método do campo de densidades e a identificação dos superaglomerados. No capítulo 4, apresentamos a classificação morfológica utilizada e as propriedades globais dos superaglomerados, juntamente com uma análise destes resultados. No capítulo 5, resumimos e discutimos os principais resultados desta dissertação, bem como comentários sobre possíveis tópicos para trabalhos futuros. No apêndice A descrevemos resumidamente o código *STARLIGHT* e a obtenção dos principais parâmetros espectrais. Mostramos também uma análise das

amostras de galáxias pertencentes a superaglomerados com diferentes classificações morfológicas, além do estudo da influência dos aglomerados nas populações estelares das galáxias.

Base de Dados

Neste capítulo descrevemos os dados utilizados neste trabalho e os critérios utilizados para selecionar a amostra de galáxias. Utilizamos a base de dados do *Sloan Digital Sky Survey* para a obtenção da amostra. Na síntese espectral, utilizamos os resultados do código *STARLIGHT* para obter os parâmetros relativos às populações estelares de cada galáxia. Na seção 2.1 apresentamos as principais características do SDSS. Na seção 2.2, apresentamos os critérios utilizados na seleção da amostra de galáxias. Na seção 2.3, descrevemos como foram calculadas as magnitudes absolutas, através de correções-k e avermelhamento.

2.1 O Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

O *Sloan Digital Sky Survey*¹ é atualmente o maior levantamento do céu em operação. Nestes oito anos, o projeto apresentou três edições, sendo duas já concluídas, SDSS-I (2000-2005) e SDSS-II (2005-2008) e a terceira edição (SDSS-III), que começou em Julho de 2008 e pretende estender-se até 2014. O projeto conta com um telescópio de 2,5m de diâmetro no Apache Point Observatory, Novo México. Além do telescópio de 2,5m, um telescópio de 0,5m com uma câmera CCD é usado para a calibração fotométrica e um monitor de *seeing* avalia as condições do céu. A câmera de imageamento utilizada consiste em dois mosaicos de CCDs, sendo um de imageamento e outro para fins astrométricos. O mosaico de imageamento consiste em 30 CCDs de 2048×2048 pixels, formando um arranjo de seis colunas e cinco linhas, como mostra a figura 2.1. Cada pixel tem a dimensão de 24 μ m resultando numa escala de placa de 0",396/pixel. Cada linha do mosaico detecta

¹ <http://www.sdss.org/>

um intervalo de comprimento de onda diferente, em uma das cinco bandas ópticas, u , g , r , i , z . A tabela 2.1 mostra os comprimentos de onda centrais e valores das larguras a meia altura dos filtros do SDSS. O processo de imageamento é realizado no modo de *drift-scan*, o qual o telescópio permanece fixo e a varredura ocorre pelo movimento celeste, em grandes círculos. Deste modo, um objeto é observado em cada filtro num intervalo de 54,1 segundos e o tempo total de observação para todos os filtros soma aproximadamente 5,7 minutos (Gunn et al. 1998).

O sistema de imageamento do SDSS é organizado em faixas (*stripes*), que consistem em imagens tipicamente com $2,5^\circ$ de largura e 120° de comprimento, resultado do modo de observação *scan-drift*. No total são 48 faixas, sendo 45 cobrindo a parte norte do céu e apenas 3 na parte sul, podendo haver superposição entre elas. Cada faixa é composta por pelo menos dois turnos (*runs*), feitos em noites distintas. Os turnos são varreduras contínuas pelo telescópio de imageamento e cada turno é feito num período de até 8 horas durante a noite. Os turnos são compostos por 6 colunas de CCDs, chamados de *camcols*, obtendo imagens nos cinco diferentes filtros. Os *camcols* possuem 10^6 pixels de comprimento e são divididos em campos (*fields*). Cada campo possui 2048×1489 pixels e se sobrepõem ao longo da direção do *scan-drift* em 128 pixels. Os mesmos podem ser identificados unicamente pelos números de turno, campo e *camcols*. Existe também o parâmetro *rerun*, que não significa uma nova observação da mesma região, mas uma nova redução dos dados inicialmente observados com *pipelines* e calibrações mais recentes.

Tabela 2.1 - Comprimentos de onda centrais e larguras a meia altura dos filtro utilizados, u , g , r , i e z , para uma massa de ar de 1,4 (Gunn et al. 1998).

<i>Filter</i>	λ_{eff}	<i>FWHM</i>
u	3549Å	560Å
g	4774Å	1377Å
r	6231Å	1371Å
i	7615Å	1510Å
z	9132Å	940Å

Dos dados de imageamento são calculados os diversos tipos de magnitudes. As magni-

tudes do SDSS são calibradas no sistema AB (Oke e Gunn 1983; Fukugita et al. 1996). A calibração fotométrica é feita utilizando três estrelas padrões fundamentais.

Como as galáxias são na maioria das vezes objetos extensos no céu e não possuem fronteiras bem definidas, necessita-se um método para medir o fluxo do objeto independentemente da distância. O método usado foi uma modificação de Petrosian (1976), medindo o fluxo da galáxia dentro de uma abertura circular com raio definido pelo perfil de brilho superficial. Deste modo define-se uma abertura que contém praticamente toda a luz do objeto (considerando um perfil típico) e que ao mesmo tempo apresente um ruído do céu relativamente pequeno. Erros estatísticos para magnitude petrosiana $r = 17,65$ são menores que 5% (Blanton et al. 2001).

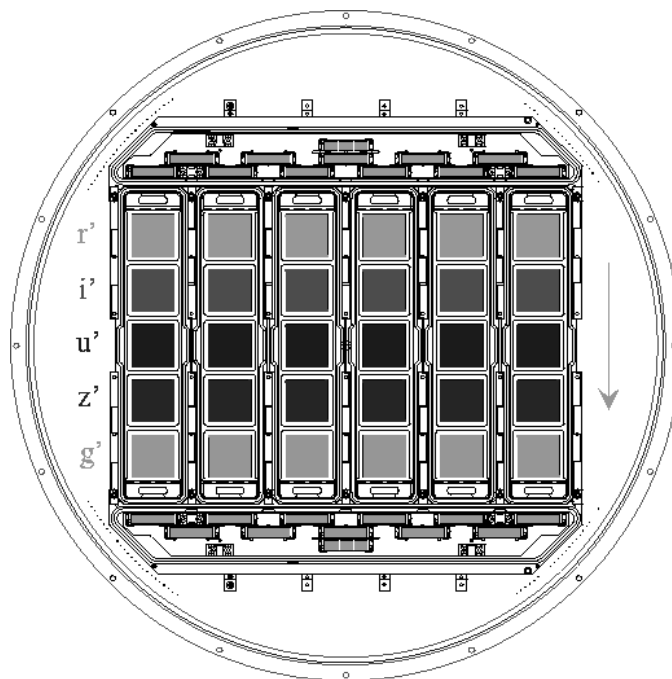


Figura 2.1: Disposição do conjunto de CCDs formando uma matriz de 5×6 , no plano focal do telescópio. Cada coluna possui os cinco filtros descritos do SDSS. Figura de Gunn et al. (1998).

Para estrelas, sendo fontes teoricamente pontuais, um método para calcular a magnitude consiste no ajuste do perfil da função de espalhamento do ponto (PSF, *Point Spread Function*). Na prática, o método da magnitude PSF reduz a dependência do *seeing* devido ao ajuste de um perfil.

A magnitude **fibra** é derivada das fibras ópticas utilizadas nos espectrógrafos, que

têm uma abertura de aproximadamente $3''$ ($180\mu m$). Era inicialmente utilizada para a calibração espectroscópica.

Objetos detectados pelo imageamento são selecionados para a espectroscopia através de um processo de seleção descrito em Strauss et al. (2002). É definida então a lista dos alvos para a espectroscopia. Objetos considerados extensos e com magnitudes $r < 17,7$ são selecionados. Objetos com brilho superficial médio na banda r menor que $24 \text{ mag arcsec}^{-2}$ são excluídos da lista. Já as galáxias BRGs (*Bright Red Galaxies*) têm seus espectros medidos até magnitude $r = 19,5$. Os espectros de quasares e candidatos são medidos com magnitudes limites de $i < 20,2$ (York et al. 2000).

A parte espectral do SDSS ² é obtida através de dois espectrógrafos digitais multi-fibras, com capacidade de medir 320 espectros cada um, somando 640 espectros medidos ao mesmo tempo. Utilizando placas de alumínio no plano focal com orifícios nas posições do objetos, os feixes de luz dos objetos são encaminhados para os espectrógrafos através de fibras ópticas. Cada um dos espectrógrafos recebe os feixes dos objetos em diferentes intervalos de comprimento de onda. Um espectrógrafo cobre a região do espectro de 3800\AA - 6100\AA (parte azul) e outro no intervalo 5900\AA - 9100\AA (parte vermelha). A resolução espectral é de 1800 a 2000. O tempo de exposição é geralmente em torno de 45 a 60 minutos, dependendo das condições de observação, resultando num $S/N \simeq 4$ para magnitudes fibra de $g = 20,2$ e $i = 19,9$, em boas condições do céu. Os espectros do SDSS são subtraídos do céu e corrigidos de absorções telúricas. As calibrações em comprimento de onda são feitas usando lâmpadas de *Hg*, *Cd* e *Ne*. Posteriormente, uma série de *pipelines* é aplicada independentemente para linhas de emissão e absorção na determinação do redshift.

Atualmente, o SDSS encontra-se na sua sétima liberação de dados (*Seventh Data Release- DR7*) ³. Cobrindo uma região de 11663 graus quadrados no céu, com um catálogo de 357 milhões de objetos identificados. A região espectroscópica consiste em 9380 graus quadrados, com 929.555 galáxias, 121.363 quasares, 464.261 estrelas e 28.383 objetos não classificados. Depois da remoção de objetos duplicados, o número de objetos com espectro é de 1.440.961 (Abazajian et al. 2009). Esta versão de dados do SDSS possui 577 novas placas de espectros com relação ao DR6, totalizando 2564 placas. Calibrações fotométricas e o método de redução espectral foram melhorados. A figura 2.2 mostra o espectro de uma

² <http://www.sdss.org/dr7/products/spectra>

³ <http://www.sdss.org/dr7/>

estrela A0 no DR6 e no DR7. A linha de H ϵ em 3970Å possui um perfil muito mais regular com as novas reduções. Com exceção da correção na espectroscopia e adição de novas regiões, o DR7 é na verdade uma extensão das versões anteriores, havendo apenas pequenas mudanças.

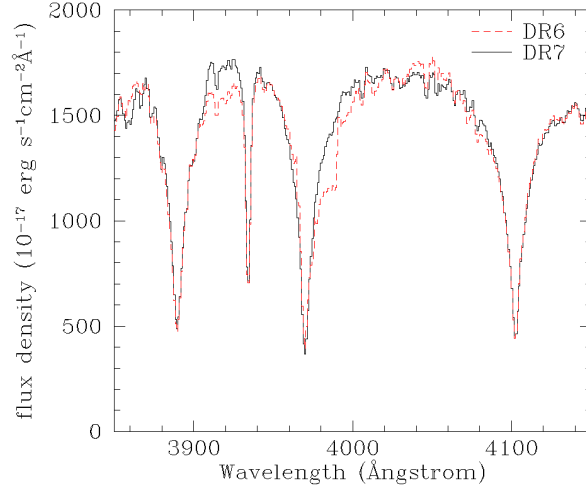


Figura 2.2: O espectro da estrela SDSSJ172637.26+264127.6, de tipo A0, com reduções do DR6 e DR7. Com a nova correção, o perfil da linha de H ϵ em 3970Å apresenta um perfil mais regular. Figura de Abazajian et al. (2009).

2.2 Amostra de galáxias do SDSS

A seleção de objetos teve como objetivo garantir a maior área contínua no céu, já que superaglomerados de galáxias são objetos muito extensos, ocupando vários graus. Para isso, selecionamos objetos nas faixas 10 a 37 da base de dados SDSS/DR7. A figura 2.3 mostra esta região, sendo a numeração das faixas crescente de baixo pra cima. A região em preto mostra a região das galáxias selecionadas e os pontos vermelhos representam as regiões centrais das faixas. Selecionamos nossa amostra limitada em volume com objetos já corrigidos de extinção Galáctica e correção-k com $M_r < -21$ e no intervalo de redshift $0,02 < z < 0,155$. As galáxias encontram-se nos intervalos de ascensão reta entre $112,0^\circ < \alpha < 261,6^\circ$ e declinação entre $-0,8^\circ < \delta < 64,0^\circ$. A amostra contém 121.002 objetos. A figura 2.4 mostra o diagrama M_r versus z .

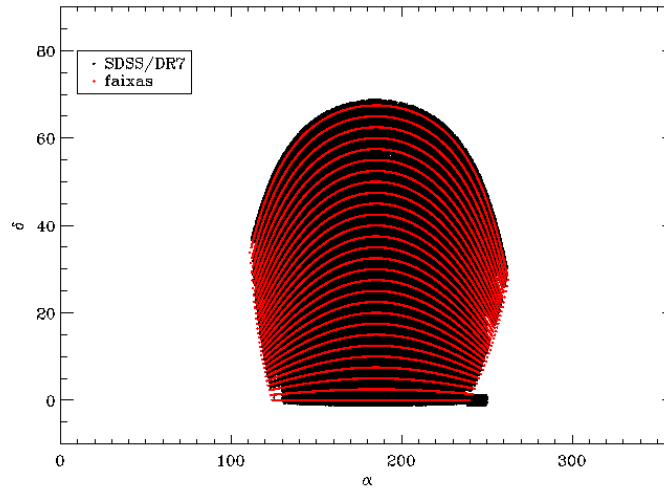


Figura 2.3: Região das galáxias selecionadas do SDSS/DR7 (em preto) e regiões centrais das faixas 10 a 37 (em vermelho).

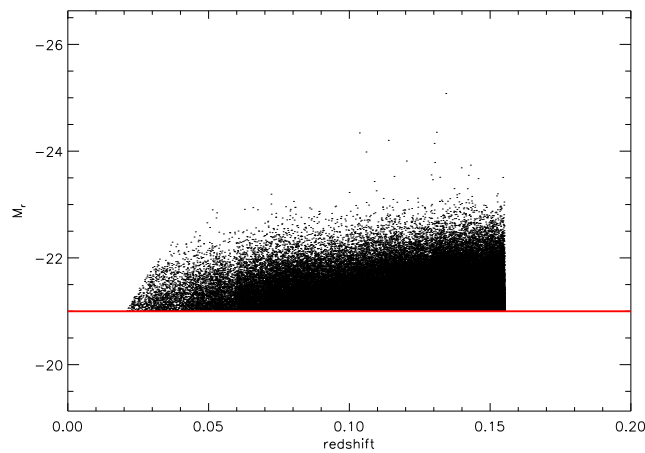


Figura 2.4: Magnitudes absolutas na banda r das galáxias selecionadas com $M_r < -21$ em função do redshift. A linha em vermelho mostra o limite de magnitude utilizado.

2.3 Cálculo das magnitudes absolutas

Devido à expansão do Universo, as galáxias possuem uma velocidade radial, o fluxo de Hubble, além de uma componente “peculiar”. Uma consequência destas velocidades é a diferença entre magnitudes obtidas no referencial da emissão e no referencial do observador devido ao deslocamento espectral. A transformação de medidas fotométricas entre os referenciais é chamada de correção-k.

Com o intuito de corrigir as magnitudes do SDSS para o referencial de repouso, uti-

lizamos o código `KCORRECT v4.1.4` (Blanton et al. 2003). As observações de galáxias são feitas na maioria das vezes em filtros de banda larga. Um problema para reconstruir a distribuição espectral de energia (*Spectral Energy Distribution*, SED) destes objetos, é que um conjunto de fluxos de banda larga pode ser produzido por diversas SEDs, já que algumas características das SEDs podem ser relativamente pequenas quando comparadas aos intervalos das bandas medidas.

O método implementado pelo código de Blanton et al. (2003) consiste em inferir as SEDs através das medidas de banda larga e usá-las SEDs para estimar as magnitudes no referencial de repouso. Para isso, o código dispõe de SSPs de Bruzual e Charlot (2003) para a reconstrução das SEDs através das magnitudes observadas. Para as magnitudes do SDSS, o procedimento consiste em SEDs no intervalo de 3500Å a 7500Å ajustadas com 10 SSPs (*Simple Stellar Population*) com idades entre 3×10^7 a 2×10^{10} anos, sendo cinco delas com metalicidades $Z/Z_{\odot} = 0,004$ e cinco com $Z/Z_{\odot} = 0,02$, assumindo uma função de massa inicial de Salpeter (1955).

As magnitudes absolutas para as galáxias do SDSS com $r < 17,77$ foram então calculadas segundo a equação abaixo.

$$M_r = m_r - 5 \log \left(\frac{D_L(z)}{10pc} \right) - k_r(z) - A_r \quad (2.1)$$

onde $D_L(z)$ representa a distância de luminosidade, $k_r(z)$ a correção-k e A_r o avermelhamento devido à absorção da Galáxia, ambos na banda r . A_r foi obtido para cada galáxia a partir da base de dados do SDSS. Os valores de $D_L(z)$ foram calculados considerando os seguintes valores da cosmologia padrão: $\Omega_m=0,3$, $\Omega_{\Lambda}=0,7$, $\Omega_k=0,0$ e $h = 1$. Cálculos posteriores nesta dissertação utilizaram estes mesmos valores.

O Campo de densidades

Neste capítulo, descrevemos o método de identificação das grandes estruturas e a obtenção de suas propriedades. O método de campo de densidades foi usado na identificação, levando em consideração a incompleta espectral e o efeito de seleção radial. Calculamos a riqueza e luminosidade total para cada objeto.

Deste capítulo em diante, chamaremos de “superaglomerados” às estruturas de grandes escalas identificadas pelo método do campo de densidades.

