

Publicação Especial

Nº 11
2002

**Análise Dinâmica dos Aglomerados e Superaglomerados
De Galáxias da Região de Aquarius**

César Augusto Caretta

Tese de: Doutorado
Rio de Janeiro, Março de 20027

CNPq
OBSERVATÓRIO NACIONAL
Coordenação de Informação e Documentação
Rua General José Cristino, 77
São Cristovão
20.921-030 Rio de Janeiro-RJ
BRASIL
Tel.: (021) 585-3215 R: 285
Fax: (021) 589-3959

Publicação Especial

Nº 11
2002

**Análise Dinâmica dos Aglomerados e Superaglomerados
De Galáxias da Região de Aquarius**

César Augusto Caretta

Tese de: Doutorado

Rio de Janeiro, Março de 20027

CNPq

OBSERVATÓRIO NACIONAL

Coordenação de Informação e Documentação

Rua General José Cristino, 77

São Cristovão

20.921-030 Rio de Janeiro-RJ

BRASIL

Tel.: (021) 585-3215 R: 285

Fax: (021) 589-3959

Ministério de Ciência e Tecnologia

Observatório Nacional

**ANÁLISE DINÂMICA DOS
AGLOMERADOS E SUPERAGLOMERADOS
DE GALÁXIAS
DA REGIÃO DE AQUARIUS**

TESE SUBMETIDA POR

César Augusto Caretta

COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

DOUTOR EM ASTRONOMIA

SOB A ORIENTAÇÃO DO

Dr. Marcio Antonio Geimba Maia

Março de 2002

À Elcia

Agradecimentos

- ★ Agradeço inicialmente a Márcio Maia, pela colaboração científica nesses 10 anos e pela dedicada, determinada, paciente e incentivadora orientação.
- ★ A Christopher Willmer também pela freqüente colaboração e pela não menos reiterada co-orientação.
- ★ A Cláudia M. de Oliveira, Laerte Sodré Junior, Hugo V. Capelato, Paulo S.S. Pellegrini e Eduardo Telles por terem aceitado o convite e participado da banca que avaliou a presente tese, pelas significativas discussões e relevantes sugestões.
- ★ Também a Paulo Pellegrini e a Diego Lambas pelas produtivas discussões e sugestões no decorrer do trabalho.
- ★ A Guido Pizzaro pela obtenção dos filmes fotográficos no telescópio Schmidt do ESO; a Mike Irwin pelas digitalizações com a máquina APM; a Wataru Kawasaki pela análise com o algoritmo de filtros combinados; ao *NASA Extragalactic Database* (NED) e ao *Anglo-Australian Observatory* pelo fornecimento de parte dos dados utilizados.
- ★ Às equipes técnicas e de apoio dos observatórios nos quais foram realizadas as observações: Observatório do Pico dos Dias, *European Southern Observatory* e *Complejo Astronómico El Leoncito*.
- ★ À CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou a realização do presente trabalho.
- ★ À DPGA pelos auxílios para a realização de missões de observação e participação em reuniões e congressos.
- ★ Ao pessoal que deu suporte técnico e computacional: Aluizio, Charles Rité, Marcos Nunes, Francisco Loureiro, Ricardo, Luzia, Otavio, e às secretárias Iara, Vera, Ângela, Sílvia e Nilda. Ao pessoal da segurança do Observatório que tantas vezes abriram os portões de madrugada e nos finais de semana. À Katia, à Maria Luiza e todo o pessoal da biblioteca e gráfica. Ao Sr. Hélio pela presteza e confiança.
- ★ Aos amigos de tempos e da pós-graduação do ON, à Simone, ao Jaime, à Thais, ao Jorge e ao Marcelo, pela amizade, o apoio, e todos os bons momentos; ao Eduardo Peloso, ao Dario, ao Paulo Afrânio, ao Jeferson, à Flavia, ao Eugênio, à Carol, à Tatiana,

à Flaviana, ao Dourival, à Bia, à Leda, e tantos outros que conviveram comigo no dia-a-dia deste trabalho, pelo companheirismo e pelos descontraídos bate-papos que ajudaram impedir o estresse nesses 7 anos.

- ★ Aos amigos que já passaram por esta pós-graduação, Luciana Pompeia, Luciana Rios, Glenda, Verônica, Tatau, Mariana e Jorge Albuquerque, mas continuam presentes na minha vida. Aos amigos Jorge Marcelino, Gianlorenzo, Hélio Jacques, Jônatas, Reinaldo Rosa, Gabriel, Ogando, Rodolfo, José Ignacio e Elon.
- ★ Aos amigos de fora do ON que também torceram e incentivaram a realização deste trabalho, Flavia Pedroza, Manoela e Tiago, Manoel e Rita, Sione, Caio e Da. Aida. À Cristiane e ao Marcelo pelas prazerosas aulas de dança.
- ★ A minha mãe, Maria, e minha irmã, Suzy, pelo eterno apoio e carinho. Ao Roney, à Vânia, ao Alan e à Luzia.
- ★ Em especial a meu pai, Olival, *in memoriam*.

Índice

1	Introdução	1
2	Dados Observacionais	9
2.1	Fotometria (Fotográfica e CCD)	9
2.1.1	Dados UKST/COSMOS (b_J)	9
2.1.2	Dados ESO Schmidt/APM (R)	11
2.1.3	Combinação dos Catálogos	14
2.1.4	Astrometria	16
2.2	Espectroscopia	18
2.2.1	Seleção de Galáxias para Observação Espectroscópica	19
2.2.2	Observações em CASLEO, LNA e ESO	20
2.2.3	Redução dos Espectros e Obtenção das Velocidades Radiais	22
2.2.4	Estimativa de Erros e Confiabilidade das Velocidades	24
2.2.5	O Catálogo AqrZ	26
2.3	Resumo do Capítulo	28
3	Identificação de Aglomerados de Galáxias	29
3.1	Catálogos de Aglomerados da Literatura	30
3.1.1	Catálogos Abell e ACO	30
3.1.2	Catálogo EDCC	32
3.1.3	Catálogo APM	34
3.1.4	Aglomerados com Emissão em Raios-X	34
3.2	Aplicação do Método de Filtros Combinados	35
3.2.1	Descrição e Parâmetros Iniciais	35
3.2.2	Identificações nas Bandas b_J e R	37
3.3	Aplicação do Método de Contagens em Células	39

3.4	Avaliação das Detecções de Aglomerados/Grupos	41
3.5	O Catálogo de Aglomerações de Aquarius	42
3.6	Resumo do Capítulo	42
4	Propriedades dos Aglomerados	49
4.1	Localização dos Sistemas de Galáxias no Espaço	49
4.1.1	Determinação Preliminar do Centro e <i>Redshift</i> Médio	49
4.1.2	Identificação de Concentrações no “Espaço de <i>Redshifts</i> ”	54
4.1.3	Fração de Galáxias-membros	56
4.1.4	Estimativa de Contaminação do Catálogo de Candidatos de Aquarius	57
4.2	Propriedades Cinemáticas e Dinâmicas	60
4.2.1	Determinação Robusta de Centro e Escala para a Distribuição de Velocidades Radiais dos Sistemas de Galáxias	61
4.2.2	Raios Viriais e Raios Harmônicos	66
4.2.3	Massas dos Aglomerados	71
4.3	Perfis de Densidade Radial Projetada	74
4.3.1	Ajuste dos Perfis	76
4.4	Resultados	77
4.4.1	Contornos de Isodensidades	79
4.4.2	Perfis Radiais	80
4.5	Resumo do Capítulo	81
5	Análise dos Superaglomerados	83
5.1	Distribuição Espacial dos Aglomerados e Grupos	83
5.1.1	Diagramas em Cunha	83
5.1.2	O Método de Percolação	84
5.1.3	Aplicação aos Dados de Aquarius	88
5.1.4	Resultados para a Região de $10.4^\circ \times 6.4^\circ$	91
5.1.5	Resultados para a Região de $22^\circ \times 22^\circ$	93
5.2	Análise dos Superaglomerados <i>Aquarius-1</i> e <i>Aquarius-2</i>	100
5.2.1	Distribuição de Galáxias	100
5.2.2	Estimativas de Massa dos Superaglomerados	102
5.2.3	Estado Dinâmico dos Superaglomerados	107