3.1 *Campo de densidades*

Os superaglomerados são as maiores estruturas conhecidas. Tradicionalmente são definidos como *clusters of clusters of galaxies* (Abell 1958) ou regiões de sobredensidade (de Vaucouleurs 1953; Basilakos et al. 2001). Neste trabalho, a identificação de estruturas em grande escala foi feita através do método do campo de densidades (Silvermann 1986), que representa uma importante ferramenta na busca de estruturas em uma distribuição de pontos num volume finito. Utilizando uma grade, calcula-se a densidade em cada ponto e superaglomerados são identificados basicamente como regiões com densidades acima de um certo limiar.

3.1.1 *Definição do Campo de Densidades*

O método do campo de densidades foi utilizado por diversos autores para a identificação de estruturas em grande escala (e.g. Einasto et al. 2007; Basilakos et al. 2001). Primeiramente, as posições dos objetos no céu foram transformadas para coordenadas cartesianas

através das seguintes equações:

$$\begin{aligned}x &= d_c \cos(\delta) \cos(\alpha) \\y &= d_c \cos(\delta) \sin(\alpha) \\z &= d_c \sin(\delta),\end{aligned}\tag{3.1}$$

onde α , δ e d_c representam ascensão reta, declinação e distância comóvel, respectivamente. Calculamos o campo de densidades de luminosidade numa grade com células de dimensão l_{cel} , utilizando a equação

$$D(\vec{r}) = \sum_i K(\vec{r} - \vec{r}_i, \sigma) L_i W_i.\tag{3.2}$$

A densidade no ponto r , $D(r)$, é a soma das luminosidades dos objetos com coordenadas r_i dentro de uma esfera de raio σ , ponderadas por W_i , o inverso da função de seleção (ver seção 3.1.2), e multiplicadas pelo kernel $K(r - r_i, \sigma)$. O parâmetro σ é o chamado de parâmetro de suavização e $r - r_i$ é a distância do i -ésimo objeto ao ponto r . O kernel utilizado neste trabalho foi o de Epanechnikov, definido como

$$K(r, \sigma) = \begin{cases} \frac{3}{4}(1 - (r/\sigma)^2) & r \leq \sigma \\ 0 & r > \sigma \end{cases}\tag{3.3}$$

Neste trabalho, adotamos $\sigma = 8h^{-1}Mpc$ por duas razões. Em primeiro lugar a densidade média da amostra é de $1,2 \times 10^{-3}(h^{-1}Mpc)^{-3}$ (e portanto a distância média entre as galáxias, $\bar{n}_{gal}^{1/3}$, é da ordem de $10h^{-1}Mpc$) e não permite amostragens melhores. Em segundo lugar, um valor alto de σ , como o adotado, leva a resultados menos afetados pelas velocidades peculiares, em particular pelos “dedos de deus”, produzidos pelas galáxias em aglomerados.

O campo de densidades foi definido numa grade tridimensional de largura $l_{cel} = \sigma/2 = 4h^{-1}Mpc$. Os valores escolhidos dos parâmetros do campo de densidades são, portanto, $(\sigma, l_{cel}) = (8h^{-1}Mpc, 4h^{-1}Mpc)$ (daqui em diante DF1). A figura 3.1 apresenta o campo de densidade de uma região com $140^\circ < \alpha < 210^\circ$ e $-0,8^\circ < \delta < 5^\circ$ com DF1 e as galáxias presentes na região. Esta região apresenta a estrutura conhecida como *Great Wall Sloan* (Deng et al. 2006), que localiza-se entre as distâncias de $177h^{-1}Mpc < d_c < 264h^{-1}Mpc$.

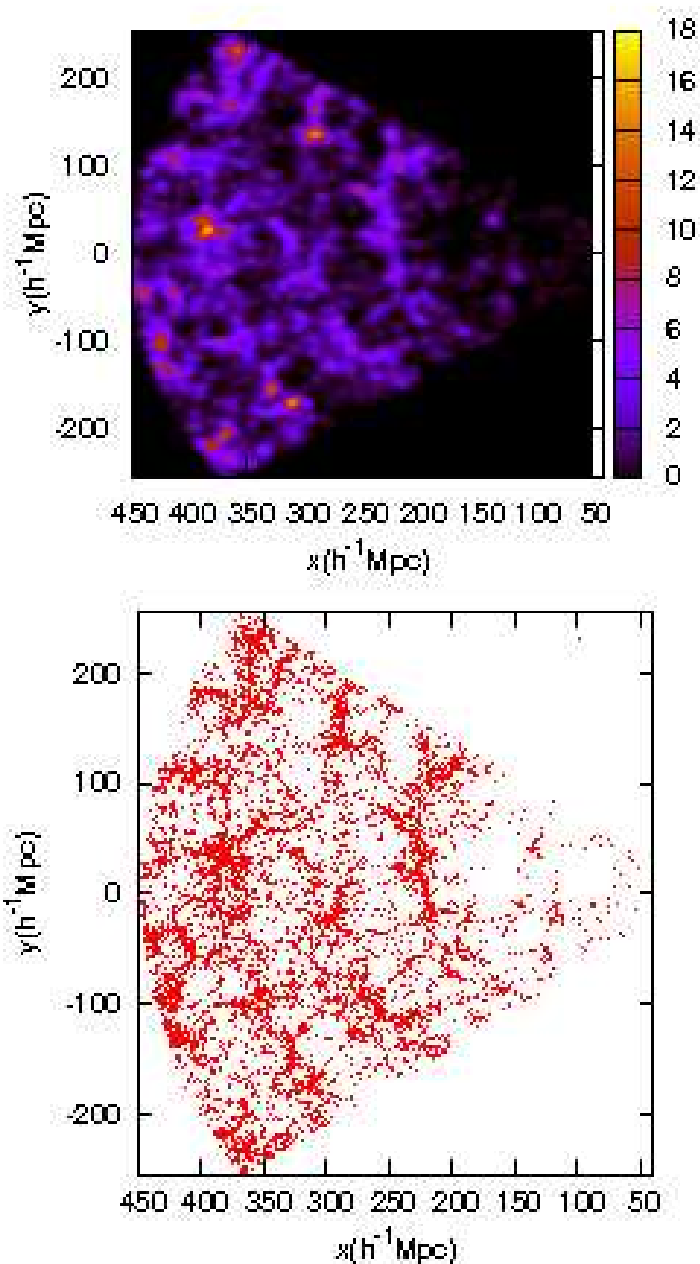


Figura 3.1: Campo de densidades (em unidades arbitrárias) de uma região da amostra de galáxias ($140^\circ < \alpha < 210^\circ$ e $-0,8^\circ < \delta < 5^\circ$) no intervalo de redshift da amostra com o conjunto de parâmetros do campo de densidades DF1 (a). A distribuição das galáxias presentes na região é mostrada em (b). Podemos notar a região de sobredensidade conhecida como *Great Wall Sloan*, com galáxias no intervalo de $177h^{-1}Mpc < d_c < 264h^{-1}Mpc$.

3.1.2 A função de seleção da amostra

A função de seleção da amostra S é definida como o número de galáxias observada dividido pelo número de galáxias real em um dado ponto do espaço. A função de seleção do SDSS é complexa e aqui apresentamos um modelo simples, assumindo que ela possa ser escrita em termos da magnitude aparente e do redshift z como

$$S(r, z) = S_1(m = r)S_2(z) = W(r, z)^{-1} = W_i \quad (3.4)$$

Existe uma diferença entre o número de objetos com fotometria e objetos com espectroscopia. Nem todas as galáxias com $r < 17,77$ possuem redshift medido, muitas vezes devido ao problema das “colisões de fibras”, isto é, as fibras possuem uma distância mínima de 55” entre elas, impedindo a espectroscopia de objetos muito próximos entre si (Strauss et al. 2002). Sendo assim, existe uma incompleteza espectroscópica que precisa ser corrigida. A figura 3.2 mostra a incompleteza espectroscópica do SDSS em função da magnitude aparente determinada através da razão do número de galáxias com espectroscopia dividido pelo número de galáxias com fotometria no intervalo de magnitude $13,0 < r < 17,77$. Um polinômio de 4° ordem foi ajustado e obtivemos o fator de correção da incompleteza espectral em função da magnitude aparente r (não confundir com distância!), como mostra a equação abaixo:

$$S_1(r) = 0,588605 - 1,941834r + 0,419142r^2 - 0,029956r^3 + 0,000724r^4 \quad (3.5)$$

A incompleteza em magnitude aparente implica numa incompleteza em z , já que, em média, quanto maior a distância, menor o fluxo recebido.

É conveniente introduzir duas quantidades úteis para a caracterização global dos superaglomerados.

A riqueza é definida como

$$R = \sum_i^{N_{gal}} W_i, \quad (3.6)$$

onde N_{gal} é o número de galáxias da amostra pertencentes ao superaglomerado. R é o número esperado de galáxias mais brilhantes que $M_r < -21$ no superaglomerado.

A luminosidade (das galáxias mais luminosas que $M_r < -21$) total estimada para o superaglomerado é dada por

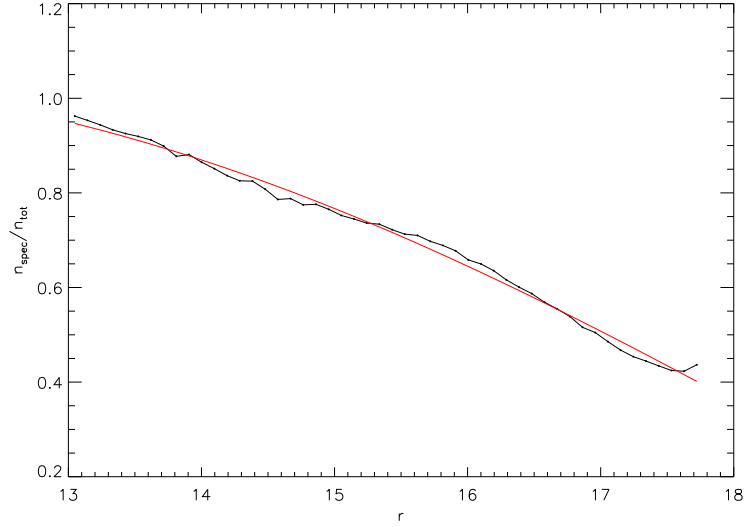


Figura 3.2: A incompleta espectroscópica através da razão entre o número de galáxias com espectroscopia e o total, no intervalo de magnitude $13,0 < r < 17,77$. A linha vermelha representa o polinômio de 4º ordem ajustado aos dados.

$$L_{tot} = \sum_i^{N_{gal}} L_i W_i, \quad (3.7)$$

Para estimarmos a componente radial da função de seleção, adotamos o seguinte procedimento. Inicialmente, consideramos apenas a dependência em magnitudes da função de seleção, isto é, $W_i = W(m = r)$ e $S_2(z) = 1$. Considerando somente a correção devido a incompleta espectral, notamos que o gráfico de riqueza (e conseqüentemente luminosidade) apresentou uma tendência crescente com o redshift. Este fato é devido ao efeito de seleção radial, já que a riqueza mínima dos superaglomerados não deveria depender do redshift, como mostra a figura ???. Para estimarmos a componente radial da função de seleção, ajustamos uma função do tipo $\log(R) = a + bz$ aos valores da riqueza mínima com a distância. Deste modo, podemos escrever a função de seleção radial como $S_2(z) = e^{\alpha z}$, e através do ajuste, chegamos ao valor $\alpha = 4,06$. Note que $S_2(z = 0) = 1$, já que todas as galáxias são observadas em baixos redshifts. Aplicando o fator $W(r, z)$ à nossa amostra de galáxias, o efeito de seleção radial é corrigido, e a riqueza mínima se torna constante com o redshift para DF1 e L1. A correção devido ao efeito de seleção radial também se reflete nas luminosidades totais dos superaglomerados, como mostra a figura 3.4.

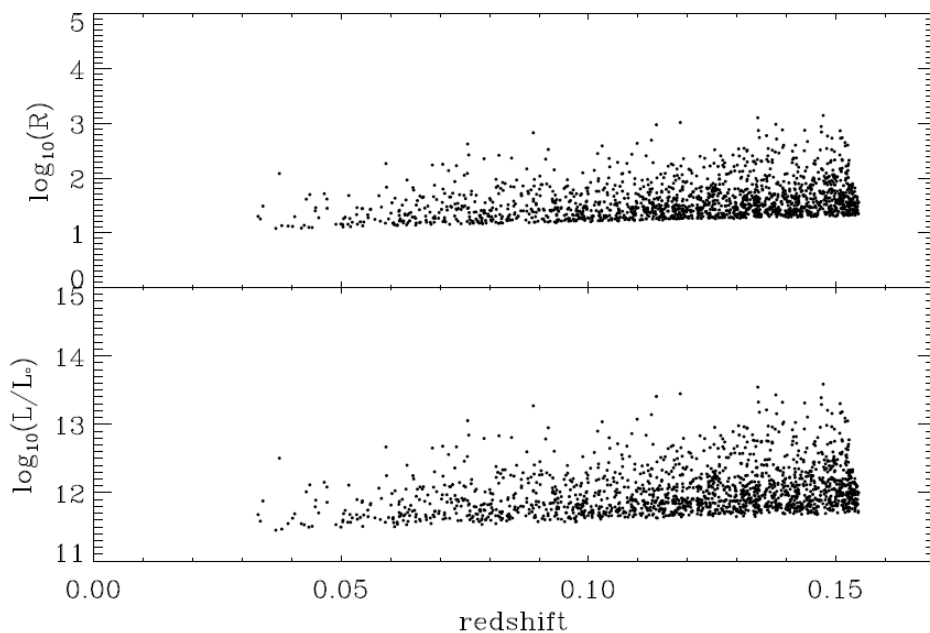


Figura 3.3: Riqueza e luminosidade total dos superaglomerados em função do redshift sem a correção do efeito de seleção radial, para DF1 e L1.

3.2 Identificação dos Superaglomerados

Depois do cálculo de campo de densidades, a identificação dos superaglomerados foi feita primeiramente assumindo um limiar no campo de densidades para separar regiões de baixa densidade, vazios ou *voids*, de regiões conexas de alta densidade, os superaglomerados. Verificamos a densidade de cada ponto e sendo seu valor menor que o limiar (em unidades de densidade média), o ponto é descartado. Assim temos como resultado somente pontos associados a regiões suficientemente ricas (ou densas). Utilizamos em seguida o método *Friends of Friends* para a identificação destas regiões.

3.2.1 Método *Friends-of-Friends*

O método *Friends-of-Friends* tem sido utilizado por vários autores na identificação de estruturas numa distribuição de objetos baseada na distância entre eles (e.g., Zeldovich et al. 1982; Tago et al. 2006). Primeiramente o valor do parâmetro de ligação l_{fof} é assumido. Depois cada ponto é analisado com relação à distância dos vizinhos. Procura-se pontos vizinhos a uma distância máxima de l_{fof} e quando encontrados, define-se que os mesmos pertencem à mesma estrutura. Isso é feito com todos os pontos da distribuição.

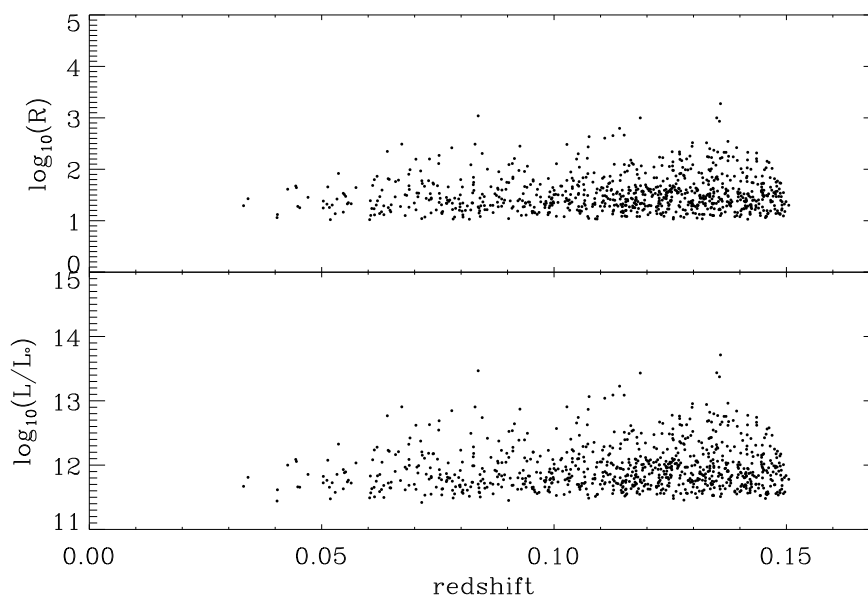


Figura 3.4: Riqueza e luminosidade total dos superaglomerados em função do redshift para DF1 e L1.

Quando pontos de diferentes estruturas são identificados como pertencentes à uma mesma estrutura, julga-se que estas duas estruturas, que antes eram distintas, agora formam uma só.

Aplicamos este método de identificação de estruturas à distribuição dos pontos do campo de densidade acima do limiar de densidade. A grade utilizada forma cubos com lados l_{cel} , como descrito na subseção 3.1.1. Consideramos assim a diagonal do cubo de lado l_{cel} como o valor do parâmetro de ligação, isto é $l_{fof} = \sqrt{3}l_{cel}$.

3.2.2 Identificação

A identificação dos superaglomerados depende do limiar de densidade aplicado aos pontos do campo de densidade. Com um limiar de densidade baixo, acontece a chamada percolação: estruturas distintas são identificadas como uma só por haver regiões de baixa densidade ligando-as. Com isso, o número de estruturas final é baixo. À medida que o limiar aumenta chega-se a um valor máximo no número de estruturas, que depois decresce. Este decréscimo acontece pelo fato do limiar de densidade ser relativamente alto, isto é, restando apenas estruturas muito densas.