5.3	Comparação dos Parâmetros dos SA de Aquarius com os Parâmetros de Outros Superaglomerados	111
5.4	Resumo do Capítulo	113
6	Conclusões e Perspectivas	117
A	Avaliação dos Catálogos COSMOS e APM	119
B	Os Superaglomerados de Aquarius I	133
C	Imagens e Gráficos dos Aglomerados	151
	Referências Bibliográficas	279

Abstract

From photometric data in b_J and R bands, obtained from plates and films digitized respectively with COSMOS and APM machines, we have carried out a study on the surface distribution of galaxies in a region of $10^\circ \times 6^\circ$ in the Aquarius constellation that presents a great concentration of galaxy clusters according to the catalogs of such objects in the literature. From the application of counts-in-cells and matched-filters techniques, supplementing the identifications on the catalogs from the literature, we have constructed a list of 102 cluster candidates for the region. With spectroscopic observations of galaxy samples, selected in the highest density regions of the 102 candidates, we were able to detect 107 galaxy systems, clusters and groups, in the redshift space. A deeper analysis for most of these systems, specially those with more chance of being rich clusters, made possible the determination of structural and dynamical parameters, as well as the conclusion that 40 to 50% of the systems have substructures and also that 15% are subject to significant superposition effects. By applying a percolation algorithm to the spatial distribution of clusters and groups, as well as to the clusters available from the literature for a larger region ($22^\circ \times 22^\circ$) centered in Aquarius, we have found 2 very rich superclusters of galaxies, at $z \sim 0.086$ and $z \sim 0.112$, dubbed Aquarius-1 and Aquarius-2, respectively with 9 and 14 clusters. We also found a filament between $0.12 < z < 0.15$, that may be connected to the second supercluster, and also some potential superclusters at $z \sim 0.15, 0.17, 0.20$ e 0.21 . The Aquarius-1 supercluster seems to be part of a larger structure, that extends north-westwards, with a PA $\sim 120^\circ$, made of 20 clusters. The part of that structure in the studied region presents an overdensity of 85 times the mean one, a Virial mass of $1.1 \times 10^{16} h^{-1} M_\odot$, an harmonic radius of $12.5 h^{-1}$ Mpc, and contains two cores, each one with at least two bounded clusters. The Aquarius-2 supercluster, on the other hand, seems to be restricted to the studied region and presents a flat shape, almost perpendicular to the line of sight (similar to the nearby Pisces-Perseus supercluster). Its estimated Virial mass is $2.5 \times 10^{16} h^{-1} M_\odot$, its harmonic radius is $17 h^{-1}$ Mpc, and it also has two main cores, each one with 4 bounded clusters and/or groups. The two superclusters comprise distinct structures, contrary to the previously claimed single filament of $110 h^{-1}$ Mpc. Their virialization times are about $2.5\tau_H$ and they may be in the process of dynamic collapse.

Resumo

A partir de dados fotométricos nas bandas b_J e R , obtidos de placas e filmes fotográficos digitalizados respectivamente com as máquinas COSMOS e APM, realizamos um estudo da distribuição superficial das galáxias numa região de $10^\circ \times 6^\circ$ da constelação de Aquarius que apresenta uma grande concentração de aglomerados de galáxias de acordo com os catálogos desses objetos da literatura. A partir da aplicação dos métodos de contagens-em-células e filtros combinados, além das identificações dos catálogos da literatura, construímos uma lista de 102 candidatos a aglomerados para a região. Com a observação espectroscópica de amostras de galáxias, selecionadas nas regiões de maior densidade internas a 72 desses candidatos, conseguimos detectar 107 sistemas de galáxias, aglomerados e grupos, no espaço de *redshifts*. Uma análise mais profunda da maior parte desses sistemas, especialmente dos com mais chance de serem aglomerados ricos, possibilitou a determinação de parâmetros estruturais e dinâmicos, bem como a conclusão de que 40 a 50% dos casos possuem subestruturas e outros 15% estão sujeitos a efeitos significativos de superposição. Aplicando um algoritmo de percolação à distribuição espacial dos aglomerados e grupos, bem como aos dados disponíveis na literatura para os aglomerados numa região maior de $22^\circ \times 22^\circ$ centrada em Aquarius, encontramos 2 superaglomerados de galáxias muito ricos na região, em $z \sim 0.086$ e $z \sim 0.112$, codenominados respectivamente de *Aquarius-1* e *Aquarius-2*, respectivamente com 9 e 14 aglomerados. Encontramos também um filamento entre $0.12 < z < 0.15$, que pode estar ligado ao segundo superaglomerado, e ainda alguns potenciais superaglomerados em $z \sim 0.15, 0.17, 0.20$ e 0.21 . O superaglomerado *Aquarius-1* parece fazer parte de uma estrutura maior, que se estende para noroeste, com um AP $\sim 120^\circ$, constituída de 20 aglomerados. A parte dessa estrutura na região estudada apresenta uma sobredensidade de 85 em relação à densidade média, uma massa Virial de $1.1 \times 10^{16} h^{-1} M_\odot$ e um raio harmônico de $12.5 h^{-1}$ Mpc, além de conter dois núcleos, cada um com pelo menos dois aglomerados ligados. O superaglomerado *Aquarius-2*, por outro lado, parece se restringir à região estudada e apresenta uma forma plana praticamente perpendicular à linha de visada (similar ao superaglomerado mais próximo de Pisces-Perseus) e um contraste de densidade 125 vezes acima da média. Sua massa Virial estimada é de $2.5 \times 10^{16} h^{-1} M_\odot$ e seu raio harmônico de $17 h^{-1}$ Mpc, e ele também contém dois núcleos principais, cada um com 4 aglomerados e/ou grupos ligados. Os dois SA constituem estruturas distintas, ao contrário da proposta anteriormente sugerida de que constituiriam um filamento único de $110 h^{-1}$ Mpc. Seus tempos de virialização são da ordem de $2.5\tau_H$ e podem estar em processo de colapso dinâmico.