Não existe um valor “natural” para este limiar. Por exemplo, Einasto et al. (2007)

adotaram um limiar $D/D_{med} = 4,6$ para uma amostra do *2dFGRS*, tal que os maiores objetos apresentassem dimensões de até $\sim 120h^{-1}Mpc$. Neste trabalho, adotamos 2 limiares diferentes: o primeiro correspondente ao número máximo de superaglomerados (daqui em diante L1), e o segundo limiar corresponde à dimensão das maiores estruturas em até $\sim 120h^{-1}Mpc$ para a amostra deste trabalho (daqui em diante L2). Deste modo, podemos avaliar a influência da escolha do limiar de densidade na identificação e propriedades dos superaglomerados. Temos no total 2 amostras de superaglomerados. Nesta dissertação não colocaremos os gráficos referentes às diversas amostras de superaglomerados por motivo de repetição. Apresentaremos somente resultados de diferentes amostras de superaglomerados quando apresentarem comportamentos distintos. As figuras 3.5 e 3.6 mostram, para diversos limiares, o número de estruturas encontradas e a dimensão da maior estrutura em $h^{-1}Mpc$, respectivamente, para DF1. O valor da dimensão espacial dos superaglomerados foi calculado como a diagonal da menor caixa que engloba todas as galáxias de uma dada estrutura e é definida como

$$l_{max} = \sqrt{(x_{max} - x_{min})^2 + (y_{max} - y_{min})^2 + (z_{max} - z_{min})^2} \quad (3.8)$$

onde as coordenadas cartesianas mínimas e máximas das posições das galáxias.

Estruturas com um número menor que 10 galáxias ou com volume menor que duas células da grade, $V_{min} = 2(l_{cel})^3 = 128(h^{-1}Mpc)^3$, foram descartadas pelo fato de possuírem um número pequeno de objetos para a determinação de parâmetros morfológicos. Basilakos et al. (2001) usam o número mínimo de oito pontos para o ajuste de um elipsóide (ver subseção 4.1) e neste trabalho utilizamos 10. Einasto et al. (2007) utilizam um volume mínimo de $100(h^{-1}Mpc)^3$ para classificar estruturas como superaglomerados e neste trabalho utilizamos o valor de $128(h^{-1}Mpc)^3$.

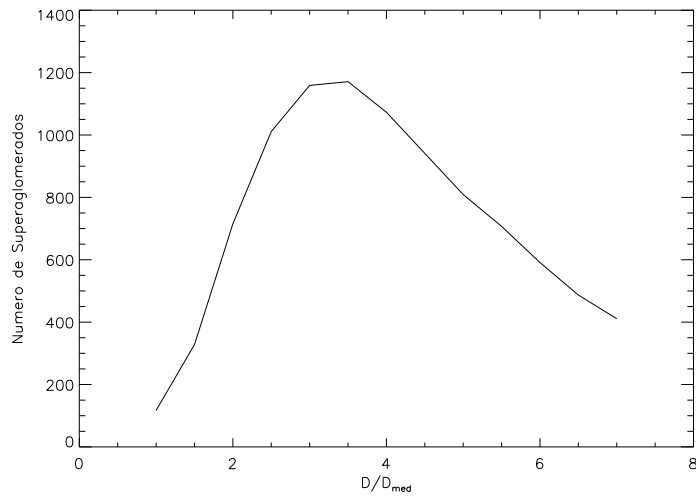


Figura 3.5: Número de estruturas identificadas para diferentes limiares de densidade (unidades de densidades média), considerando estruturas com mais de 10 galáxias e volume maior que $128(h^{-1}Mpc)^3$ para DF1.

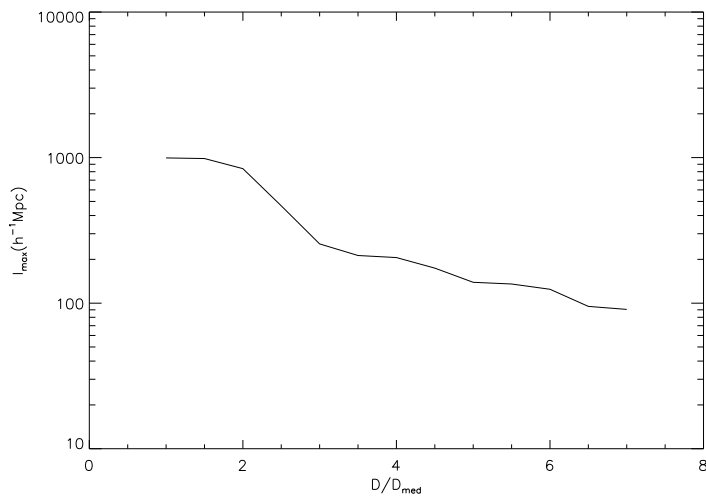


Figura 3.6: Dimensão do maior superaglomerado (l_{max}) para diferentes limiares de densidade, baseado nos critérios de volume e número mínimo de galáxias para DF1.

3.2.3 Efeito de Borda

Superaglomerados são estruturas extensas e portanto ocupam vastas regiões do céu. Os superaglomerados identificados na amostra podem apresentar partes fora do volume delimitado e conseqüentemente o cálculo dos parâmetros morfológicos pode resultar em valores irreais pelo fato de não considerar a estrutura como um todo. Deste modo, é

necessário evitar superaglomerados nas bordas do volume da amostra.

As faixas utilizadas pelo SDSS possuem um sistema de coordenada baseado em grandes círculos, com pólos em $\alpha_{2000} = 95^\circ$, $\delta_{2000} = 0^\circ$ e $\alpha_{2000} = 275^\circ$, $\delta_{2000} = 0^\circ$. As coordenadas utilizadas neste sistema consistem em dois parâmetros de varredura, η e λ . O sistema de varredura é dividido em faixas, centradas ao longo de uma linha com η constante. Com larguras de $2,5^\circ$, são enumeradas com o parâmetro n . Para as faixas usadas neste trabalho, de 10 a 37, define-se o valor $\eta = (n - 10) \times 2,5^\circ - 32,5^\circ$. Um conjunto de equações¹ é utilizado para as transformações destas coordenadas para o sistema equatorial celeste,

$$\cos(\alpha - 95^\circ) \cos(\delta) = -\sin(\lambda) \quad (3.9)$$

$$\sin(\alpha - 95^\circ) \cos(\delta) = \cos(\lambda) \cos(\eta + 32,5^\circ) \quad (3.10)$$

$$\sin(\delta) = \cos(\lambda) \sin(\eta + 32,5^\circ) \quad (3.11)$$

Deste modo, calculamos as coordenadas equatoriais das bordas das faixas de 10 a 37 com os valores de η e λ iniciais e finais². A figura 3.7 mostra a região selecionada do céu em coordenadas equatoriais e os pontos relativos as faixas 10 a 37 que representam as bordas da região.

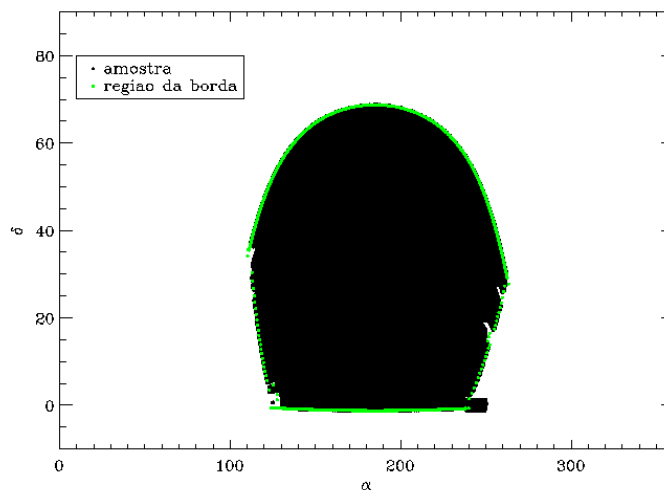


Figura 3.7: A região do céu em ascensão reta e declinação (em graus) correspondente a amostra de galáxias. Os pontos em verdes são relativos as faixas 10 a 37 que representam as bordas da região.

Após considerarmos pontos somente com valores maiores que o limiar de densidade, verificamos se cada galáxia pertencente aos superaglomerados encontra-se a uma distância

¹ http://www.sdss.org/dr7/products/general/edr_html/node26.html

² <http://www.sdss.org/dr7/coverage/atStripeDef.par>

angular maior que o correspondente a $8h^{-1}Mpc$ dos pontos que representam a borda, no mesmo redshift da galáxia. Isso garante que a estrutura não se estende às regiões externas à borda. Também aplicamos o mesmo processo com relação ao limite superior de redshift. Superaglomerados com galáxias que contribuem para os pontos do campo de densidades no limite superior de redshift, isto é, a uma distância maior que $D_c(z = 0,155) - \sigma$, foram descartados. A região entre $240^\circ < \alpha < 253^\circ$ e $-2^\circ < \delta < +2^\circ$ foi excluída por cobrir uma pequena região do céu e superaglomerados desta região seriam provavelmente eliminados pelo efeito de borda.

Aplicando as condições acima e da subseção 3.2.2, chegamos a amostras de superaglomerados e suas principais características, como densidade numérica média (\bar{n}_{SC}) e o número de superaglomerados (N_{SC}) para cada conjunto de parâmetros e limiar escolhidos. Para o limiar L1, chegamos a 859 e para L2, obtivemos 430 superaglomerados. Com o volume comóvel calculado (ver seção 4.1), chegamos as densidades numéricas de superaglomerados com valores entre $10,6 \times 10^{-6}(h^{-1}Mpc)^{-3}$ e $5,3 \times 10^{-6}(h^{-1}Mpc)^{-3}$, considerando os limiares L1 e L2, respectivamente. Einasto et al. (2007) encontraram valores de $18,44 \times 10^{-6}(h^{-1}Mpc)^{-3}$ e $16,78 \times 10^{-6}(h^{-1}Mpc)^{-3}$ para duas amostras do catálogo *2dFGRS*, mas estes valores correspondem à densidade total de galáxias, e não apenas às mais luminosas que $M_r < -21$, como neste trabalho.

3.2.4 Conclusão

Neste capítulo identificamos os superaglomerados utilizando o método de campo de densidades, levando em consideração um modelo de função de seleção que leva em consideração a incompleteza espectral e o efeito de seleção radial. Com o intuito de avaliar a influência do limiar de densidade na identificação das estruturas, usamos três limiares de densidade. Para cada um dos limiares, calculamos a riqueza e a luminosidade total dos objetos.

Análise Global dos Superaglomerados

No estudo dos superaglomerados usamos também uma classificação morfológica. Aplicamos o método de ajuste de um elipsóide através do tensor de inércia às estruturas encontradas e utilizamos estes resultados no cálculo dos Funcionais de Minkowski. Classificamos os superaglomerados em filamentos, fitas e panquecas. Verificamos possíveis relações entre a morfologia e os parâmetros de R e L_{tot} calculados.

4.0.5 Método de ajuste de elipsóides

Sabemos que superaglomerados apresentam formas variadas, podendo ser filamentos, na forma de panquecas, etc. Para avaliar tal morfologia, ajustamos um elipsóide à distribuição das galáxias que compõem os superaglomerados (Ho et al. 2006). Para isso, usamos como ferramenta o tensor de inércia (\mathbf{I}), que definimos como

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} \sum_i L_i W_i (y_i^2 + z_i^2) & -\sum_i L_i W_i x_i y_i & -\sum_i L_i W_i x_i z_i \\ -\sum_i L_i W_i y_i x_i & \sum_i L_i W_i (x_i^2 + z_i^2) & -\sum_i L_i W_i y_i z_i \\ -\sum_i L_i W_i z_i x_i & -\sum_i L_i W_i z_i y_i & \sum_i L_i W_i (x_i^2 + y_i^2) \end{bmatrix}$$

onde W_i representa a correção do efeito de seleção e x_i , y_i , z_i e L_i representam as coordenadas cartesianas e a luminosidade da i -ésima galáxia, respectivamente. Para simplificação dos cálculos, estas coordenadas cartesianas foram consideradas a partir do centro de massa de cada objeto, que é definido por uma média ponderada pela luminosidade, isto é,

$$\mathbf{r}_{\text{CM}} = \frac{\sum_j^{N_{gal}} \mathbf{r}_j L_j W_j}{\sum_j^{N_{gal}} L_j W_j}, \quad (4.1)$$

onde \mathbf{r}_j é o vetor posição da j -ésima galáxia do objeto.

Um elipsóide centrado na origem pode ser escrito como,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} \leq 1, \quad (4.2)$$

onde a , b e c são seus semi-eixos nas coordenadas x , y e z , respectivamente. O tensor de inércia de um objeto com estas características é simétrico e pode ser diagonalizado. Reescrevemos portanto o tensor de inércia como

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & I_2 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 \end{bmatrix}. \quad (4.3)$$

Os valores dos componentes diagonais do tensor de inércia podem ser escritos em função dos eixos de um elipsóide

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{\sum_i L_i W_i}{5} (b^2 + c^2) \\ I_2 &= \frac{\sum_i L_i W_i}{5} (a^2 + c^2) \\ I_3 &= \frac{\sum_i L_i W_i}{5} (a^2 + b^2), \end{aligned} \quad (4.4)$$

e representam os autovalores da matriz do tensor de inércia. Uma vez determinados os valores de I_1 , I_2 e I_3 , podemos determinar os valores de a , b e c simplesmente resolvendo o sistema de equações lineares:

$$a = \sqrt{\frac{5}{2}(I_2 + I_3 - I_1)} \quad (4.5)$$

$$b = \sqrt{\frac{5}{2}(I_3 + I_1 - I_2)} \quad (4.6)$$

$$c = \sqrt{\frac{5}{2}(I_1 + I_2 - I_3)}. \quad (4.7)$$

Para calcularmos os parâmetros de morfologia, definimos a_1 como o maior valor entre os semi-eixos a , b e c , a_2 como sendo o valor intermediário e a_3 como o menor deles. A figura 4.1 mostra a distribuição de $e_1 = 1 - (b/a)$ e $e_2 = 1 - (c/b)$ para os superaglomerados de L1. A linha contínua segrega as morfologias entre 441 objetos prolatos ($e_1 > e_2$) e 418 objetos oblatos ($e_1 < e_2$) no limiar L1. A figura 4.2 mostra o histograma do valor de a_1 para L1. O valor mediano de a_1 é aproximadamente $11,63h^{-1}Mpc$.

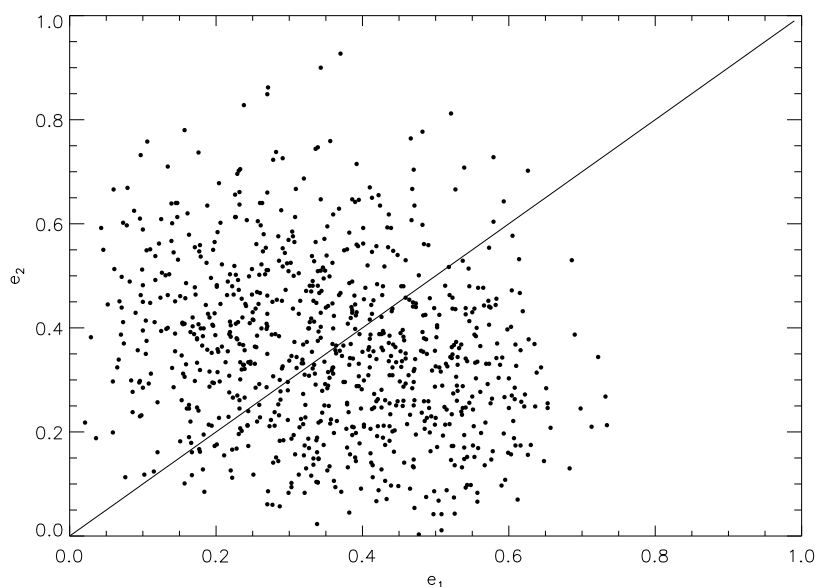


Figura 4.1: Distribuição dos parâmetros e_1 e e_2 para os superaglomerados em L1.

4.0.6 Funcionais de Minkowski

Os Funcionais de Minkowski representam uma importante ferramenta na caracterização da morfologia de estruturas (Basilakos et al. 2001). Neste trabalho, utilizamos o formalismo de Sahni et al. (1998), que utiliza resultados do método de ajuste de elipsóide. Como parâmetros de entrada, temos os semi-eixos a_1 , a_2 e a_3 e definimos para um objeto, ou um contorno de isodensidade, quatro parâmetros de morfologia: volume (V), superfície (S), a curvatura integrada média (C) e a curvatura integrada gaussiana (\mathcal{G}). A equação paramétrica, em coordenadas esféricas, para um elipsóide com semi-eixos a_1 , a_2 e a_3 pode ser escrita como

$$\mathbf{r}(\theta, \phi) = a_1(\sin\theta\cos\phi)\hat{i} + a_2(\sin\theta\sin\phi)\hat{j} + a_3(\cos\theta)\hat{k}. \quad (4.8)$$

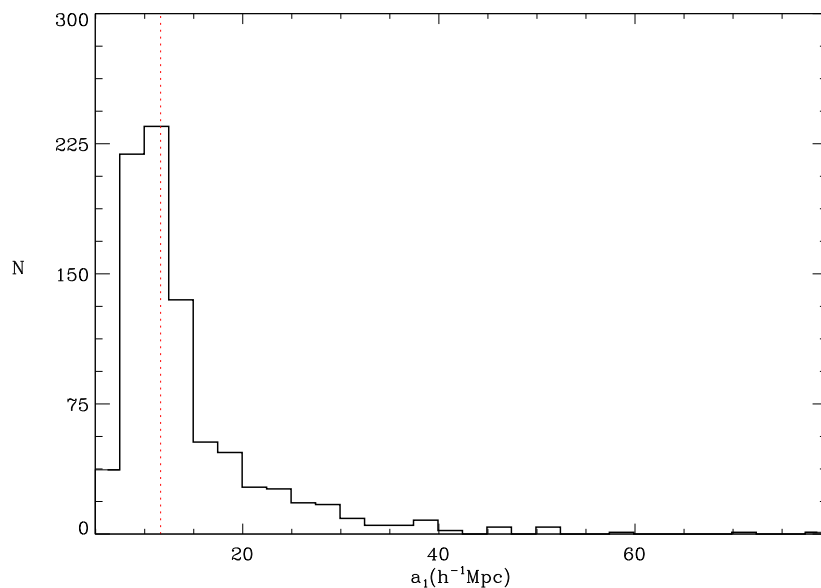


Figura 4.2: Distribuição do parâmetro a_1 dos superaglomerados em L1. Um valor médio em torno de 11,63 foi encontrado.