Lista de Tabelas

2.1	Catálogos Fotométricos Utilizados Neste Trabalho	10
2.2	Filmes Fotográficos ESO Schmidt (Banda <i>R</i>)	12
2.3	Galáxias com magnitudes CCD utilizadas na calibração dos dados fotográficos ESO/APM	13
2.4	Configurações instrumentais utilizadas (detectores)	21
2.5	Missões espectroscópicas do Levantamento de Aquarius	22
2.6	Galáxias Padrões de Velocidades Radiais	26
3.1	Deteccões de Aglomerados de Aquarius na Faixa de Raios-X	36
3.2	Porcentagens de deteccões cruzadas	41
3.3	Candidatos a Aglomerados e Grupos Identificados na Região de Aquarius	44
3.3	Continuação	45
3.3	Continuação	46
4.1	Comparação das Coordenadas (J2000.0) para os Aglomerados com Emissão em Raios-X	51
4.2	Sistemas de Galáxias Identificados nos 69 "Cones Observacionais"	58
4.2	Continuação	59
4.2	Continuação	60
4.3	Estimativas Robustas de Centro e Escala para os Sistemas de Galáxias de Aquarius	63
4.3	Continuação	64
4.4	Parâmetros Dinâmicos dos Aglomerados de Aquarius	73
4.4	Continuação	74
4.5	Parâmetros Dinâmicos de alguns Grupos de Aquarius	75
5.1	Resultados da Análise de Percolação Aplicada aos Aglomerados e Grupos de Aquarius	92
5.2	Resultados da Análise de Percolação Aplicada aos Aglomerados na Região de $22^{\circ} \times 22^{\circ}$	96
5.3	Galáxias em Aglomerados e Galáxias Dispersas nos SA estudados	101
5.4	Estimativas de Massas Viriais dos SA Estudados	108

5.5	Comparação dos Parâmetros dos SA já Submetidos a Estudo	112
-----	---	-----

Lista de Figuras

2.1	Distribuição das magnitudes b_J	11
2.2	Calibração dos dados R	14
2.3	Distribuição das magnitudes R	15
2.4	Distribuição de cores para Aquarius	17
2.5	Incertezas nas posições das galáxias	18
2.6	Erros internos nas velocidades e parâmetro R	25
2.7	Distribuição das velocidades obtidas	27
3.1	Distribuição dos aglomerados Abell/ACO	33
3.2	Mapa de "riquezas" pelo método de filtros combinados	38
3.3	Avaliação dos valores estimados de C_{MF} e z_{MF}	40
3.4	Mapas de contornos de isodensidades	47
3.5	Distribuição dos 102 candidatos a aglomerados	48
4.1	Avaliação das determinações de centro dos aglomerados	53
4.2	Diagrama de barras para os aglomerados observados	55
4.3	Determinações de centro e escala	62
4.4	Velocidades <i>versus</i> dispersões de velocidades	65
4.5	Histogramas dos parâmetros <i>skewness</i> e <i>kurtosis</i>	65
4.6	Distribuição das dispersões de velocidades	67
4.7	Comparação com as dispersões de velocidade da literatura	68
4.8	Comparação dos raios harmônicos medidos e calculados	70
4.9	Comparação dos raios harmônicos em R_V e $1 h_{75}^{-1}$ Mpc	71
4.10	Distribuição das massas dos sistemas	76
5.1	Diagrama em cunha dos sistemas de Aquarius	85
5.2	Histograma de z 's para aglomerados e grupos	86

5.3	Diagrama em cunha para os sistemas entre $0.075 < z < 0.1$	87
5.4	Diagrama em cunha para os sistemas entre $0.1 < z < 0.12$	88
5.5	Diagrama em cunha para os sistemas entre $0.12 < z < 0.16$	89
5.6	Diagrama em cunha para os sistemas entre $0.16 < z < 0.24$	90
5.7	Superaglomerados na região de $10.4^\circ \times 6.4^\circ$	94
5.8	Distribuição de aglomerados na região de $22^\circ \times 22^\circ$	95
5.9	Superaglomerados na região de $22^\circ \times 22^\circ$	98
5.10	Estrutura filamentar do SA 205	99
5.11	Diagrama em cunha das galáxias entre $0.075 < z < 0.1$	102
5.12	Diagrama em cunha das galáxias entre $0.1 < z < 0.12$	103
5.13	Diagrama em cunha das galáxias entre $0.12 < z < 0.16$	104
5.14	Histogramas dos parâmetros das galáxias do SA <i>Aquarius-1</i>	105
5.15	Histogramas dos parâmetros das galáxias do SA <i>Aquarius-2</i>	106
5.16	Histogramas dos parâmetros das galáxias do filamento	107
C.1	AqrCC 002 — DSS $10.7' \times 10.7'$	153
C.2	AqrCC 002 — gráficos	154
C.3	AqrCC 004 — DSS $14.1' \times 14.1'$	155
C.4	AqrCC 004 — gráficos	156
C.5	AqrCC 005 — DSS $17.8' \times 17.8'$	157
C.6	AqrCC 005 — gráficos	158
C.7	AqrCC 009-A — DSS $16.0' \times 16.0'$	159
C.8	AqrCC 009-A — gráficos	160
C.9	AqrCC 010 — DSS $15.8' \times 15.8'$	161
C.10	AqrCC 010 — gráficos	162
C.11	AqrCC 012 — DSS $11.7' \times 11.7'$	163
C.12	AqrCC 012 — gráficos	164
C.13	AqrCC 014 — DSS $13.8' \times 13.8'$	165
C.14	AqrCC 014 — gráficos	166
C.15	AqrCC 015 — DSS $21.2' \times 21.2'$	167
C.16	AqrCC 015 — gráficos	168
C.17	AqrCC 016 — DSS $13.2' \times 13.2'$	169
C.18	AqrCC 016 — gráficos	170

C.19 AqrCC 017 — DSS 11.8' × 11.8'	171
C.20 AqrCC 017 — gráficos	172
C.21 AqrCC 018 — DSS 12.0' × 12.0'	173
C.22 AqrCC 018 — gráficos	174
C.23 AqrCC 020 — DSS 23.9' × 23.9'	175
C.24 AqrCC 020 — gráficos	176
C.25 AqrCC 023 — DSS 16.5' × 16.5'	177
C.26 AqrCC 023 — gráficos	178
C.27 AqrCC 024 — DSS 18.6' × 18.6'	179
C.28 AqrCC 024 — gráficos	180
C.29 AqrCC 025 — DSS 18.3' × 18.3'	181
C.30 AqrCC 025 — gráficos	182
C.31 AqrCC 026 — DSS 13.4' × 13.4'	183
C.32 AqrCC 026 — gráficos	184
C.33 AqrCC 028 — DSS 18.4' × 18.4'	185
C.34 AqrCC 028 — gráficos	186
C.35 AqrCC 029 — DSS 14.5' × 14.5'	187
C.36 AqrCC 029 — gráficos	188
C.37 AqrCC 031 — DSS 18.7' × 18.7'	189
C.38 AqrCC 031 — gráficos	190
C.39 AqrCC 033 — DSS 17.2' × 17.2'	191
C.40 AqrCC 033 — gráficos	192
C.41 AqrCC 035 — DSS 18.7' × 18.7'	193
C.42 AqrCC 035 — gráficos	194
C.43 AqrCC 036 — DSS 14.8' × 14.8'	195
C.44 AqrCC 036 — gráficos	196
C.45 AqrCC 037 — DSS 18.7' × 18.7'	197
C.46 AqrCC 037 — gráficos	198
C.47 AqrCC 038 — DSS 22.9' × 22.9'	199
C.48 AqrCC 038 — gráficos	200
C.49 AqrCC 039 — DSS 18.7' × 18.7'	201
C.50 AqrCC 039 — gráficos	202
C.51 AqrCC 041-A — DSS 23.9' × 23.9'	203