Podemos definir também

$$\begin{aligned}
 E &= \mathbf{r}_\theta \cdot \mathbf{r}_\theta, \\
 F &= \mathbf{r}_\theta \cdot \mathbf{r}_\phi, \\
 G &= \mathbf{r}_\phi \cdot \mathbf{r}_\phi, \\
 L &= \mathbf{r}_{\theta\theta} \cdot \mathbf{n}, \\
 M &= \mathbf{r}_{\theta\phi} \cdot \mathbf{n}, \\
 N &= \mathbf{r}_{\phi\phi} \cdot \mathbf{n},
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

onde $r_\phi = \partial \mathbf{r} / \partial \phi$, $r_\theta = \partial \mathbf{r} / \partial \theta$, $r_{\phi\phi} = \partial^2 \mathbf{r} / \partial \phi^2$, $r_{\theta\theta} = \partial^2 \mathbf{r} / \partial \theta^2$. O vetor \mathbf{n} representa o vetor unitário perpendicular à superfície e é definido como $\mathbf{n} = \mathbf{r}_\theta \times \mathbf{r}_\phi / |\mathbf{r}_\theta \times \mathbf{r}_\phi|$.

As quatro quantidades geométricas são escritas como

$$S = \int \int \sqrt{EG - F^2} d\theta d\phi, \tag{4.10}$$

$$C = \int \int \frac{k_1 + k_2}{2} dS, \tag{4.11}$$

$$\mathcal{G} = -\frac{1}{4\pi} \int \int k_1 k_2 dS, \tag{4.12}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi a_1 a_2 a_3. \tag{4.13}$$

As curvaturas principais de um elipsóide são k_1 e k_2 , e o produto e a soma destas quantidades são

$$k_1 + k_2 = \frac{EN + GL - 2FM}{EG - F^2}, \quad (4.14)$$

$$k_1 k_2 = \frac{LN - M^2}{EG - F^2}. \quad (4.15)$$

A partir das equações 4.10 a 4.13, definimos também três parâmetros chamados *shapefinders*, H_1 , H_2 e H_3 , que possuem dimensão de comprimento: $H_1=3V/S$, $H_2=C/S$ e $H_3=C/4\pi$. A combinação destes três parâmetros provê dois importantes parâmetros morfológicos, K_1 (planaridade) e K_2 (filamentaridade), expressos como

$$K_1 = \frac{H_2 - H_1}{H_2 + H_1} \quad (4.16)$$

$$K_2 = \frac{H_3 - H_2}{H_3 + H_2}. \quad (4.17)$$

Ambos foram normalizados para $H_i = R$, no caso de uma esfera de raio R . O valores de K_1 e K_2 são ≤ 1 por construção. O vetor $\mathbf{K} = (K_1, K_2)$ pode ser interpretado como um vetor bi-dimensional cuja amplitude e direção determinam a forma de uma superfície tri-dimensional arbitrária (Sahni et al. 1998). Baseado nas definições acima, podemos classificar uma panqueca ideal como estrutura com uma de suas dimensões (espessura) muito menor que as outras duas (largura e comprimento), logo $H_1 \ll H_2 \simeq H_3$ e $\mathbf{K} \simeq (1, 0)$. Já para um filamento ideal teremos o comprimento muito maior que a largura e espessura ou em outras palavras, $H_1 \gg H_2 \simeq H_3$ e $\mathbf{K} \simeq (0, 1)$. Considerando uma fita (*ribbon*), como tendo dimensões bem distintas, $H_1 \ll H_2 \ll H_3$, temos $\mathbf{K} \simeq (\alpha, \alpha)$ com $\alpha < 1$. Para uma esfera de raio R teremos as três dimensões idênticas, $H_1 = H_2 = H_3$ e logo $\mathbf{K} = (0, 0)$.

A classificação morfológica foi feita usando a razão K_1/K_2 , segundo Sahni et al. (1998):

- Objetos com $K_1/K_2 > 1$ são classificados como panquecas
- Objetos com $K_1/K_2 < 1$ são classificados como filamentos
- Objetos com $K_1/K_2 \simeq 1$ são classificados como fitas

Na classificação de fitas foi escolhido o intervalo de $0,95 < K_1/K_2 < 1,05$.

Aplicando este método aos resultados do ajuste de um elipsóide, classificamos os superaglomerados de acordo com o valor de K_1/K_2 . A figura 4.3 mostra a distribuição da

razão K_1/K_2 para as estruturas identificadas para o limiar L1. Para o outro limiar (L2), o valor mediano apresentou-se próximo a 1,0 também. Para o limiar L1, obtivemos 405 filamentos, 55 fitas e 309 panquecas e para o limiar L2, 190 filamentos, 42 fitas e 197 panquecas. Basilakos et al. (2001) encontraram a maioria dos superaglomerados sendo de filamentos. Essa diferença pode ser causada pela “variância cósmica”, já que o número de galáxias neste trabalho é quase 10 vezes menor que o nosso.

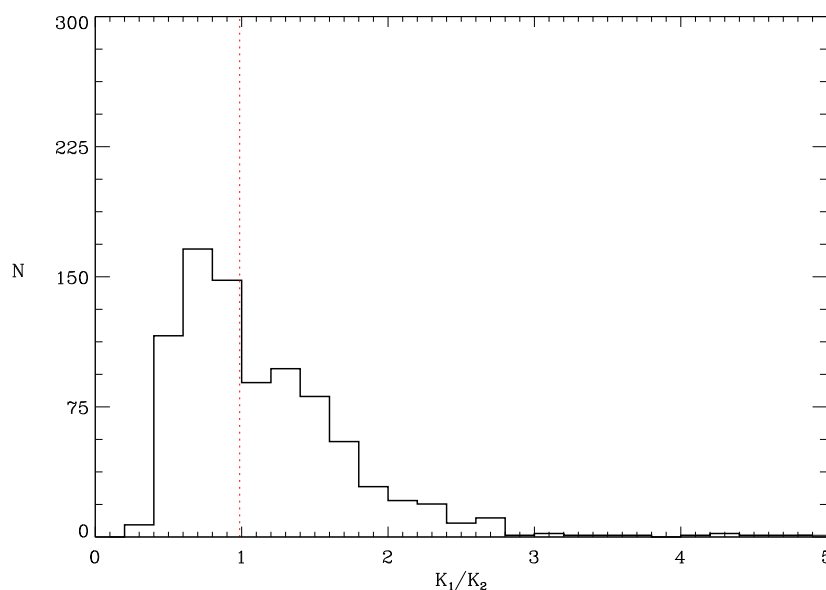


Figura 4.3: Histograma do parâmetro *shapefinder* K_1/K_2 para L1 e DF1, com um valor mediano de 0,99.

Para verificar quantitativamente qualquer correlação entre parâmetros dos superaglomerados, utilizamos o coeficiente de correlação não-paramétrico de Spearman (r_s) (Press et al. 2007) que é uma medida do grau de correlação entre duas distribuições. O valor de r_s encontra-se entre +1 (correlações) e -1 (anti-correlações). Valores próximos de zero apontam para uma pequena correlação entre as distribuições. Para avaliar a significância de r_s , calculamos a probabilidade ($P(H_0)$) de se obter um valor r_s (ou maior) na ausência de correlação, a hipótese nula H_0 . Com um valor de $P(H_0)$ pequeno, é provável que o valor de r_s seja significativo, representando uma correlação real entre as distribuições.

A figura 4.4 apresenta riqueza e luminosidade total dos objetos classificados como filamentos (vermelho), panquecas (azul) e fitas (verde), de acordo com o valor de K_1/K_2 para o limiar L1. Os quartis foram calculados em cada bin de K_1/K_2 e são representados pelas linhas pretas, sendo a mediana a linha intermediária mais forte. No painel superior, a

figura apresenta o logaritmo da riqueza em função do parâmetro K_1/K_2 . No painel inferior, a figura mostra a luminosidade total (L_{tot}) em função de K_1/K_2 . Calculamos o índice de correlação de Spearman (r_s) e a probabilidade de hipótese nula ($P(H_0)$) para a relação dos parâmetros R e L_{tot} com K_1/K_2 . Chegamos a $(r_s, P(H_0)) = (-0,263, < 10^{-4})$ para a riqueza e $(r_s, P(H_0)) = (-0,259, < 10^{-4})$ para a luminosidade com L1 e para o limiar L2 chegamos a valores de $(r_s, P(H_0)) = (-0,234, < 10^{-4})$ para a riqueza e $(r_s, P(H_0)) = (-0,229, < 10^{-4})$ para a luminosidade.

Estes resultados indicam uma anticorrelação, mesmo que fraca, entre riqueza e luminosidade e o parâmetro K_1/K_2 . Filamentos, estruturas que possuem os menores valores de K_1/K_2 , tendem a ser mais ricos e mais luminosos. O fato das tendências da riqueza se refletirem na luminosidade total são consistentes pois superaglomerados mais ricos possuem um maior número de galáxias e conseqüentemente são mais luminosos. Esta relação entre a riqueza e a morfologia dos superaglomerados é um resultado que não encontramos na literatura.

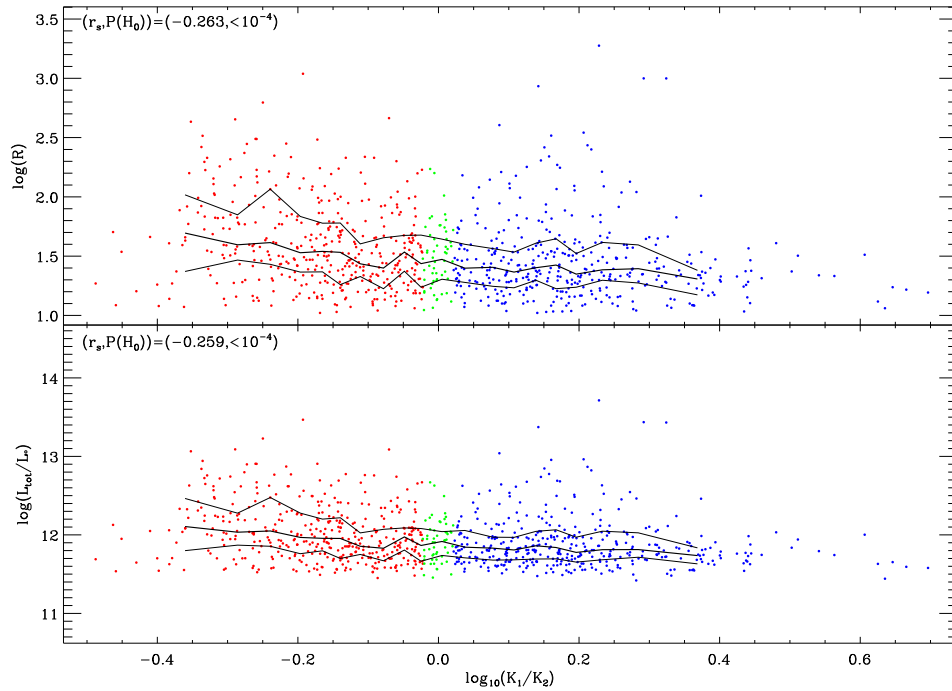


Figura 4.4: O parâmetros de riqueza (R) e luminosidade total (L_{tot}) com relação ao parâmetro morfológico K_1/K_2 . Os quartis são representados pelas linhas pretas, sendo a mediana a linha do meio.

Calculamos também as dispersões de velocidades das galáxias dos superaglomerados. Notamos que existe uma fraca tendência, com $(r_s, P(H_0)) = (-0,115, 0,001)$, de que

filamentos possuem uma maior dispersão de velocidades para L1, como mostra a figura ??.

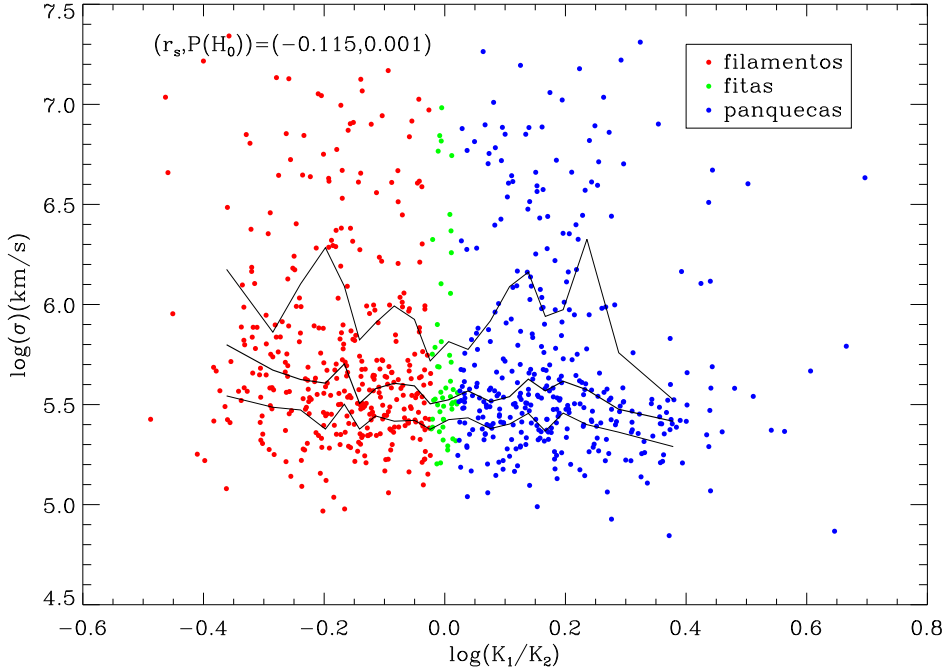


Figura 4.5: A dispersão de velocidades em função do parâmetro morfológico K_1/K_2 . Podemos notar uma fraca tendência de que filamentos tendem a possuir uma dispersão de velocidades maior.

4.1 Distribuição Cumulativa de Luminosidade de Superaglomerados

Nesta seção vamos usar a distribuição cumulativa de luminosidade de superaglomerados como ferramenta no estudo destas estruturas. Calculamos essa distribuição de acordo com a classificação morfológica.

O volume comóvel (V_c), segundo o formalismo de Hogg (1999), pode ser escrito como

$$V_c = \int_{z_i}^{z_f} \int_{\Omega_{reg}} D_H \frac{(1+z)^2 D_A^2}{E(z)} d\Omega dz, \quad (4.18)$$

onde D_H representa a distância de Hubble, D_A a distância de diâmetro angular, Ω_{reg} o ângulo sólido da região selecionada no céu, $E(z) = \sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_k(1+z)^2 + \Omega_\Lambda}$ e z_i e z_f são os limites do intervalo de redshift da amostra. Considerando um Universo plano, $\Omega_k = 0$, o volume comóvel pode ser escrito simplesmente como

$$V_c = \frac{4}{3} \pi (D_c(z_f)^3 - D_c(z_i)^3) \int_{\Omega_{reg}} d\Omega. \quad (4.19)$$

onde $D_c(z_i)$ e $D_c(z_f)$ representam as distâncias comóveis nos limites de redshift. A integral sobre o ângulo sólido da região escolhida do céu foi feita utilizando o método de integração de Monte Carlo. O volume total da região calculado foi de $V_c \simeq 8,05 \times 10^7 (h^{-1} \text{Mpc})^3$.

No cálculo da distribuição cumulativa de luminosidades utilizamos simplesmente $\Phi(>L) = N(>L)/V_c$, onde $N(>L)$ representa o número de objetos com uma luminosidade maior que L e V_c representa o volume ocupado pela amostra. As figuras 4.6 e 4.7 mostram as distribuições cumulativas de luminosidades dos superaglomerados para L1 e L2. Nas figuras designamos filamentos, fitas e panquecas pelos números 1,2 e 3, respectivamente.

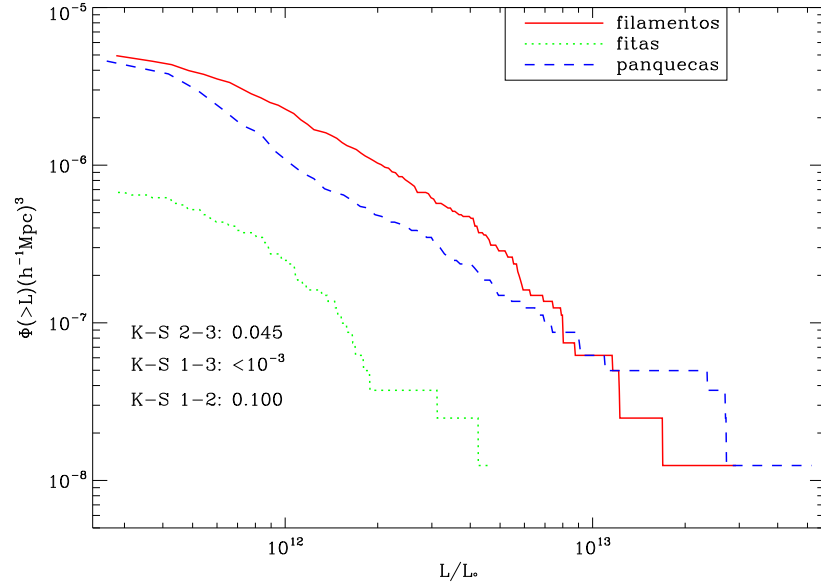


Figura 4.6: A distribuição cumulativa de luminosidade dos superaglomerados para cada um dos tipos morfológicos, no limiar L1.