C.52 AqrCC 041-A — gráficos	204
C.53 AqrCC 041-B — DSS 16.6' × 16.6'	205
C.54 AqrCC 041-B — gráficos	206
C.55 AqrCC 042 — DSS 18.9' × 18.9'	207
C.56 AqrCC 042 — gráficos	208
C.57 AqrCC 044 — DSS 24.0' × 24.0'	209
C.58 AqrCC 044 — gráficos	210
C.59 AqrCC 046 — DSS 15.5' × 15.5'	211
C.60 AqrCC 046 — gráficos	212
C.61 AqrCC 047 — DSS 15.0' × 15.0'	213
C.62 AqrCC 047 — gráficos	214
C.63 AqrCC 051 — DSS 12.4' × 12.4'	215
C.64 AqrCC 051 — gráficos	216
C.65 AqrCC 052 — DSS 14.9' × 14.9'	217
C.66 AqrCC 052 — gráficos	218
C.67 AqrCC 055 — DSS 16.9' × 16.9'	219
C.68 AqrCC 055 — gráficos	220
C.69 AqrCC 057 — DSS 18.6' × 18.6'	221
C.70 AqrCC 057 — gráficos	222
C.71 AqrCC 059 — DSS 14.8' × 14.8'	223
C.72 AqrCC 059 — gráficos	224
C.73 AqrCC 061 — DSS 22.4' × 22.4'	225
C.74 AqrCC 061 — gráficos	226
C.75 AqrCC 063 — DSS 18.2' × 18.2'	227
C.76 AqrCC 063 — gráficos	228
C.77 AqrCC 065 — DSS 15.1' × 15.1'	229
C.78 AqrCC 065 — gráficos	230
C.79 AqrCC 066 — DSS 11.2' × 11.2'	231
C.80 AqrCC 066 — gráficos	232
C.81 AqrCC 067 — DSS 17.2' × 17.2'	233
C.82 AqrCC 067 — gráficos	234
C.83 AqrCC 068 — DSS 11.2' × 11.2'	235
C.84 AqrCC 068 — gráficos	236

C.85 AqrCC 069 — DSS 12.8' × 12.8'	237
C.86 AqrCC 069 — gráficos	238
C.87 AqrCC 070 — DSS 22.4' × 22.4'	239
C.88 AqrCC 070 — gráficos	240
C.89 AqrCC 071 — DSS 17.2' × 17.2'	241
C.90 AqrCC 071 — gráficos	242
C.91 AqrCC 073 — DSS 18.6' × 18.6'	243
C.92 AqrCC 073 — gráficos	244
C.93 AqrCC 074-A — DSS 22.1' × 22.1'	245
C.94 AqrCC 074-A — gráficos	246
C.95 AqrCC 074-B — DSS 16.8' × 16.8'	247
C.96 AqrCC 074-B — gráficos	248
C.97 AqrCC 075 — DSS 17.4' × 17.4'	249
C.98 AqrCC 075 — gráficos	250
C.99 AqrCC 076-A1 — DSS 11.3' × 11.3'	251
C.100AqrCC 076-A1 — gráficos	252
C.101AqrCC 076-A2 — DSS 11.3' × 11.3'	253
C.102AqrCC 076-A2 — gráficos	254
C.103AqrCC 077 — DSS 11.4' × 11.4'	255
C.104AqrCC 077 — gráficos	256
C.105AqrCC 078 — DSS 18.4' × 18.4'	257
C.106AqrCC 078 — gráficos	258
C.107AqrCC 080 — DSS 11.4' × 11.4'	259
C.108AqrCC 080 — gráficos	260
C.109AqrCC 081-A — DSS 18.5' × 18.5'	261
C.110AqrCC 081-A — gráficos	262
C.111AqrCC 082 — DSS 15.2' × 15.2'	263
C.112AqrCC 082 — gráficos	264
C.113AqrCC 085 — DSS 14.2' × 14.2'	265
C.114AqrCC 085 — gráficos	266
C.115AqrCC 088 — DSS 14.7' × 14.7'	267
C.116AqrCC 088 — gráficos	268
C.117AqrCC 091 — DSS 18.4' × 18.4'	269

C.118AqrCC 091 — gráficos	270
C.119AqrCC 094 — DSS 9.5' × 9.5'	271
C.120AqrCC 094 — gráficos	272
C.121AqrCC 099 — DSS 12.5' × 12.5'	273
C.122AqrCC 099 — gráficos	274
C.123AqrCC 101 — DSS 11.6' × 11.6'	275
C.124AqrCC 101 — gráficos	276

Capítulo 1

Introdução

É notório que o século XX foi testemunha de avanços científicos e tecnológicos maiores que os alcançados em toda a história da humanidade. Também é patente que entre as maiores conquistas intelectuais desse século estão aquelas que contribuíram diretamente para o nosso entendimento atual das maiores e mais intrigantes questões que o homem já se deparou — as questões sobre a origem e a evolução do Universo. Ainda estamos distantes de resolvê-las completamente, mas o salto dado nesse século foi gigantesco. Depois das teorias da Relatividade (Einstein, 1905, 1916) e Quântica (e.g., Planck, 1900; De Broglie, 1926) e, pela parte observacional, da solução do “Grande Debate” — embate entre H.D. Curtis e H. Shapley, em 1920, sobre a escala do Universo e a natureza das nebulosas (Hubble, 1922, 1936, veja também Trimble, 1995) — e da descoberta da expansão do Universo (Hubble, 1929; Hubble & Humason, 1931), o homem pode começar não só a filosofar, mas a propor modelos fisicamente embasados para descrever o Universo como um todo.

Proposto originalmente por Gamow (1948), o modelo baseado na expansão e num início quente, conhecido como *Modelo do Big Bang*, se mostrou forte e coerente o bastante para terminar o século como o modelo cosmológico padrão (e.g., Peebles et al., 1991). Além das evidências observacionais da expansão, duas outras contrapartidas observacionais fizeram o sucesso dessa teoria: a descoberta da radiação cósmica de fundo (RCF; Penzias & Wilson, 1965) e o padrão de abundância dos elementos leves D, ^3He , ^4He e ^7Li produzidos na nucleossíntese primordial, segundos depois do “Big Bang”. O Modelo do Big Bang descreve a evolução do Universo como um todo desde uma fração de segundo depois do início (10^{-43}s) até o presente e ainda seguindo para o futuro (na verdade, é um modelo do “depois do Big Bang”!). Um dos pontos interessantes foi que para montar esse modelo de evolução foi

necessário unir a “física do micro” (Física de Partículas) à “física do macro” (Astrofísica Extragaláctica). Mas sozinho ele não é capaz de explicar outras questões fundamentais como sobre a origem e evolução das estruturas que observamos no Universo hoje.

Outros dois modelos contemplam essas questões: o modelo da *Inflação* (Guth, 1981) e o modelo da *Matéria Escura Fria* (e.g., Peebles & Dicke, 1968). O primeiro deles prevê que as estruturas se formaram a partir de flutuações quânticas, em escalas subatômicas, na sopa primordial de matéria/energia, levadas a escalas Astrofísicas por um crescimento extraordinariamente rápido do Universo em 10^{-32} s depois do início, o denominado “Período de Inflação”. A partir do desacoplamento entre a matéria e a radiação essas perturbações teriam crescido por mecanismos de instabilidade gravitacional. A existência do Período de Inflação implica que todo o Universo observável hoje surgiu de uma pequeno “pedaço” do Universo primordial. Como consequência, o Universo em grande escala deve ser suave (homogêneo) e ainda, de curvatura nula (plano) — a densidade de matéria/energia do Universo deve ser igual ao valor crítico, $3H_0^2/8\pi G$. Essas questões da homogeneidade e isotropia (requisitos básicos do Princípio Cosmológico), geometria plana, origem das perturbações de densidade e ainda, a supressão de “reliquias” indesejáveis (porque contradizem as observações), como monopolos magnéticos, partículas supersimétricas, etc, foram por muito tempo “pedras nos sapatos” dos cosmologistas, até o surgimento do Modelo da Inflação. Vários experimentos realizados na última década parecem confirmar as expectativas dessa teoria. Entre eles destacam-se os experimentos em satélites e balões que mediram as pequenas variações de temperatura na RCF ao longo do céu (menores que uma parte em 10^4), a começar pelo famoso mapeamento em microondas do satélite COBE (Smoot et al., 1992). Como a RCF foi produzida em torno de 300 mil anos depois do início, quando a matéria passou a dominar a evolução, ela carrega marcas do estado das flutuações primordiais nessa ocasião, impressas nessas variações de temperatura. Tais observações sugerem um máximo de diferenças de temperatura em escalas da ordem de 1° (e.g., Tegmark & Zaldarriaga, 2000), compatíveis com o esperado por modelos com $\Omega_0 = 1$. O padrão de pontos quentes e frios na RCF também sugere, de forma menos conclusiva, que as perturbações iniciais eram Gaussianas e seu espectro aproximadamente invariante com a escala ($n = 1$), algo também previsto pelo Modelo da Inflação.