No limiar L1, as distribuições apresentam objetos entre aproximadamente $3 \times 10^{11} L_\odot$ - $5 \times 10^{13} L_\odot$. Entretanto, notamos certas características peculiares a cada morfologia. A distribuição cumulativa de luminosidade de objetos considerados fitas (em verde) apresenta uma menor densidade quando comparadas às outras morfologias, e são menos luminosas, apresentando seus objetos mais luminosos com $5 \times 10^{12} L_\odot$. Já a distribuição das estruturas filamentosas é predominante sobre as demais morfologias na maior parte do intervalo de luminosidade. Neste limiar L1, as distribuições de panquecas predominam sobre os filamentos a partir de $10^{13} L_\odot$, como mostra a figura 4.6. Para o limiar L2, as distribuições de filamentos são predominantes sobre as distribuições de panquecas em praticamente todo

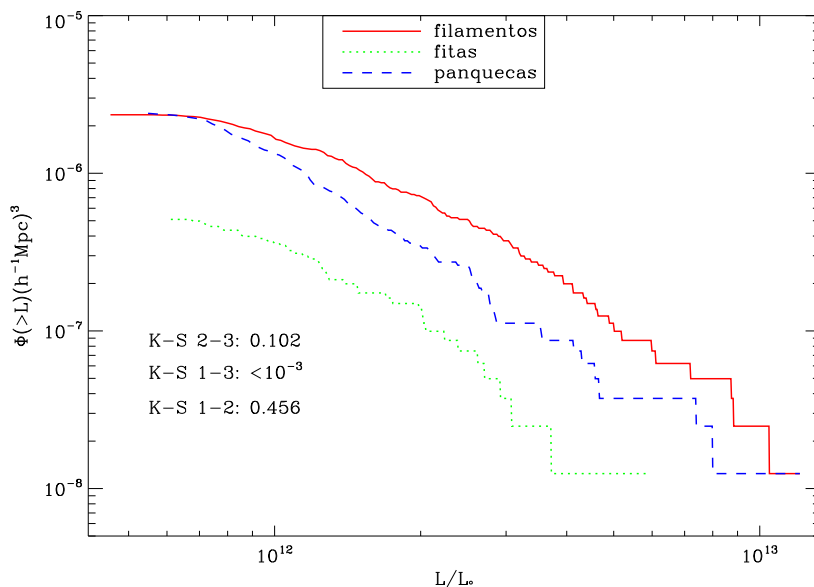


Figura 4.7: A distribuição cumulativa de luminosidade dos superaglomerados para cada um dos tipos morfológicos, no limiar L2.

o intervalo de luminosidades, além de apresentarem valores de luminosidade dos objetos mais luminosos menores. Ainda no limiar L2, mostrado na figura 4.7, o superaglomerado mais luminoso apresentou valores próximos de $2 \times 10^{13} L_{\odot}$, menores que L1. Isso se deve ao fato de limiares maiores considerarem apenas regiões mais centrais dos superaglomerados e conseqüentemente a luminosidade total é menor.

Realizamos uma análise estatística das diferenças destas distribuições através do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Este teste calcula a probabilidade de duas distribuições serem provenientes de uma mesma distribuição. Quanto menor a probabilidade, mais provável que duas distribuições sejam provenientes de distribuições distintas. Os resultados indicam que panquecas e filamentos provavelmente possuem distribuições de luminosidade distintas, o que é consistente com o resultado da seção anterior.

4.2 Conclusão

Para uma análise morfológica, calculamos os Funcionais de Minkowski e classificamos os superaglomerados em filamentos, fitas e panquecas. Analisando possíveis relações entre os parâmetros calculados, encontramos que os filamentos tendem a ser mais ricos e conseqüentemente mais luminosos. Finalmente, calculamos as distribuições cumulati-

vas de luminosidade dos superaglomerados para cada morfologia e aplicamos o teste de Kolmogorov-Smirnov às distribuições. Notamos que as distribuições cumulativas de luminosidade de filamentos e panquecas são distintas e filamentos são mais luminosos que fitas e panquecas.

Conclusões e Perspectivas

Superaglomerados são as maiores estruturas conhecidas no Universo e possuem origem nas perturbações primordiais de densidade. Os primeiros trabalhos sobre estas estruturas apareceram na década de 50 e o surgimento dos grandes levantamentos do céu permitiu sua identificação, catalogação e estudo. Como elas se encontram num estado dinâmico não virializado, apresentam-se com diferentes morfologias. Nesta dissertação apresentamos um procedimento para identificação destes objetos e estudamos algumas de suas propriedades globais.

Utilizamos como base de dados o Sloan Digital Sky Survey (SDSS) na sua sétima edição (DR7). Seleccionamos uma amostra de galáxias limitada em volume com $M_r < -21$, no intervalo de redshift $0,02 < z < 0,155$, das faixas 10 a 37 deste levantamento. Corrigimos as magnitudes absolutas pela correção-k com o código KCORRECT (Blanton et al. 2003).

Identificamos os superaglomerados usando os métodos de campo de densidades e *friends-of-friends*. Na identificação das grandes estruturas consideramos a incompletudeza espectral e o efeito de seleção radial no cálculo do campo de densidades. Com o intuito de avaliar a influência do limiar de densidade na identificação das estruturas, escolhemos dois valores: o primeiro correspondente ao número máximo de objetos e o segundo resultando em superaglomerados com tamanho máximo de $\sim 120h^{-1}Mpc$. Para os valores do parâmetro de suavização e dimensão da célula de amostragem, adotamos $\sigma = 8h^{-1}Mpc$ e $l_{cel} = 4h^{-1}Mpc$. Calculamos a riqueza e a luminosidade total para cada superaglomerado, em cada limiar de densidade, levando em consideração o efeito de seleção radial e a incompletudeza espectral. Calculamos os Funcionais de Minkowski e classificamos morfologicamente os superaglomerados em filamentos, fitas e panquecas usando os valores da razão

K_1/K_2 entre “shapefinders”. Analisamos possíveis correlações entre as características dos superaglomerados usando o índice de correlação de Spearman. Uma tendência de que filamentos tendem a ser mais ricos e conseqüentemente mais luminosos e com uma maior dispersão de velocidades foi encontrada, com um coeficiente de correlação de Spearman entre a riqueza e o parâmetro K_1/K_2 de $r_s \simeq -0,25$, com probabilidade de hipótese nula $P(H_0) < 10^{-4}$. Valores similares foram encontrados em ambos os limiares de densidade, mostrando-se um resultado robusto. Estudamos as distribuições cumulativas de luminosidade de superaglomerados para as diferentes morfologias e limiares. Com o teste de Kolmogorov-Smirnov encontramos probabilidades significativas diferenciando filamentos e panquecas. Este resultado precisa ser mais bem estudado, já que a definição morfológica de fitas foi de $0,95 < K_1/K_2 < 1,05$ e esta escolha pode influenciar nas distribuições cumulativas de luminosidades dos diversos tipos morfológicos. A distribuição cumulativa de filamentos mostrou-se predominante sobre as demais morfologias. Na literatura, as distribuições observadas apontam para a presença de numerosos objetos muito luminosos, com luminosidade máxima $L_{max} \simeq 100L_{med}$ que estão ausentes em simulações, com $L_{max} \simeq 30 - 40L_{med}$ (Einasto et al. 2006). No futuro queremos comparar nossos resultados com simulações, verificando a existência/ausência destes objetos comparativamente mais luminosos em filamentos, fitas e panquecas.

Considerando que filamentos tendem a ser mais densos que panquecas, num cenário de agregação gravitacional, as estruturas tendem a aumentar a densidade. Assim, é plausível especular que nossos resultados implicam que panquecas evoluem para filamentos.

Várias ações podem ser formadas no futuro para estender este trabalho. Por exemplo, é interessante comparar as estruturas identificadas com outros métodos, como *Skeleton* (Novikov et al. 2006; Sousbie et al. 2009). Seria interessante também tratar melhor o problema das velocidades peculiares, como os ”dedos de deus“. Para isso, o uso de resultados de simulações numéricas podem ser úteis. Outro prospecto interessante é criar um catálogo de estruturas e compará-lo com os de aglomerados de galáxias. Finalmente, tendo em vista nossa experiência neste trabalho, seria importante termos correções-k mais confiáveis.

Referências Bibliográficas

- Abazajian K. N., Adelman-McCarthy J. K., Agüeros M. A., The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *ApJS*, 2009, vol. 182, p. 543
- Abell G. O., The Distribution of Rich Clusters of Galaxies., *ApJS*, 1958, vol. 3, p. 211
- Abell G. O., Superclustering of galaxies. In *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data* , vol. 63 of IAU Symposium, 1974, p. 79
- Abell G. O., Corwin Jr. H. G., Olowin R. P., A catalog of rich clusters of galaxies, *ApJS*, 1989, vol. 70, p. 1
- Araya-Melo P. A., Reisenegger A., Meza A., van de Weygaert R., Dunner R., Quintana H., Future evolution of bound superclusters in an accelerating Universe, *MNRAS*, 2009, vol. 399, p. 97
- Bahcall J. N., Joss P. C., Is the local supercluster a physical association, *ApJ*, 1976, vol. 203, p. 23
- Bahcall N. A., Soneira R. M., A supercluster catalog, *ApJ*, 1984, vol. 277, p. 27
- Balogh M. L., Morris S. L., Yee H. K. C., Carlberg R. G., Ellingson E., Differential Galaxy Evolution in Cluster and Field Galaxies at $z \sim 0.3$, *ApJ*, 1999, vol. 527, p. 54
- Bardelli S., Zucca E., Zamorani G., Moscardini L., Scaramella R., A study of the core of the Shapley Concentration - IV. Distribution of intercluster galaxies and supercluster properties, *MNRAS*, 2000, vol. 312, p. 540

- Basilakos S., Shape statistics of Sloan Digital Sky Survey superclusters, *MNRAS*, 2003, vol. 344, p. 602
- Basilakos S., Plionis M., Rowan-Robinson M., PSCz superclusters: detection, shapes and cosmological implications, *MNRAS*, 2001, vol. 323, p. 47
- Blanton M. R., Brinkmann J., Csabai I., Doi M., Eisenstein D., Fukugita M., Gunn J. E., Hogg D. W., Schlegel D. J., Estimating Fixed-Frame Galaxy Magnitudes in the Sloan Digital Sky Survey, *AJ*, 2003, vol. 125, p. 2348
- Blanton M. R., Dalcanton J., Eisenstein D., Loveday J., Strauss M. A., SubbaRao M., Weinberg The Luminosity Function of Galaxies in SDSS Commissioning Data, *AJ*, 2001, vol. 121, p. 2358
- Blumenthal G. R., Faber S. M., Primack J. R., Rees M. J., Formation of galaxies and large-scale structure with cold dark matter, *Nature*, 1984, vol. 311, p. 517
- Bruzual G., Charlot S., Stellar population synthesis at the resolution of 2003, *MNRAS*, 2003, vol. 344, p. 1000
- Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction, *ApJ*, 1989, vol. 345, p. 245
- Chabrier G., Galactic Stellar and Substellar Initial Mass Function, *PASP*, 2003, vol. 115, p. 763
- 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
- Colless M., Dalton G., Maddox S., The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts, *MNRAS*, 2001, vol. 328, p. 1039
- Croton D. J., Springel V., White S. D. M., De Lucia G., Frenk C. S., Gao L., Jenkins A., Kauffmann G., Navarro J. F., Yoshida N., The many lives of active galactic nuclei: cooling flows, black holes and the luminosities and colours of galaxies, *MNRAS*, 2006, vol. 365, p. 11

- Davis M., Geller M. J., Galaxy Correlations as a Function of Morphological Type, *ApJ*, 1976, vol. 208, p. 13
- Davis M., Peebles P. J. E., A survey of galaxy redshifts. V - The two-point position and velocity correlations, *ApJ*, 1983, vol. 267, p. 465
- de Vaucouleurs G., Evidence for a local supergalaxy, *AJ*, 1953, vol. 58, p. 30
- de Vaucouleurs G., The Local Supercluster of Galaxies, *Nature*, 1958, vol. 182, p. 1478
- de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin Jr. H. G., Second reference catalogue of bright galaxies. Containing information on 4,364 galaxies with references to papers published between 1964 and 1975., 1976
- Deng X., Chen Y., Zhang Q., He J., Super-Large-Scale Structures in the Sloan Digital Sky Survey, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2006, vol. 6, p. 35
- Dressler A., Galaxy morphology in rich clusters - Implications for the formation and evolution of galaxies, *ApJ*, 1980, vol. 236, p. 351
- Dressler A., Faber S. M., Burstein D., Davies R. L., Lynden-Bell D., Terlevich R. J., Wegner G., Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies - A large-scale streaming motion in the local universe, *ApJ*, 1987, vol. 313, p. L37
- Efstathiou G., Sutherland W. J., Maddox S. J., The cosmological constant and cold dark matter, *Nature*, 1990, vol. 348, p. 705
- Einasto J., Einasto M., Saar E., Tago E., Liivamägi L. J., Jõeveer M., Suhhonenko I., Hütsi G., Jaaniste J., Heinämäki P., Müller V., Knebe A., Tucker D., Luminous superclusters: remnants from inflation?, *A&A*, 2006, vol. 459, p. L1
- Einasto J., Einasto M., Saar E., Tago E., Liivamägi L. J., Jõeveer M., Suhhonenko I., Hütsi G., Jaaniste J., Heinämäki P., Müller V., Knebe A., Tucker D., Superclusters of galaxies from the 2dF redshift survey. II. Comparison with simulations (E07b), *A&A*, 2007, vol. 462, p. 397

- Einasto J., Einasto M., Tago E., Saar E., Hütsi G., Jõeveer M., Liivamägi L. J., Suhhonenko I., Jaaniste J., Heinämäki P., Müller V., Knebe A., Tucker D., Superclusters of galaxies from the 2dF redshift survey. I. The catalogue (E07a), *A&A*, 2007, vol. 462, p. 811
- Einasto J., Hütsi G., Einasto M., Saar E., Tucker D. L., Müller V., Heinämäki P., Allam S. S., Clusters and superclusters in the Sloan Digital Sky Survey, *A&A*, 2003, vol. 405, p. 425
- Einasto J., Jõeveer M., Structure of the Galaxy, *Zemlia i Vselennaia*, 1978, vol. 6, p. 30
- Einasto M., Einasto J., Tago E., Saar E., Liivamägi L. J., Jõeveer M., Hütsi G., Heinämäki P., Müller V., Tucker D., Superclusters of galaxies in the 2dF redshift survey. III. The properties of galaxies in superclusters (E07c), *A&A*, 2007, vol. 464, p. 815
- Ettori S., Fabian A. C., White D. A., On the mass distribution in the Shapley Supercluster inferred from X-ray observations, *MNRAS*, 1997, vol. 289, p. 787
- 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
- Giovanelli R., Haynes M. P., A survey of the Pisces-Perseus supercluster. VI - The declination zone +15.5 deg to 21.5 deg, *AJ*, 1993, vol. 105, p. 1271
- Girardi L., Bressan A., Chiosi C., Bertelli G., Nasi E., Evolutionary sequences of stellar models with new radiative opacities. VI. $Z=0.0001$., *A&AS*, 1996, vol. 117, p. 113
- Gomes J. M., Síntese Espectral de Galáxias: Modelos de Populações Estelares Simples e Compostas, Ajustes, Calibrações e Aplicações, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, 2009, Tese de doutorado
- Goto T., Okamura S., McKay T. A., Bahcall N. A., Annis J., Bernard M., Brinkmann J., Gómez P. L., Hansen S., Kim R. S. J., Sekiguchi M., Sheth R. K., Composite Luminosity Functions Based on the Sloan Digital Sky Survey “Cut and Enhance” Galaxy Cluster Catalog, *PASJ*, 2002, vol. 54, p. 515

-
- Gramann M., Suhhonenko I., Dynamical state of superclusters of galaxies: do superclusters expand or have they started to collapse?, *MNRAS*, 2002, vol. 337, p. 1417
- Gunn J. E., Carr M., Rockosi C., Sekiguchi M., Berry K., Elms B., de Haas E., Ivezić Ž., Knapp G., Lupton R., Pauls The Sloan Digital Sky Survey Photometric Camera, *AJ*, 1998, vol. 116, p. 3040
- Ho S., Bahcall N., Bode P., Cluster Ellipticities as a Cosmological Probe, *ApJ*, 2006, vol. 647, p. 8
- Hogg D. W., Distance measures in cosmology, *ArXiv Astrophysics e-prints*, 1999
- Ivezic Z., Tyson J. A., Allsman R., Andrew J., LSST: from Science Drivers to Reference Design and Anticipated Data Products, *ArXiv e-prints*, 2008
- Jenkins A., Frenk C. S., Pearce F. R., Thomas P. A., Colberg J. M., White S. D. M., Couchman H. M. P., Peacock J. A., Efstathiou G., Nelson A. H., Evolution of Structure in Cold Dark Matter Universes, *ApJ*, 1998, vol. 499, p. 20
- Lynden-Bell D., Faber S. M., Burstein D., Davies R. L., Dressler A., Terlevich R. J., Wegner G., Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies. V - Galaxy streaming toward the new supergalactic center, *ApJ*, 1988, vol. 326, p. 19
- Maddox S. J., Efstathiou G., Sutherland W. J., Loveday J., The APM galaxy survey. I - APM measurements and star-galaxy separation, *MNRAS*, 1990, vol. 243, p. 692
- Martins L. P., González Delgado R. M., Leitherer C., Cerviño M., Hauschildt P., A high-resolution stellar library for evolutionary population synthesis, *MNRAS*, 2005, vol. 358, p. 49
- 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
- Novikov D., Colombi S., Doré O., Skeleton as a probe of the cosmic web: the two-dimensional case, *MNRAS*, 2006, vol. 366, p. 1201