Diversas outras observações, entre elas a da abundância de D (Burles & Tytler, 1998a,b), que é bastante sensível a densidade da matéria bariônica, e os vários estudos dinâmicos e da emissão em raios-X de aglomerados de galáxias, sugerem que a densidade atual de matéria no Universo equivale a 20-40% da densidade crítica, enquanto a da matéria bariônica equivale

a apenas em torno de 5%. Esses resultados implicam duas surpreendentes constatações: a maior parte da matéria que conduz a evolução das estruturas no Universo não é matéria ordinária, mas sim a matéria denominada “escura”, pela impossibilidade de sua observação direta (Zwicky, 1937). A outra é que, além dessa matéria escura, outros 60-80% da densidade de matéria/energia do Universo devem ser compostos por algo ainda mais exótico, atualmente denominado “energia do vácuo”, associado à constante cosmológica (Λ), originalmente introduzida por Einstein. O interessante dessa energia do vácuo é que ela não contribui para agregação da matéria e, como ela é dominante em termos de quantidade, ela age como um “acelerador” da expansão. Essa aceleração da expansão foi recentemente observada (Riess et al., 1998; Perlmutter et al., 1999) com o estudo da relação entre as distâncias e velocidades radiais de galáxias até $z \sim 0.8$ utilizando supernovas (SN Ia). Galáxias cada vez mais distantes são vistas como eram cada vez mais no passado e, num Universo acelerado, elas aparecem se movendo cada vez mais lentas em relação ao que prevê a relação de Hubble.

Mas, como dito anteriormente, essa matéria/energia associada à Λ não age na formação das estruturas, deixando para a matéria escura o papel principal na sua condução. Nesse ponto entra então o terceiro ingrediente fundamental da cosmologia moderna, o “Modelo de Matéria Escura Fria”. A possibilidade mais aceita atualmente do que deva ser a matéria escura sugere que ela é composta por partículas elementares primordiais estáveis e acolisionais. Normalmente os candidatos propostos para essas partículas são divididos em 2 tipos, os que tem movimento rápido (relativístico), denominados de matéria escura quente (MEQ), e os de movimento lento, denominados de matéria escura fria (MEF). Em termos da formação das estruturas, num cenário dominado pela MEQ as perturbações em menor escala são dissipadas pelo movimento dessas partículas rápidas e as estruturas se formam de “cima para baixo”: primeiro os superaglomerados de galáxias (as panquecas), que se fragmentam em aglomerados, e esses em galáxias. Num cenário de MEF, por outro lado, as perturbações em menor escala não são apagadas e colapsam primeiro, formando as galáxias, que se agrupam em aglomerados e esses em superaglomerados, numa seqüência hierárquica de “baixo para cima”. As observações mais recentes indicam que a maior parte das galáxias se formaram em *redshifts* $\sim 2-4$, aglomerados em $\sim 0-1$ e os superaglomerados se encontram em formação ainda hoje, o que se enquadra no previsto pelo segundo cenário. Muitos outros resultados observacionais da última década também apontam para esse cenário, incluindo as observações da RCF, e as determinações da idade do Universo.

Embora com esses três modelos já se possa montar uma imagem coerente da evolução

do Universo e da formação das estruturas (Turner, 1999), muitos pontos ainda necessitam confirmação e muitos detalhes e valores mais acurados dos parâmetros ainda precisam ser determinados (Peebles, 1999). Diretamente relacionadas aos modelos citados, ainda são questões bastante relevantes, por exemplo, se as SN Ia observadas em altos *redshifts* provém da mesma população que as SN Ia próximas, se a distribuição de galáxias tem “*bias*” em relação à distribuição de massa e quais as condições iniciais de formação das estruturas — há vários modelos de Inflação igualmente viáveis (e.g., Liddle, 1999), além da origem das inhomogeneidades como flutuações quânticas não ser a única possibilidade que se encaixa aos modelos. Também ainda necessitam muito estudo as questões sobre a natureza da matéria escura, a evolução das galáxias e dos aglomerados de galáxias, a entropia do Universo (excesso de partículas sobre anti-partículas) e várias outras pendências sobre os instantes iniciais (as “Teorias de Grande Unificação”, supersimetria, cordas cósmicas, a natureza quântica da gravidade e o próprio início de tudo, se houve um).

Tentando contribuir para a elucidação de alguns desses pontos, entra em cena, entre outros, o estudo dos superaglomerados de galáxias. Os superaglomerados de galáxias (SA) são os maiores sistemas de galáxias existentes atualmente, caracterizados por uma escala da ordem de 50–100 h^{-1} Mpc ($h = H_0/100$ km s⁻¹ Mpc⁻¹). As flutuações primordiais de escalas menores colapsaram, por ação da gravidade, em sistemas que vão das galáxias aos aglomerados de galáxias, enquanto flutuações dessa ordem ou maiores tem amplitude muito baixa e apenas modulam a estrutura fina em menores escalas (Frisch et al., 1995). Escalas maiores ainda, portanto, devem atingir a homogeneidade e isotropia pressupostas pelo Princípio Cosmológico, enquanto os SA formam a própria Estrutura em Grande Escala (EGE) do Universo. Embora ainda esteja aberta a questão sobre se a EGE pode ser representada por uma distribuição regular, i.e., se os SA estão distribuídos numa rede com uma separação característica entre eles (e.g., Broadhurst et al., 1990; Einasto et al., 1997), ou randômica (e.g., Kalinkov et al., 1998; Kerscher, 1998), todos os resultados dos estudos recentes apontam para a satisfação do Princípio Cosmológico a partir da escala dos SA. O quadro atual que se faz da EGE, para o qual contribuíram principalmente os resultados dos levantamentos de velocidades radiais para o Universo próximo realizados no último quarto do século XX (e.g., Davies et al., 1982; da Costa et al., 1988; Geller & Huchra, 1989; da Costa et al., 1994; Santiago et al., 1995; Fisher et al., 1995; Shectman et al., 1996) é o de uma cadeia de filamentos e paredes, constituídos de galáxias, grupos e aglomerados de galáxias ao redor de regiões relativamente vazias desses objetos, denominadas “*voids*”. Esses filamentos e paredes são os próprios SA.

As simulações teóricas dos modelos padrões levam a resultados similares (e.g., Colberg et al., 1997).