- Oke J. B., Gunn J. E., Secondary standard stars for absolute spectrophotometry, *ApJ*, 1983, vol. 266, p. 713
- Petrosian V., Surface brightness and evolution of galaxies, *ApJ*, 1976, vol. 209, p. L1
- Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P., Numerical recipes: the art of scientific computing. Cambridge University Press, 2007
- Proust D., Quintana H., Carrasco E. R., Reisenegger A., Slezak E., Muriel H., Dünner R., Sodré L. J., Drinkwater M. J., Parker Q. A., Ragone C. J., The Shapley Supercluster: the Largest Matter Concentration in the Local Universe, *The Messenger*, 2006, vol. 124, p. 30
- Sahni V., Sathyaprakash B. S., Shandarin S. F., Shapefinders: A New Shape Diagnostic for Large-Scale Structure, *ApJ*, 1998, vol. 495, p. L5+
- Salpeter E. E., The Luminosity Function and Stellar Evolution., *ApJ*, 1955, vol. 121, p. 161
- Sánchez-Bl azquez P., Peletier R. F., Jiménez-Vicente J., Cardiel N., Cenarro A. J., Falc on-Barroso J., Gorgas J., Selam S., Vazdekis A., Medium-resolution Isaac Newton Telescope library of empirical spectra, *MNRAS*, 2006, vol. 371, p. 703
- Saunders W., Sutherland W. J., Maddox S. J., Keeble O., Oliver S. J., Rowan-Robinson M., McMahon R. G., Efstathiou G. P., Tadros H., White S. D. M., Frenk C. S., Carrami ana A., Hawkins M. R. S., The PSCz catalogue, *MNRAS*, 2000, vol. 317, p. 55
- Shapley H., Ames A., A survey of the external galaxies brighter than the thirteenth magnitude, *Annals of Harvard College Observatory*, 1932, vol. 88, p. 41
- Shectman S. A., Landy S. D., Oemler A., Tucker D. L., Lin H., Kirshner R. P., Schechter P. L., The Las Campanas Redshift Survey, *ApJ*, 1996, vol. 470, p. 172
- Silvermann B. W., "Density estimation for statistics and data analysis". Chapman and Hall London New York, 1986

- Small T. A., Ma C., Sargent W. L. W., Hamilton D., The Norris Survey of the Corona Borealis Supercluster. III. Structure and Mass of the Supercluster, *ApJ*, 1998, vol. 492, p. 45
- Sousbie T., Colombi S., Pichon C., The fully connected N-dimensional skeleton: probing the evolution of the cosmic web, *MNRAS*, 2009, vol. 393, p. 457
- Springel V., The cosmological simulation code GADGET-2, *MNRAS*, 2005, vol. 364, p. 1105
- Stoughton C., Lupton R. H., Bernardi M., Blanton M. R., Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release, *AJ*, 2002, vol. 123, p. 485
- Strauss M. A., Weinberg D. H., Lupton R. H., Narayanan V. K., Annis J., Bernardi M., Blanton M., Burles S., Spectroscopic Target Selection in the Sloan Digital Sky Survey: The Main Galaxy Sample, *AJ*, 2002, vol. 124, p. 1810
- Tago E., Einasto J., Saar E., Einasto M., Suhhonenko I., Jõeveer M., Vennik J., Heinämäki P., Tucker D. L., Clusters and groups of galaxies in the 2dF galaxy redshift survey: A new catalogue, *Astronomische Nachrichten*, 2006, vol. 327, p. 365
- Wen Z. L., Han J. L., Liu F. S., Galaxy Clusters Identified from the SDSS DR6 and Their Properties, *ApJS*, 2009, vol. 183, p. 197
- York D. G., Adelman J., Anderson Jr. J. E., Anderson S. F., Annis J., Bahcall N. A., Bakken J. A., Barkhouser R., Bastian S., Berman E., Boroski W. N., Bracker S., Briegel The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *AJ*, 2000, vol. 120, p. 1579
- Zeldovich I. B., Einasto J., Shandarin S. F., Giant voids in the universe, *Nature*, 1982, vol. 300, p. 407
- Zucca E., Zamorani G., Scaramella R., Vettolani G., All-sky catalogs of superclusters of Abell-ACO clusters, *ApJ*, 1993, vol. 407, p. 470
- Zwicky F., Kowal C. T., "Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies", Volume VI, 1968

Apêndice

Populações estelares de Galáxias em Superaglomerados

O objetivo inicial deste trabalho era de estudar a dependência da população estelar das galáxias com as propriedades dos superaglomerados. Contudo, a resolução espacial necessária para se construir o campo de densidades a partir do qual identificamos os superaglomerados não era alta suficiente para permitir isso. Além disso, nossa seleção de galáxias mais luminosas que $M_r < -21$, privilegia galáxias vermelhas, limitando a variância nas propriedades espectrais das galáxias. De qualquer modo, neste apêndice resumimos nosso trabalho sobre este assunto.

Neste apêndice, realizamos uma análise de algumas propriedades das galáxias com relação à morfologia dos superaglomerados. Apresentamos, inicialmente, uma breve descrição do código *STARLIGHT*, usado para obter os parâmetros espectrais. Calculamos a densidade local de cada galáxia, de acordo com o formalismo do campo de densidades utilizado na seção 3.1 e verificamos possíveis diferenças na relação entre a densidade local e os parâmetros espectrais. Para comparar as distribuições dos parâmetros espectrais das galáxias em superaglomerados de diferentes morfologias utilizamos distribuições cumulativas, comparando-as com o teste K-S. Finalmente, usando um catálogo de aglomerados de galáxias, realizamos uma análise do perfil mediano dos parâmetros espectrais com relação ao aglomerado.

A.1 O código *STARLIGHT*

Neste trabalho, utilizamos os resultados obtidos com o *STARLIGHT* (Cid Fernandes et al. 2005), um código de síntese de populações a partir de dados de populações empíricas e resultados de trajetórias evolutivas.

Para cada galáxia, o código ajusta um espectro sintético ao observado, utilizando uma combinação de espectros de modelos de populações estelares simples (SSP). A extinção é modelada como uma poeira em primeiro plano e parametrizada pela extinção na banda V , A_V . A lei de extinção Galáctica utilizada foi a de Cardelli et al. (1989), com $R_V = 3,1$. Movimentos estelares foram modelados com uma distribuição gaussiana, centrada na velocidade v_* e com dispersão σ_* .

O espectro modelado pode então ser escrito como

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

onde $r_\lambda = 10^{-0.4(A_\lambda - A_{\lambda_0})}$ consiste no termo de avermelhamento, M_{λ_0} é o valor do espectro sintético no comprimento de onda de normalização ($\lambda_0 = 4020\text{\AA}$) e $b_{j,\lambda}$ é o espectro da j -ésima SSP normalizado em λ_0 . O termo x_j é a fração da população j para a luz e o símbolo \otimes representa o operador de convolução. Cada componente do vetor x_j representa a contribuição de uma SSP com uma metalicidade Z_j e idade t_j ao fluxo no comprimento de onda λ_0 .

O ajuste do espectro observado de cada galáxia é feito com o método MCMC (*Markov chain Monte Carlo*), minimizando-se a função $\chi^2 = \sum [(O_\lambda - M_\lambda) w_\lambda]^2$, onde O_λ é o espectro observado e w_λ representa um peso associado ao comprimento de onda λ . Normalmente w_λ^{-1} corresponde ao erro do espectro observado no comprimento de onda λ . Partes do espectro com linhas de emissão, ruídos do céu, pixels defeituosos (*bad pixels*) e pixels que possuem valores mais de três vezes o valor quadrático médio (*rms*) com relação a O_λ ou a uma estimativa inicial de M_λ , são desprezados, fazendo-se $w_\lambda = 0$.

Com o ajuste do espectro modelado ao observado, pode-se determinar alguns parâmetros representativos de populações estelares das galáxias através do vetor de populações x_j ou da fração de massa μ_j . Com isso, pode-se determinar a metalicidade ponderada pela massa ou pela luz:

$$\langle Z_* \rangle_M = \sum_{j=1}^{N_*} \mu_j Z_j. \quad (\text{A.2})$$

$$\langle Z_* \rangle_L = \sum_{j=1}^{N_*} x_j Z_j, \quad (\text{A.3})$$

Pode-se definir analogamente a idade ponderada pela massa ou pela luz, $\langle \log t_* \rangle_M$ e $\langle \log t_* \rangle_L$.

O *STARLIGHT* foi rodado usando os resultados do modelo de SSPs de Charlot & Bruzual (2007) (CB07). O modelo de CB07 utiliza trajetórias evolutivas de Padova2004 (Girardi et al. 1996), que inclui uma nova prescrição para a evolução de estrelas no ramo assintótico das gigantes (AGB). Os resultados foram obtidos com a biblioteca de espectros MILES (Sánchez-Blázquez et al. 2006) e Granada (Martins et al. 2005). Utilizou-se a função massa inicial de Chabrier (2003). A base de dados utilizada na síntese consiste em 150 populações ($N_{\star} = 150$ SSPs), com 25 diferentes idades, de 1×10^6 à 18×10^{10} anos e seis metalicidades, Z/Z_{\odot} de 0,0001 até 2,5. A figura A.1 mostra os espectros das SSPs utilizadas no ajuste espectral. Detalhes de todo o procedimento pode ser encontrado em Gomes (2009).

Em nossa análise também utilizamos o parâmetro D_n4000 , que mede a quebra em 4000\AA utilizando a razão do fluxo entre a região vermelha (4000\AA - 4100\AA) e azul (3850\AA - 3950\AA) do contínuo em torno de 4000\AA (Balogh et al. 1999). Em galáxias com populações estelares mais velhas, a descontinuidade em 4000\AA é maior devido principalmente à opacidade dos metais. Em galáxias com populações estelares mais jovens, este material está mais ionizado, diminuindo o valor da quebra em 4000\AA .

O código *STARLIGHT* foi aplicado aos dados do SDSS/DR6, selecionando galáxias com $z > 0,002$ e um parâmetro relativo à confiança da medida de redshift, z_{conf} , maior que 35 %. Estas restrições têm como finalidade garantir a qualidade dos resultados da síntese espectral. No total foram obtidos os parâmetros da síntese para 694135 galáxias que serão descritos em Cid Fernandes et al. (2010, em preparação) e disponíveis brevemente no site do projeto SEAGal/STARLIGHT ¹.

A.2 Populações Estelares em Superaglomerados

Nesta seção, realizamos uma análise de algumas propriedades das galáxias com relação à morfologia dos superaglomerados. Calculamos a densidade local de cada galáxia, de acordo com o formalismo do campo de densidades utilizado na seção 3.1 e verificamos possíveis diferenças na relação entre a densidade local e os parâmetros espectrais. Para comparar as distribuições dos parâmetros espectrais das galáxias em superaglomerados de diferentes morfologias utilizamos distribuições cumulativas, comparando-as com o teste

¹ <http://www.starlight.ufsc.br>

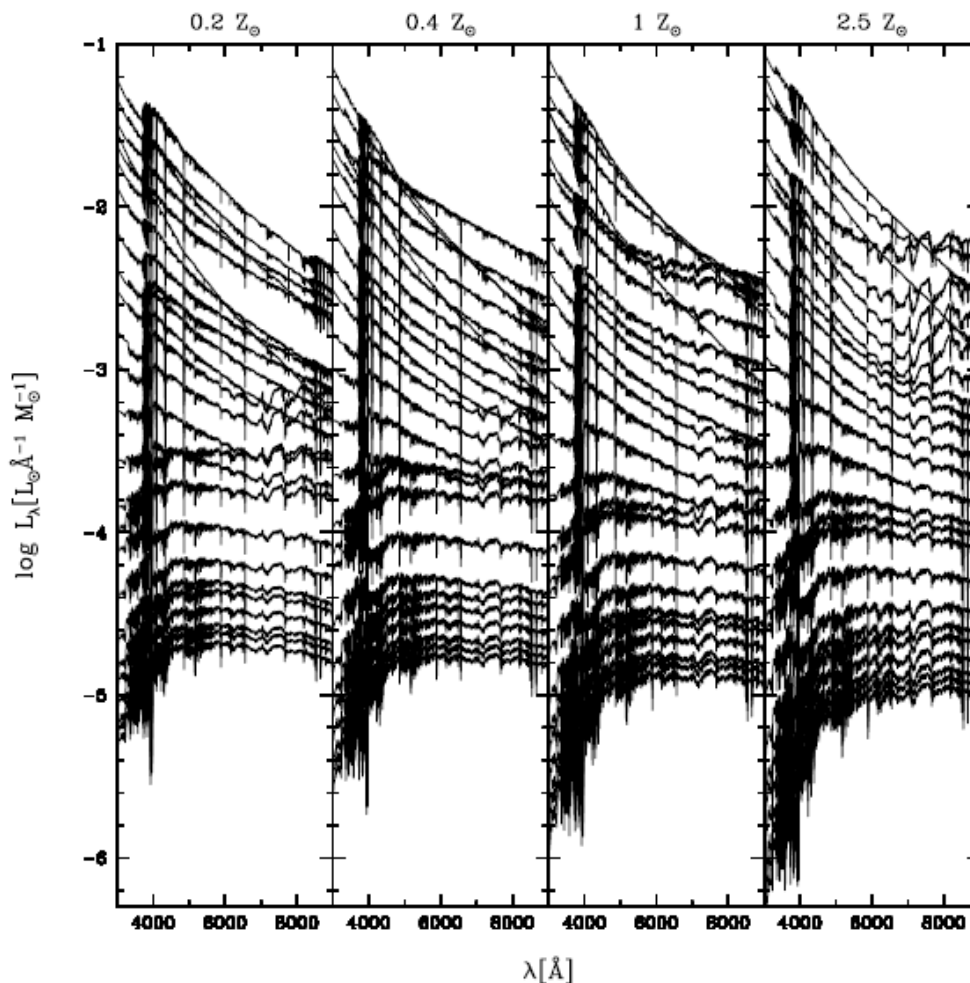


Figura A.1: Espectros de 150 populações estelares utilizadas de CB07 com diferentes idades e metalicidades. Figura de Gomes (2009).

K-S. Finalmente, usando um catálogo de aglomerados de galáxias, realizamos uma análise do perfil mediano dos parâmetros espectrais com relação ao aglomerado.

A.2.1 Relação Morfologia - Densidade

Para o estudo da influência dos superaglomerados sobre as galáxias no âmbito da relação entre a densidade e os parâmetros espectrais, calculamos a densidade local de cada galáxia, segundo o formalismo da seção 3.1. Considerando DF1 e L1, obtivemos 28.311 galáxias com síntese pertencentes a superaglomerados, com 15.588 em filamentos, 1.597 em fitas e 11.126 em panquecas. Com o intuito de avaliarmos a influência da morfologia dos supera-

glomerados sobre as galáxias, dividimos as densidades locais das galáxias em intervalos de $2,5D_{med}$, de 0 a 20. Separando as galáxias de acordo com a morfologia da estrutura que a pertence, fizemos gráficos de valores medianos dos parâmetros espectrais (D_n4000 , $\langle Z/Z_\odot \rangle_M$, $\langle Z/Z_\odot \rangle_L$, $\langle \log t_* \rangle_M$ e $\langle \log t_* \rangle_M$) em cada intervalo de densidade.

A figura A.2 mostra os valores medianos dos parâmetros espectrais para cada intervalo de densidade local, considerando L1 e DF1. Obtivemos um análogo da relação morfologia-densidade (Dressler 1980; Davis e Geller 1976) através da relação entre densidade local e as propriedades espectrais das galáxias. Galáxias de regiões menos densas possuem valores espectrais de populações mais jovens quando comparados às regiões mais densas. Note que o valor de D_n4000 é menor para galáxias espirais ou irregulares e maior para galáxias elípticas. O mesmo comportamento foi notado com relação a $\langle Z/Z_\odot \rangle_M$, $\langle Z/Z_\odot \rangle_L$, $\langle \log t_* \rangle_M$ e $\langle \log t_* \rangle_M$. Diferenças mais significativas se apresentaram com relação às galáxias de regiões de maior densidade. Provavelmente podemos associar esta flutuação ao pequeno número de galáxias nestes intervalos de densidade. Não notamos diferenças significativas entre as diferentes amostras de galáxias pertencentes aos filamentos, fitas ou panquecas, em ambos limiares. Este resultado mostra que a morfologia dos superaglomerados não apresenta uma influência significativa na evolução das galáxias, ou seja, a evolução das galáxias em filamentos, fitas e panquecas acontece praticamente da mesma maneira, dependendo somente do ambiente local em que a galáxia se encontra. A densidade local possui um papel predominante na evolução das galáxias, como discutido, por exemplo, em Mateus et al. (2007).

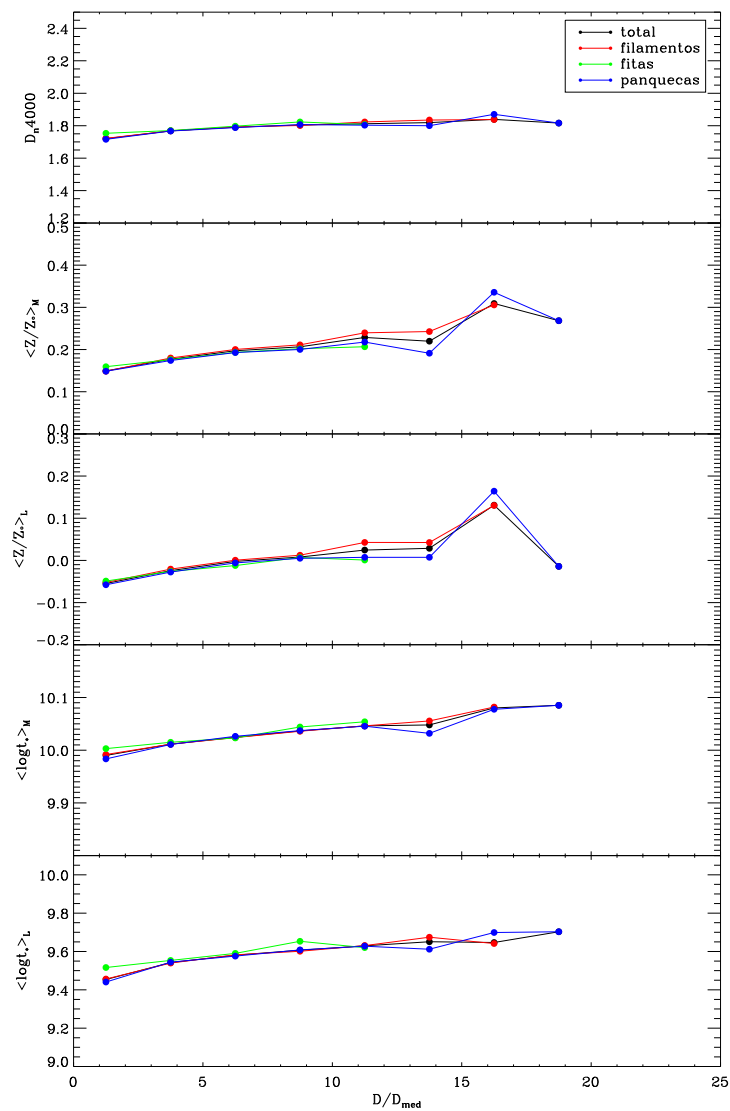


Figura A.2: Valores medianos dos parâmetros espectrais em função da densidade local das galáxias pertencentes a diferentes morfologias de superaglomerados para L1 e DF1.

A.2.2 Distribuição dos Parâmetros Espectrais

Podemos também avaliar uma possível influência do ambiente global (superaglomerados) nas propriedades espectrais das galáxias analisando as distribuições dos parâmetros espectrais. Para isso utilizamos distribuições cumulativas de cada amostra de galáxias dos superaglomerados.

A figura A.3 mostra as distribuições dos parâmetros espectrais das galáxias associadas às três morfologias dos superaglomerados, para L1 e DF1. Podemos notar um acúmulo de galáxias na distribuição do parâmetro $\langle Z/Z_{\odot} \rangle_M$ em torno de 0,4. Isto se deve a uma incompletude da síntese que possui uma metalicidade máxima de 0,4. Na comparação das distribuições, não é possível realizar qualquer teste estatístico com relação a este parâmetro. Sendo assim, aplicamos o teste K-S para avaliar possíveis diferenças entre as distribuições dos parâmetros D_n4000 , $\langle Z/Z_{\odot} \rangle_L$, $\langle \log t_* \rangle_M$ e $\langle \log t_* \rangle_L$. As probabilidades foram calculadas para as seguintes combinações de amostras: filamentos e fitas (1-2), filamentos e panquecas (1-3), e fitas e panquecas (2-3). O procedimento foi feito L1 e L2. Encontramos probabilidades do teste K-S entre filamentos (1) e panquecas (3) $< 10^{-3}$ para o parâmetro $\langle Z/Z_{\odot} \rangle_L$ nos limiares L1 e L2. Além disso, calculamos os valores medianos e os quartis (q_1, m, q_2) das distribuições para cada morfologia. Comparando os valores medianos das distribuições de cada parâmetro espectral em todos os limiares e conjunto de parâmetros, a maioria apresentou diferenças da ordem de 10^{-2} .

Baseando-se nos valores medianos, quartis e nas probabilidades do teste K-S, podemos concluir que não há evidências significativas da dependência de parâmetros espectrais com a morfologia dos superaglomerados.

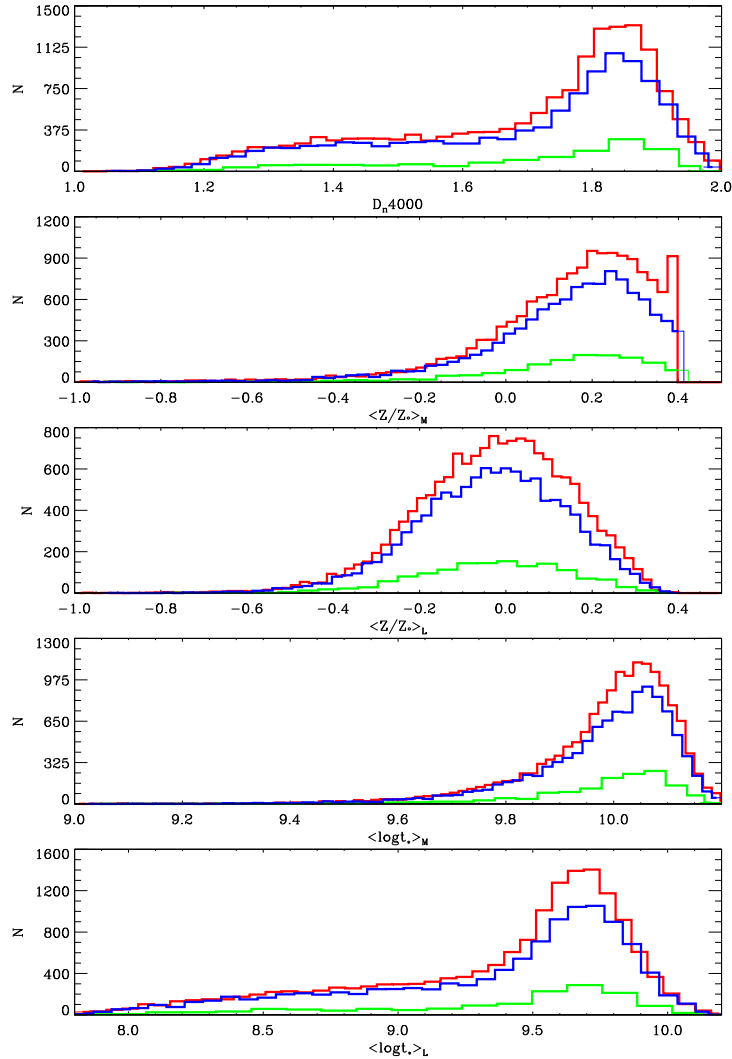


Figura A.3: Histogramas dos parâmetros espectrais das distribuições de galáxias pertencentes a filamentos (vermelho), fitas (verde) e panquecas (azul), considerando L1 e DF1.

A.2.3 Perfis dos Parâmetros Espectrais na Região de Aglomerados

Nesta seção, realizamos uma análise da influência dos aglomerados no ambiente interno dos superaglomerados, isto é, como aglomerados de galáxias influenciam os valores de D_n4000 , $\langle Z/Z_\odot \rangle_M$, $\langle Z/Z_\odot \rangle_L$, $\langle \log t_* \rangle_M$ e $\langle \log t_* \rangle_L$ do ambiente. Para isso utilizamos o catálogo de aglomerados de Wen et al. (2009), que consiste em 39.668 aglomerados identificados no SDSS/DR6 dentro do intervalo de redshift de $0,05 < z < 0,3$. A definição de aglomerado utilizada consiste num número mínimo de 8 galáxias com $M_r < -21$, dentro de um raio de $0,5h^{-1}Mpc$. A posição do aglomerado é definida pela

posição da BCG (*Brightest Cluster Galaxy*).

Selecionamos aglomerados dentro do intervalo de redshift da nossa amostra de galáxias. Utilizamos somente aglomerados com redshift determinados espectroscopicamente devido à imprecisão na determinação do redshift fotométrico. Aplicamos o mesmo procedimento usado na busca de galáxias pertencentes aos superaglomerados para os aglomerados. Para cada ponto do campo de densidades associado a um superaglomerado, procuramos aglomerados dentro de um raio de σ (parâmetro de suavização). Sendo assim, chegamos a um valor de 327 aglomerados associados aos superaglomerados para L1 e 274 para o limiar L2.

Calculamos valores médios dos parâmetros espectrais das galáxias dentro de esferas concêntricas com origem na BCG de cada aglomerado. Uma esfera de raio r_{BCG} relativamente pequeno vai englobar galáxias com populações estelares relativamente velhas. À medida que o valor de r_{BCG} aumenta, mais galáxias pertencentes às regiões mais externas são acrescentadas dentro da esfera e conseqüentemente os valores médios calculados tendem a valores representativos de populações relativamente mais jovens. Este comportamento reflete a relação morfologia-densidade em aglomerados e nas vizinhanças. Realizamos este procedimento para cada aglomerado e parâmetro espectral. Em superaglomerados mais ricos, contendo mais de um aglomerado, percebemos diferentes perfis dos parâmetros espectrais, como mostra o painel A.5. A figura (a) corresponde ao perfil de D_n4000 do aglomerado WHL J101359.7+344107, que se encontra a uma distância de $\sim 31h^{-1}Mpc$ de WHL J103143.1+363753, sendo seu perfil mostrado em (b), ambos pertencente ao mesmo superaglomerado. Um comportamento decrescente é notado em todos os perfis à medida que r_{RGB} aumenta.

Para cada valor de r_{BCG} , de $1h^{-1}Mpc$ a $25h^{-1}Mpc$, calculamos os valores medianos e os quartis para as galáxias dentro deste raio. A figura A.6 mostra os resultados para L1. Podemos perceber que o perfil mediano dos parâmetros espectrais tem um comportamento assintótico a partir de $\sim 8h^{-1}Mpc$. Como esta é justamente a resolução espacial do nosso campo de densidades, isso significa que não devemos esperar diferenças significativas entre os parâmetros espectrais dos superaglomerados com diferentes morfologias.

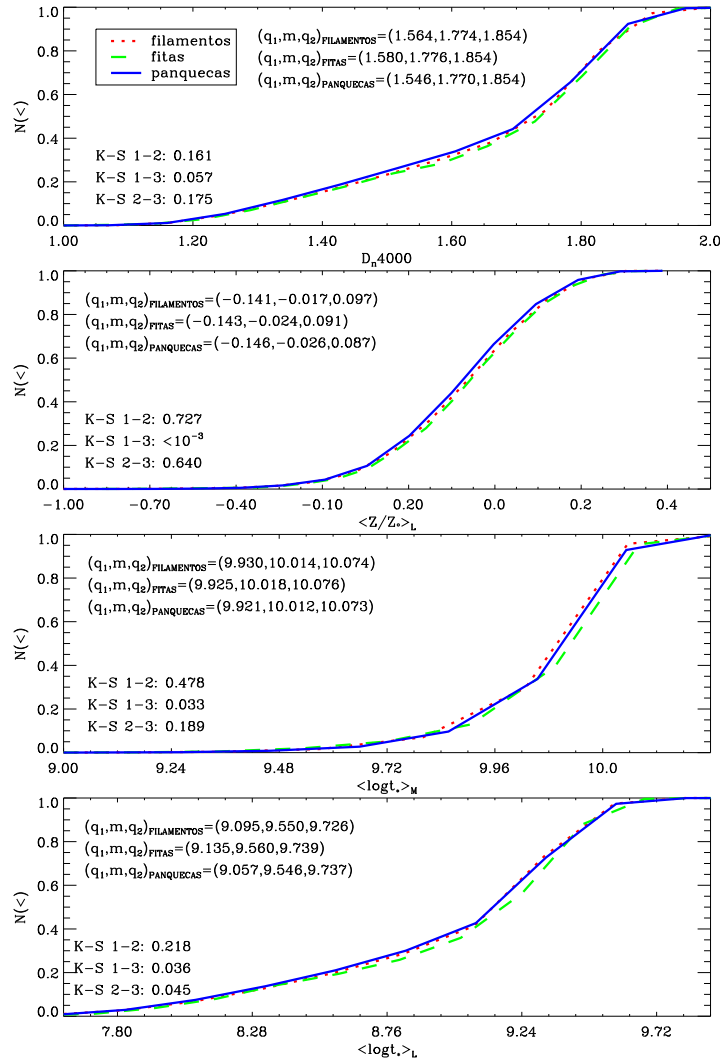


Figura A.4: Distribuições cumulativas normalizadas dos parâmetros espectrais das amostras de galáxias com relação a morfologia dos superaglomerados, considerando L1 e DF1. A figura mostra também as probabilidades calculadas do teste K-S relativas às combinações das amostras pertencentes a filamentos (1), fitas (2) e panquecas (3) e também os valores medianos e quartis das distribuições.

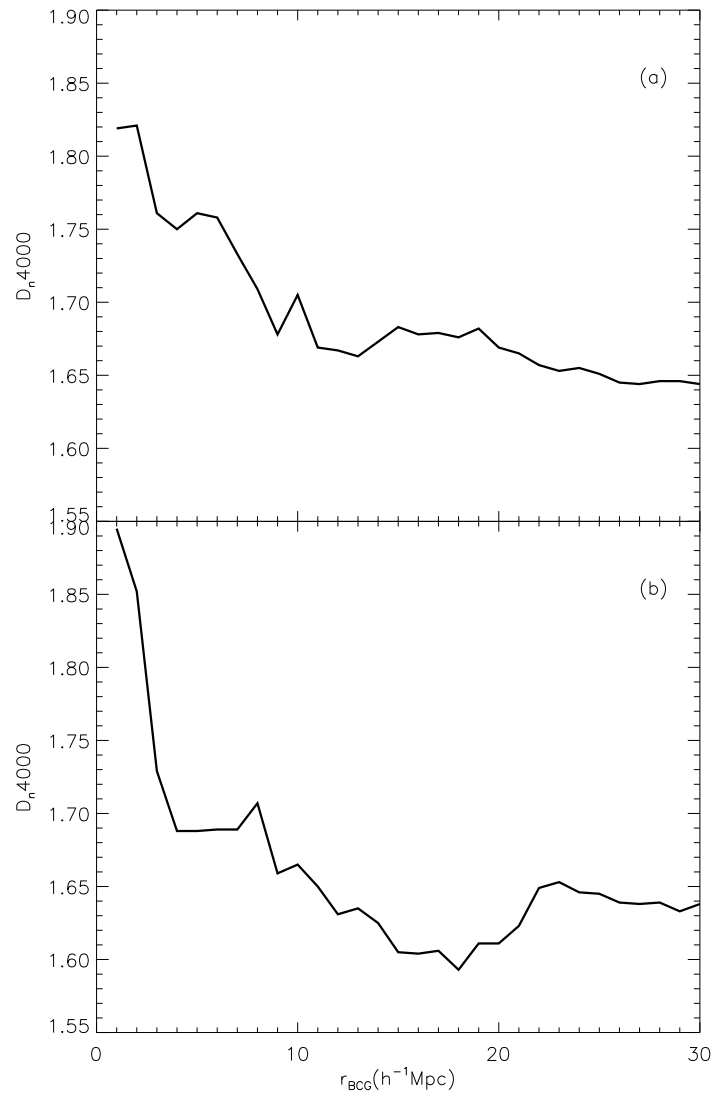


Figura A.5: O perfil do valor médio do parâmetro $D_n,4000$ para o aglomerado WHL J101359.7+344107 (a) e o perfil do aglomerado WHL J103143.1+363753 em (b). Podemos notar um perfil decrescente à medida que o valor de r_{BCG} aumenta.

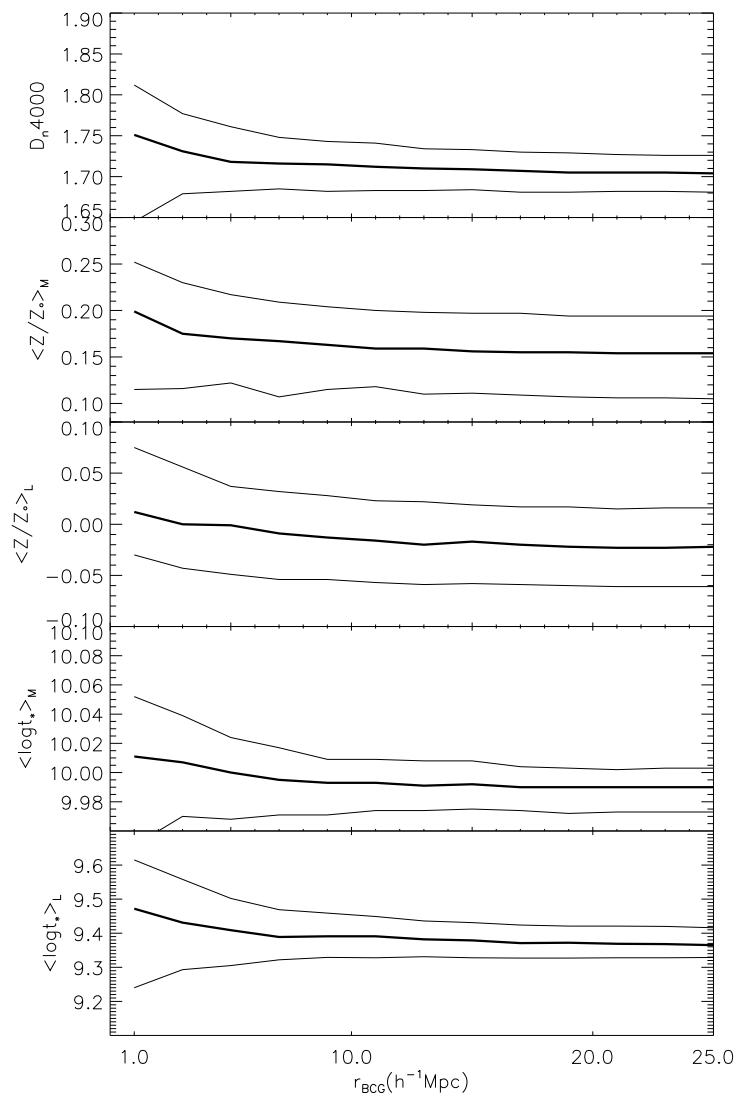


Figura A.6: Os perfis medianos dos parâmetros espectrais e os quartis se mostram decrescentes com o aumento de r_{BCG} . A partir de aproximadamente $8h^{-1} \text{Mpc}$, os parâmetros tendem a um valor assintótico.