Como sistemas de aglomerados, grupos e galáxias, os SA são dinamicamente muito jovens, provavelmente ainda numa fase linear de colapso ou apenas se destacando do fluxo de expansão. Essa aparente monotonia dos SA esconde, na verdade, uma consequência muito importante: como os SA ainda não atingiram um estado de equilíbrio, o qual apaga as assinaturas da história dinâmica do sistema, seu estudo pode revelar indícios das condições iniciais e dos processos que levaram à sua formação, e, portanto, da própria EGE. A frequência e as dimensões, formas e massas típicas de SA, por exemplo, estão diretamente relacionadas com a amplitude e a potência das flutuações em maiores escalas do espectro primordial. Sendo os SA as estruturas mais massivas existentes, a determinação da sua razão massa-luminosidade pode ajudar a inferir a densidade média de matéria do Universo (Ω_0). A caracterização do seu estado dinâmico, bem como a detecção de orientações preferenciais entre galáxias e delas com a estrutura em maior escala podem também indicar a proporção de matéria escura nos grandes volumes dos SA, o que permite determinar se há matéria escura em escalas maiores que a dos halos das galáxias e aglomerados. Os movimentos peculiares dos aglomerados em SA também servem como indicadores da densidade de matéria e do *bias* entre a sua distribuição e a distribuição de galáxias.

Duas abordagens são normalmente utilizadas na identificação e estudo de SA. Uma procura por contrastes significativos de densidade na distribuição espacial de galáxias (e.g., Saunders et al., 1991; Willmer et al., 1995; Basilakos, Plionis & Rowan-Robinson, 2001), o que requer uma amostragem de redshifts relativamente alta, enquanto a outra usa aglomerados de galáxias (ou mesmo quasares) para delinear essas estruturas. Em ambos os casos, devido à grande escala de tamanho dos SA, bem como à dificuldade em definir a sua constituição, as propriedades características desses sistemas são muito incertas e inconclusivas. No primeiro caso, os estudos estão normalmente limitados ao Universo Local, já que uma amostragem completa até limites de magnitude muito altos é impraticável. Os SA já submetidos a estudo que se incluem nesse caso são o SA Local (de Vaucouleurs, 1953; Tully, 1982), o SA Meridional (de Vaucouleurs, 1953; Mitra, 1980), Pisces-Perseus (Gregory et al., 1981; Giovanelli & Haynes, 1985), Hydra-Centaurus (da Costa et al., 1986; Willmer, 1990) e Coma-A1367 (Gregory & Thompson, 1978). No caso da utilização de aglomerados, a maior parte dos estudos se baseia nos catálogos desses objetos disponíveis na literatura, principalmente os de Abell (1958) e Abell, Corwin & Olowin (1989) (mais detalhes sobre esses e outros catálogos

de aglomerados no capítulo 3). Uma das primeiras tentativas de identificar “aglomerações em segunda ordem” foi feita pelo próprio Abell (1961), que identificou 17 candidatos a SA em seu catálogo original. À medida que o número de aglomerados com velocidades radiais foi aumentando, vários catálogos de SA foram sendo compilados, a maior parte utilizando *redshifts* estimados para os aglomerados sem observação (Rood, 1976; Bahcall & Soneira, 1984; Batuski & Burns, 1985; West, 1989; Postman, Huchra & Geller, 1992; Cappi & Maurogordato, 1992; Zucca et al., 1993; Einasto et al., 1994; Kalinkov & Kuneva, 1995). A maioria deles foi construída utilizando o algoritmo de percolação para a identificação dos SA (capítulo 5). Os catálogos mais recentes contém ~ 200 SA, compreendendo até a profundidade de $z \sim 0.12$ (Einasto et al., 1997), incluindo catálogos de aglomerados com emissão em raios-X (Einasto et al., 2001) e aglomerados APMCC (Einasto et al., 2002). Dentre os SA contidos nesses catálogos poucos já foram submetidos a estudo (geralmente os com maior quantidade de membros e/ou mais próximos), nominalmente: Hércules (Tarenghi et al., 1980; Gregory & Thompson, 1984; Barmby & Huchra, 1998), Shapley (Quintana et al., 1995; Bardelli et al., 2000), Corona-Borealis (CorBor; Postman, Geller & Huchra, 1988; Small et al., 1998), Horologium-Reticulum (Hor-Ret; Lucey et al., 1983a) e Ursa-Majoris (Kopylov & Kopylova, 2001).

O objetivo deste trabalho é identificar e estudar os SA de galáxias presentes numa região da constelação de Aquarius, a qual apresenta uma concentração conspícua de aglomerados de galáxias. Essa região foi reconhecida inicialmente por Abell (1961), que aí identificou 2 possíveis superaglomerados de galáxias na distribuição projetada dos aglomerados ricos de galáxias de seu catálogo original, denominando-os SC-16 e SC-17. A peculiaridade dessa região está no fato de que esses dois potenciais SA estão entre os 3 mais ricos de tal lista, além se localizarem muito próximos em sua projeção na Esfera Celeste. Essa região também foi identificada com os métodos mais sofisticados, usando *redshifts* medidos e estimados, dos catálogos de SA mais recentes citados acima. Porém os SA identificados estão nos limites de profundidade desses catálogos, de forma que estão sujeitos a uma subamostragem considerável. O primeiro estudo dos aglomerados de galáxias da região de Aquarius foi feito por Ciardullo, Ford & Harms (1985) que, a partir da obtenção de velocidades radiais para as galáxias mais brilhantes de alguns aglomerados do SC-16, concluiu que essa concentração era uma superposição de 22 aglomerados entre 0.08 e 0.24 ao longo da linha de visada. Embora os problemas com a escolha de galáxias de *foreground* como galáxias mais brilhantes dos aglomerados tenham sido pequenos nesse trabalho, a baixa amostragem ocultou as evidências

de SA. Um estudo mais extenso da região foi feito por Batuski et al. (1999), que obtiveram *redshifts* para uma amostra de aglomerados numa faixa de $10^\circ \times 45^\circ$, incluindo os candidatos a SA de Aquarius e Eridanus. Na região de Aquarius, Batuski et al. (1999) mediram por volta de 200 *redshifts* em torno de 11 aglomerados. Usando ainda os outros *redshifts* disponíveis na literatura na ocasião, eles encontraram um SA filamentar composto de 14 aglomerados Abell com $\mathcal{R} \geq 1$ (\mathcal{R} = classe de riqueza, conforme Abell, 1958), com uma extensão estimada de $110 h^{-1}$ Mpc, orientado quase paralelamente à linha de visada. Eles também encontraram um “nó” de 5 aglomerados em $z \sim 0.11$, que representa uma sobredensidade 150 vezes maior que a densidade espacial média dos aglomerados Abell com $\mathcal{R} \geq 1$. Até agora, porém, apenas os aglomerados Abell mais ricos foram utilizados para estudar a região e, muitas vezes, com apenas uma velocidade por aglomerado.