Apêndice B

Principais Propriedades dos Superaglomerados

Neste apêndice, apresentamos uma tabela com as principais características dos 200 primeiros superaglomerados no limiar L1. Nesta tabela mostramos a numeração do superaglomerado, a ascensão reta média, declinação média, riqueza, luminosidade total e o parâmetro morfológico K_1/K_2 .

Tabela B.1 - Principais características dos superaglomerados: ascensão reta, declinação, riqueza, luminosidade total e o parâmetro morfológico K_1/K_2 .

# SC	$\alpha_{med}(^{\circ})$	$\delta_{med}(^{\circ})$	z_{med}	N_{gal}	Riqueza(R)	$L(L/L_{\odot})$	K_1/K_2
1	215.19432	1.15888	0.11765	25	28	8.13E+11	2.260
2	136.12274	1.23076	0.14836	26	29	8.05E+11	2.477
3	225.85637	1.39671	0.12977	18	20	5.63E+11	0.750
4	216.81502	1.22656	0.14434	12	14	3.34E+11	0.552
5	209.23418	1.14366	0.13727	22	23	7.97E+11	0.424
6	214.73674	6.38869	0.11270	400	448	1.22E+13	0.514
7	200.05302	1.23529	0.14782	25	29	7.30E+11	1.571
8	191.40099	2.32225	0.13624	39	44	1.19E+12	0.670
9	166.61208	1.98117	0.10356	29	32	8.57E+11	0.574
10	145.89856	2.38679	0.08689	13	14	3.58E+11	1.562
11	145.06906	2.36928	0.09337	30	33	8.29E+11	1.502
12	135.49910	1.43152	0.12018	17	19	5.05E+11	2.522
13	237.39323	2.46374	0.14936	31	35	1.02E+12	0.469
14	236.88803	3.63556	0.09703	46	51	1.38E+12	1.025
15	228.46768	7.63632	0.07799	240	261	7.02E+12	1.415
16	228.89792	6.66797	0.04424	47	49	1.28E+12	0.907
17	159.94368	5.11356	0.06874	74	80	2.11E+12	0.926
18	167.20100	2.46750	0.13438	32	36	9.63E+11	1.475
19	150.55627	3.28079	0.10395	38	42	1.12E+12	1.391
20	142.76328	1.93843	0.11966	17	19	5.01E+11	1.926
21	229.06281	2.85569	0.14118	21	23	7.30E+11	1.383

Continua na próxima página...

Tabela B.1 - Continuação

# SC	$\alpha_{med}(\circ)$	$\delta_{med}(\circ)$	z_{med}	N_{gal}	Riqueza(R)	$L(L/L_{\odot})$	K_1/K_2
22	228.10654	2.90175	0.13393	21	24	6.30E+11	1.312
23	223.04749	4.61429	0.12542	194	219	5.97E+12	1.437
24	209.53555	4.00203	0.13438	206	234	6.28E+12	0.530
25	222.34180	4.75853	0.09495	45	50	1.24E+12	0.725
26	193.61461	4.42829	0.06486	14	14	4.41E+11	1.321
27	188.11794	3.75541	0.09943	24	26	7.49E+11	0.629
28	175.57811	7.34950	0.10290	246	274	7.39E+12	0.851
29	154.81783	7.16139	0.04527	17	17	4.53E+11	1.062
30	139.50523	6.37300	0.05553	20	21	5.49E+11	1.870
31	148.00449	5.20763	0.09116	58	65	1.63E+12	1.142
32	237.60033	3.19140	0.14004	31	34	1.01E+12	0.546
33	235.87769	3.28831	0.12966	33	37	9.76E+11	0.629
34	236.20016	5.52704	0.10716	145	163	4.23E+12	0.574
35	214.68121	3.54504	0.10886	11	12	3.49E+11	1.762
36	221.68118	4.64724	0.08468	21	23	6.04E+11	0.762
37	209.55391	3.89341	0.10500	15	16	5.00E+11	0.729
38	200.02261	3.97102	0.14658	39	44	1.18E+12	0.811
39	216.49625	8.25275	0.05515	28	29	7.84E+11	0.750
40	199.10944	8.28854	0.05035	23	24	6.68E+11	1.182
41	154.82079	3.54559	0.10558	14	15	4.19E+11	0.789
42	141.96970	5.90335	0.07550	25	27	7.13E+11	1.161
43	136.77521	4.25937	0.12347	52	59	1.56E+12	0.593
44	134.45045	3.11149	0.12512	21	23	6.62E+11	1.977
45	136.81490	2.88721	0.13575	14	16	4.25E+11	0.905
46	219.04828	3.69462	0.14651	61	68	1.97E+12	0.608
47	213.76944	3.14546	0.14936	11	12	3.61E+11	1.617
48	221.78889	10.14534	0.05113	20	21	5.80E+11	1.592
49	198.39363	7.28461	0.09365	82	90	2.47E+12	0.510
50	201.22725	5.99404	0.08368	17	18	5.06E+11	0.418
51	186.36806	4.24306	0.12329	22	25	6.43E+11	1.362
52	175.47156	11.72873	0.08300	280	307	8.03E+12	0.551
53	149.30519	6.59706	0.07734	22	23	6.31E+11	1.376
54	132.78381	5.29006	0.09552	53	58	1.59E+12	0.673
55	141.41080	4.41414	0.12681	38	42	1.19E+12	1.190
56	143.31190	3.05233	0.14582	13	15	3.47E+11	0.872
57	130.72787	3.20141	0.14905	15	17	4.81E+11	1.250
58	226.05855	4.81511	0.12317	17	19	5.05E+11	1.291
59	207.04843	5.81978	0.12554	84	95	2.59E+12	0.719
60	237.36397	9.60912	0.07159	54	58	1.58E+12	1.120
61	200.56865	4.68493	0.13361	83	93	2.66E+12	0.682
62	194.82533	4.47641	0.13080	15	17	4.50E+11	4.427
63	167.40997	8.07514	0.07337	31	33	9.08E+11	0.730
64	168.33784	3.83282	0.14238	18	20	5.56E+11	2.883

Continua na próxima página...

Tabela B.1 - Continuação

# SC	$\alpha_{med}(^{\circ})$	$\delta_{med}(^{\circ})$	z_{med}	N_{gal}	Riqueza(R)	$L(L/L_{\odot})$	K_1/K_2
65	135.23955	8.41985	0.06175	19	20	5.62E+11	0.846
66	139.98044	7.25184	0.08014	38	42	1.03E+12	1.549
67	158.58374	3.65811	0.14348	16	18	5.06E+11	0.850
68	222.68999	5.49165	0.11548	11	12	3.44E+11	0.348
69	214.11044	4.98645	0.12567	10	10	3.35E+11	1.456
70	225.92612	8.33070	0.09026	49	55	1.32E+12	1.065
71	218.83597	8.07463	0.08728	30	33	8.30E+11	0.825
72	208.10143	9.74209	0.06590	26	28	7.66E+11	0.789
73	195.25974	5.29579	0.11087	17	19	5.10E+11	1.135
74	203.12054	8.97982	0.07358	25	27	6.38E+11	0.832
75	194.24292	7.18980	0.09223	22	24	6.36E+11	1.623
76	184.27245	5.65955	0.11445	13	14	4.05E+11	1.735
77	160.61000	11.59997	0.05291	13	13	3.77E+11	0.811
78	155.41698	8.09588	0.10734	242	271	7.34E+12	1.640
79	238.34956	6.11334	0.11817	15	17	4.31E+11	1.607
80	239.90602	17.57088	0.04524	32	33	9.03E+11	0.676
81	223.53604	18.06680	0.04456	42	44	1.14E+12	0.987
82	185.39859	6.54817	0.12084	32	36	9.70E+11	0.515
83	182.74950	10.16700	0.06885	17	18	4.93E+11	1.846
84	180.58533	11.04555	0.06192	16	17	4.30E+11	1.641
85	170.63976	6.76678	0.09907	12	13	3.46E+11	1.462
86	155.99875	16.18756	0.04485	18	19	4.59E+11	1.069
87	165.21848	7.86616	0.10609	60	66	1.88E+12	1.079
88	143.10234	9.51961	0.07579	19	20	5.93E+11	1.031
89	152.36073	7.92888	0.09714	21	23	6.18E+11	1.298
90	158.84224	5.84454	0.13953	32	36	1.01E+12	1.071
91	126.67015	7.06713	0.11023	39	44	1.12E+12	1.466
92	132.02354	6.00573	0.12478	18	20	5.26E+11	1.431
93	233.12906	8.49594	0.12710	138	155	4.27E+12	0.704
94	218.52803	5.90936	0.14237	19	21	6.03E+11	0.789
95	234.53232	8.46446	0.09990	20	22	6.00E+11	0.817
96	196.47777	5.88318	0.13958	30	34	9.30E+11	1.297
97	189.60016	6.51262	0.13677	29	33	8.83E+11	0.514
98	184.25772	12.65326	0.06576	36	38	1.01E+12	0.726
99	178.07161	12.12919	0.06879	17	18	4.85E+11	1.548
100	141.08792	8.14577	0.10528	30	34	8.72E+11	1.463
101	221.97359	7.22863	0.14017	51	58	1.54E+12	0.530
102	241.48347	8.53430	0.10261	19	21	5.26E+11	2.738
103	214.19106	6.28264	0.14802	32	37	9.35E+11	1.605
104	207.97232	6.80387	0.14743	57	65	1.77E+12	0.729
105	208.29845	8.71367	0.13350	219	251	6.64E+12	1.650
106	215.89380	17.69780	0.05361	78	83	2.12E+12	0.439
107	195.43507	11.76961	0.08567	91	100	2.61E+12	0.927

Continua na próxima página...

Tabela B.1 - Continuação

# SC	$\alpha_{med}(\circ)$	$\delta_{med}(\circ)$	z_{med}	N_{gal}	Riqueza(R)	$L(L/L_{\odot})$	K_1/K_2
108	167.97536	13.47798	0.06829	29	31	8.70E+11	1.712
109	174.48424	9.97023	0.11582	138	156	4.22E+12	0.808
110	160.88298	11.85689	0.09103	116	128	3.40E+12	1.316
111	151.50417	11.71393	0.07722	41	45	1.08E+12	0.815
112	155.74364	7.62384	0.12042	34	38	1.05E+12	0.544
113	156.01129	6.46761	0.13410	11	12	3.36E+11	1.532
114	147.23976	7.20990	0.12751	28	32	7.86E+11	2.276
115	140.67624	8.02989	0.11146	40	45	1.12E+12	0.389
116	133.79340	8.71163	0.12768	95	108	2.83E+12	1.821
117	132.00946	6.44727	0.14279	25	28	7.74E+11	1.228
118	233.67973	8.23451	0.11786	11	12	3.69E+11	1.446
119	239.07417	10.26704	0.10464	25	27	9.80E+11	1.737
120	236.42520	11.70082	0.09549	56	62	1.60E+12	0.788
121	234.48615	10.91081	0.08679	16	17	4.40E+11	0.755
122	202.38985	8.00994	0.12252	19	21	5.44E+11	0.642
123	216.43138	12.25923	0.07860	11	11	3.57E+11	0.435
124	197.56944	7.34606	0.12725	34	37	1.08E+12	1.024
125	201.20251	11.99057	0.09115	64	70	1.89E+12	0.506
126	188.89661	7.67223	0.13221	18	20	6.42E+11	2.755
127	186.74826	7.85843	0.12778	15	16	5.10E+11	0.795
128	181.38362	10.22483	0.09448	21	23	6.77E+11	1.251
129	178.70314	9.89286	0.10265	25	27	8.43E+11	0.597
130	155.86540	10.32333	0.09833	20	21	6.42E+11	1.172
131	135.57317	8.15705	0.11894	32	35	9.94E+11	2.204
132	128.57652	8.96134	0.11343	30	33	8.88E+11	0.963
133	223.77046	9.29595	0.11861	43	47	1.37E+12	0.659
134	214.63063	8.31873	0.14142	59	68	1.76E+12	0.465
135	203.63306	7.52013	0.13683	13	14	4.29E+11	0.986
136	202.60979	13.29421	0.07862	25	27	7.09E+11	0.755
137	209.75739	24.98920	0.06413	207	222	5.85E+12	0.584
138	189.18929	9.36396	0.11491	27	30	8.56E+11	0.623
139	175.81950	15.91151	0.06878	44	47	1.23E+12	0.914
140	172.93524	7.62782	0.13424	36	41	1.06E+12	0.759
141	164.25688	8.66044	0.12414	23	26	6.40E+11	1.653
142	130.47116	7.49046	0.13442	19	21	5.54E+11	1.595
143	206.42645	9.07769	0.12242	17	19	5.24E+11	1.129
144	227.98224	18.03544	0.07395	50	54	1.50E+12	0.494
145	205.24719	11.70405	0.09416	40	44	1.15E+12	2.051
146	224.39592	20.02379	0.06192	68	73	1.90E+12	0.676
147	197.76221	11.23635	0.10217	11	12	3.49E+11	0.400
148	187.31424	10.18245	0.10540	14	15	4.55E+11	1.028
149	189.67253	17.25706	0.07130	85	92	2.37E+12	0.699
150	183.24829	8.26628	0.12960	14	16	3.79E+11	1.334

Continua na próxima página...

Tabela B.1 - Continuação

# SC	$\alpha_{med}(^{\circ})$	$\delta_{med}(^{\circ})$	z_{med}	N_{gal}	Riqueza(R)	$L(L/L_{\odot})$	K_1/K_2
151	181.86926	10.66770	0.11416	29	32	8.92E+11	1.429
152	164.67650	11.71386	0.09362	17	18	5.07E+11	0.892
153	151.81328	16.59651	0.07086	32	34	9.81E+11	0.475
154	154.36900	14.35328	0.08262	46	50	1.35E+12	1.219
155	161.22429	9.20075	0.12467	18	19	6.03E+11	1.373
156	148.13127	14.57506	0.07668	16	17	4.69E+11	0.457
157	141.38721	13.47587	0.07979	19	21	4.60E+11	1.379
158	153.96829	9.33155	0.11746	15	16	4.55E+11	2.044
159	149.43892	9.79320	0.11537	14	15	4.14E+11	1.520
160	124.22673	11.84282	0.09999	29	32	8.84E+11	0.506
161	217.97501	10.19011	0.12240	28	31	8.60E+11	0.592
162	210.17661	9.97745	0.12178	30	33	9.06E+11	1.408
163	229.76411	14.52212	0.08235	20	22	5.42E+11	1.756
164	213.07307	11.89517	0.11274	30	32	1.01E+12	4.040
165	222.62810	18.07236	0.07050	32	34	9.31E+11	0.572
166	195.73325	19.05314	0.06453	59	63	1.64E+12	1.259
167	176.44308	9.56900	0.12473	15	16	4.68E+11	1.887
168	163.67928	8.33064	0.14807	13	15	3.79E+11	4.972
169	137.00217	15.93513	0.07357	24	26	6.66E+11	1.296
170	133.34439	10.19979	0.11271	14	15	4.77E+11	1.213
171	143.34111	8.05677	0.14561	11	12	3.56E+11	2.296
172	139.32298	8.63605	0.14133	16	18	4.79E+11	1.157
173	129.38490	9.17716	0.13146	24	27	9.28E+11	0.843
174	132.60237	8.28725	0.14825	12	14	3.43E+11	0.655
175	231.88933	10.23421	0.13294	28	31	9.35E+11	1.460
176	208.48175	23.13351	0.05574	21	22	5.83E+11	0.806
177	190.66531	11.15632	0.11763	18	20	5.20E+11	1.319
178	187.62683	10.00646	0.13006	19	21	5.80E+11	1.676
179	168.83655	28.93724	0.04705	27	28	7.16E+11	1.047
180	171.66283	8.76613	0.14906	18	20	6.05E+11	1.291
181	164.73294	11.99312	0.12978	283	321	8.85E+12	1.455
182	158.29507	10.84625	0.11480	19	21	5.68E+11	1.753
183	157.08374	11.28836	0.11796	22	24	6.83E+11	0.728
184	156.00549	10.28233	0.12512	21	23	6.44E+11	1.251
185	138.88333	12.81476	0.09960	18	20	5.33E+11	0.955
186	128.95561	11.22669	0.11765	23	25	7.16E+11	0.578
187	234.94017	12.28181	0.11161	24	27	7.06E+11	0.796
188	238.37532	12.99298	0.10670	18	20	5.39E+11	1.548
189	224.28314	11.97555	0.12550	101	116	2.99E+12	0.576
190	218.18654	11.53696	0.11657	14	15	4.30E+11	0.955
191	233.51283	14.51635	0.09096	16	17	4.84E+11	1.351
192	244.29178	16.80891	0.08248	20	22	5.40E+11	0.599
193	208.33775	19.28510	0.07250	25	27	7.22E+11	1.361

Continua na próxima página...

Tabela B.1 - Continuação

# SC	$\alpha_{med}(\circ)$	$\delta_{med}(\circ)$	z_{med}	N_{gal}	Riqueza(R)	$L(L/L_{\odot})$	K_1/K_2
194	192.32742	10.94071	0.12533	26	28	8.48E+11	1.020
195	199.70479	16.31174	0.08499	27	29	7.97E+11	0.662
196	195.24812	17.42352	0.07948	24	26	6.41E+11	0.874
197	187.17766	11.48439	0.11692	17	19	4.93E+11	1.363
198	185.82420	20.37847	0.06470	15	16	4.44E+11	0.372
199	181.35997	20.47671	0.06696	18	18	5.76E+11	0.679
200	178.09837	14.42379	0.11512	109	123	3.24E+12	1.560