Nesse contexto, os objetivos específicos deste trabalho podem ser sumarizados da seguinte forma:

- ▶ construir uma base de dados fotométricos e espectroscópicos adequada para estudar os SA de galáxias da região de Aquarius (dentro das limitações de tempo e acesso a telescópios e outras máquinas e programas de redução e análise);
- ▶ construir uma lista de candidatos a aglomerados para a região, tão completa quanto possível a partir de dados fotométricos, considerando além dos catálogos disponíveis na literatura, novas técnicas para identificação de concentrações na distribuição projetada de galáxias;
- ▶ confirmar ou descartar os candidatos a aglomerados como sistemas físicos reais, a partir dos dados espectroscópicos e de outras informações, se disponíveis, como a possível emissão em raios-X do meio intra-aglomerado, por exemplo;
- ▶ estudar os aglomerados (e grupos) assim confirmados a fim de obter parâmetros necessários a estudos dinâmicos e, principalmente, que possibilitem a identificação e o estudo dos potenciais SA na região;
- ▶ testar a realidade do SA filamentar de $110 h^{-1}$ Mpc e do “nó” de aglomerados em $z \sim 0.11$ propostos por Batuski et al. (1999);
- ▶ fazer uma análise preliminar das propriedades físicas e dinâmicas dos SA encontrados/confirmados;

Alcançando esses objetivos contribuiremos para o estudos cosmológicos e da EGE, conforme apresentados acima, com o esclarecimento da importância real dessa região cuja projeção na Esfera Celeste e resultados preliminares sugerem estruturas muito densas e/ou muito extensas, e com a determinação de parâmetros físicas dos SA estudados que, por sua vez, serão utilizados na determinação de propriedades típicas desses sistemas. A região considerada neste trabalho compreende os intervalos de $22^h57.0 < \alpha_{2000} < 23^h38.6$ e $-25^\circ54' < \delta_{2000} < -19^\circ29'$, contida na constelação de Aquarius e contendo os candidatos a SA originais SC-16 e SC-17. Ao longo dessa tese, o valor de $H_0 = 75 h_{75} \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ será utilizado, exceto quando os valores forem colocados como função de $h = H_0/100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (normalmente para facilitar a comparação com valores da literatura).

Capítulo 2

Dados Observacionais

Foram utilizadas neste trabalho duas fontes de dados fotográficos: o catálogo *COSMOS/UKST Southern Sky Catalog* (SSC, Yentis et al., 1992; Drinkwater, Barnes & Ellison, 1995) e um catálogo criado a partir da digitalização APM de filmes obtidos no ESO (que chamaremos AqrR a partir daqui). Tais dados serão descritos na seção 2.1, bem como os dados CCD utilizados para sua calibração. A seção 2.2 descreve as observações espectroscópicas da amostra de galáxias em aglomerados e grupos selecionadas a partir desses dados fotográficos.

2.1 Fotometria (Fotográfica e CCD)

2.1.1 Dados UKST/COSMOS (b_J)

Os dados extraídos do catálogo SSC para a região de Aquarius foram obtidos eletronicamente das URLs do *Anglo-Australian Observatory* (AAO)¹ e do *Naval Research Laboratory/Royal Observatory of Edinburgh* (NRL/ROE)². Tal catálogo foi construído a partir da digitalização, com a máquina COSMOS (Mac Gillivray & Stobie, 1984), de cópias em vidro das placas do Levantamento UKST/SERC-J (também denominado *United Kingdom Sky Survey*, UKSS), obtidas com o telescópio Schmidt de 1m do AAO. O tamanho da abertura (píxel) usada nessas digitalizações foi de $16\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$, correspondendo a $1.08'' \times 1.08''$ no céu (veja a tabela 2.1, onde estão listadas as características principais desses dados e dos dados R , a serem descritos abaixo). A detecção e a classificação foram realizadas com os algoritmos básicos da máquina COSMOS (descritos nos trabalhos de Mac Gillivray & Stobie, 1984; Thanish, McNally & Robin, 1984; Heydon-Dumbleton, Collins & MacGillivray, 1989; Beard,

¹<http://www.aao.gov.au/local/www/surveys/cosmos/>

²http://www.xip.nrl.navy.mil/www_rsearch/RS_form.html

MacGillivray & Thanish, 1990), usando um limiar de detecção de 2 vezes o desvio padrão do ruído de céu ($\sigma_{\text{céu}}$), que corresponde a um limite de brilho superficial de aproximadamente $25.5 b_J/\square''$, e considerando apenas objetos com mais de 4 píxeis de área.

Tabela 2.1: Catálogos Fotométricos Utilizados Neste Trabalho

Catálogo	Fonte	Emulsão + Filtro	Banda	Expos. (min)	Digital. ^a	Abert.	Límiar ($\sigma_{\text{céu}}$)	Área Mín. (píxeis)	Seeing	Magn. Limite	Intervalo Ótimo
SSC	placas UKST/ESO	IIIa-J + GG395	b_J	60	COSMOS	1.08"	2	4	< 3" ^b	20.2	16-20
AqrR	filmes ESO Schmidt	4415 + RG630	R	100	APM	0.51"	2	12	1.5"	19.5	17-19

^aIncluindo a detecção de objetos e classificação.

^bSeeing típico das placas do UKSS (Heydon-Dumbleton, Collins & MacGillivray 1989).

As magnitudes b_J desse catálogo resultam da combinação da emulsão IIIa-J com o filtro GG395, e foram calibradas com seqüências de magnitudes CCD de galáxias, nas bandas B e V , existentes na época (Yentis et al., 1992). Comparando essas magnitudes com magnitudes CCD do *ESO Imaging Survey* (EIS, Prandoni et al., 1999), Caretta, Maia & Willmer (2000) encontraram uma dispersão *rms* de 0.2 mag no intervalo $17.0 < b_J < 21.5$. Analisando também a completeza do catálogo, eles encontraram que ela cai a 90% na faixa de magnitudes $b_J = 19.5-20.0$ e a 80% em $b_J = 20.0-20.5$. Considerando esses resultados, limitamos as magnitudes dos objetos do SSC que usamos neste trabalho a $b_J \leq 20.2$, sujeitando-nos a uma perda de aproximadamente 15% das galáxias.

A figura 2.1 mostra a distribuição das magnitudes das galáxias do SSC em Aquarius, bem como algumas distribuições de outros dados representativos da literatura para efeito de comparação. O histograma de linha contínua representa os dados originais do SSC e o histograma de linha tracejada os dados finais, depois da combinação com os dados R (a serem discutidos abaixo). Os dados do *Edinburgh-Durham Southern Galaxy Catalogue* (EDSGC) e EIS (referências na figura), por exemplo, são do Hemisfério Galáctico Sul, enquanto os dados do *North Ecliptic Pole* (NEP) e *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) são do Norte: até $b_J = 18.5$ os dados do Norte apresentam maiores contagens pela presença da porção mais central do Superaglomerado Local (Tyson & Jarvis, 1979). Também no lado brilhante, os dados do NEP contém um superaglomerado, o que justifica o incremento entre 16.5 e 18.5. Contudo, os dados de Aquarius apresentam contagens levemente menores que o esperado na faixa $b_J < 18.0$, o que representa uma falta de galáxias brilhantes na região, enquanto no

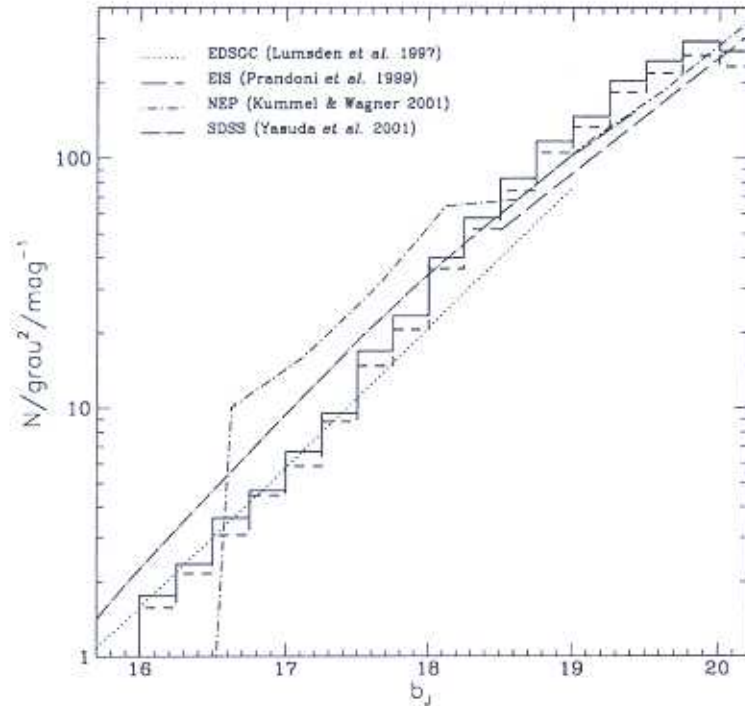


Figura 2.1: Distribuição das magnitudes das galáxias na banda b_J . As linhas contínua e tracejada (mais espessas) representam, respectivamente, os histogramas do catálogo original e do catálogo final, depois da combinação com os dados na banda R .

lado mais fraco ($b_J > 18.0$), as contagens são consideravelmente maiores — no mínimo 25% maiores para a faixa $18.5 < b_J < 19.5$, por exemplo — o que sugere uma sobreabundância de galáxias na região. Mais detalhes desses dados são apresentados no apêndice A (Caretta, Maia & Willmer, 2000).

2.1.2 Dados ESO Schmidt/APM (R)

O catálogo na banda R foi obtido a partir da digitalização, com a máquina APM (Kibblewhite et al., 1984), de filmes obtidos no telescópio Schmidt de 1m do *European Southern Observatory* (ESO). Foram obtidos 4 filmes para a região, sendo que dois compreendem respectivamente o SC-16 e o SC-17, enquanto os outros dois são de regiões próximas que se estendem a sudeste. Mais detalhes sobre esses filmes são apresentados na tabela 1. A digitalização APM foi realizada com uma abertura de $7.5\mu\text{m} \times 7.6\mu\text{m}$, que corresponde a uma resolução de

0.51" \times 0.51". Objetos foram detectados com o algoritmo de análise de imagens (Kibblewhite et al., 1984) da própria máquina APM, simultaneamente com a digitalização, utilizando um limiar de detecção de $2\sigma_{c\acute{e}u}$ e uma área mínima de 12 píxeis. A classificação foi realizada utilizando o perfil de brilho dos objetos, descrito pelas 8 áreas isofotais medidas, pelo pico de intensidade e pelo parâmetro denominado raio de giração (Maddox, Efstathiou & Loveday, 1988; Maddox, Efstathiou & Sutherland, 1990).

As magnitudes R instrumentais do catálogo AqrR são o resultado da combinação da emulsão 4415 Tech-Pan com o filtro RG630. Antes da calibração fotométrica, as placas tiveram suas magnitudes instrumentais levadas a um sistema uniforme, utilizando os algoritmos descritos por Maddox, Efstathiou & Sutherland (1990). Os limites e correções individuais de cada uma das placas R estão listados na tabela 2.2. Depois de uniformizadas, as magnitudes foram corrigidas de ponto zero e calibradas. Essas duas últimas correções foram feitas a partir da comparação das magnitudes instrumentais com magnitudes CCD de 18 galáxias, 5 obtidas no telescópio de 1.60m do Observatório do Pico dos Dias (OPD, Brazópolis, Brasil) e 13 do trabalho de Cunow & Wargau (1994). Os dados das 18 galáxias estão listados na tabela 2.3. A relação de calibração dos dados R e sua respectiva dispersão são mostradas na figura 2.2, onde também é mostrada, no eixo das abscissas, a relação das correções aplicadas às magnitudes instrumentais. A incerteza na determinação do ponto zero é de ~ 0.13 mag e o rms na relação de calibração de 0.1 mag, para o intervalo de magnitudes $15.9 < R < 19.3$. Os filtros utilizados nas observações CCD no OPD, nominalmente 2OG570+3KG3, reproduzem as magnitudes R_C do sistema Johnson-Cousins (Bessell, 1990), sistema no qual também estão as magnitudes das galáxias de Cunow & Wargau (1994).

Tabela 2.2: Filmes Fotográficos ESO Schmidt (Banda R)

No.	Centro (J2000.0)		Campo	Seeing	Δm	Limite ^a
	α	δ				
13210	23 ^h 09 ^m	-22° 39'	SC-16	1.48	-0.15	19.81
13205	23 ^h 30 ^m	-23° 00'	SC-17	1.56	0.14	19.93
13204	23 ^h 49 ^m	-26° 30'	3	1.51	0.24	19.86
13340	00 ^h 08 ^m	-29° 30'	4	0.83	-0.43	20.44

^aMagnitude limite detectada pelo algoritmo e parâmetros APM.

A completude do catálogo AqrR (i.e., fração do número real de galáxias que foram iden-

Tabela 2.3: Galáxias com magnitudes CCD utilizadas na calibração dos dados fotográficos ESO/APM

Objeto No. ^a	Coordenadas (J2000.0)		R^b	b_J	$b_J - R$	z	Obs. ^c
	α (h m s)	δ (° ' ")					
A2534.01	23 07 41.5	-22 42 39	16.27	18.20	1.96	0.1998	1,2
A2534.02	23 07 37.9	-22 43 05	16.81	18.12	1.18	0.1916	1,3
A2534.03	23 07 42.5	-22 43 50	16.97	18.86	1.81	0.1698	3
A2534.04	23 07 37.8	-22 42 15	17.92	19.64	1.69	0.1999	4
A2534.05	23 07 41.3	-22 44 06	18.06	19.89	1.94	0.2009	4
A2583.02	23 21 50.3	-20 26 43	17.78	16.34	1.44		
A2583.05	23 21 53.3	-20 27 00	17.94	16.55	1.39		
A2583.07	23 21 56.5	-20 26 07	16.96	15.19	1.77		
A2583.11	23 22 10.9	-20 25 51	18.00	16.45	1.55	0.1157	4
A2583.12	23 22 11.7	-20 25 42	17.51	15.97	1.54		
A2583.14	23 22 12.6	-20 25 23	18.98	17.70	1.28		
A2583.15	23 22 13.8	-20 25 35	18.02	16.60	1.42	0.1134	4
A2583.18	23 22 15.9	-20 26 16	16.71	14.70	2.01		
A2583.19	23 22 16.2	-20 25 59	18.69	17.21	1.48		
A2583.21	23 22 18.5	-20 25 00	17.20	15.55	1.65	0.1162	4
A2583.22	23 22 20.2	-20 25 24	17.96	16.29	1.67	0.1138	4
A2583.24	23 22 31.8	-20 24 41	16.91	14.92	1.99		
A2583.28	23 22 40.1	-20 25 01	16.20	14.31	1.89		

^aAs galáxias observadas no OPD são do aglomerado A2534 (tempo de integração 700^s), e as galáxias de Cunow & Wargau (1994) são do A2583 (tempo de integração 600^s)

^bPara as galáxias do A2534 foram consideradas magnitudes isofotais (isofota limite 26.5 R mag/ \square''), enquanto para as galáxias do A2583 foram consideradas magnitudes de abertura (entre 5.9" e 25.4"), ambas estimativas eficientes da magnitude total dos objetos.

^cSítio da observação espectroscópica ou referência: (1) Steiner et al. (1982); (2) CASLEO 2.15m, Argentina; (3) Ciardullo et al. (1985); (4) ESO 1.52m, Chile.

tificadas) é estimada ser 90% até $R \sim 18.5$ e 80% até $R \sim 19.0$. A maioria das galáxias perdidas até esses limites ocorre por erro de classificação, já que o limite de detecção desses dados é por volta de $R = 19.2$.

A distribuição das magnitudes das galáxias do catálogo AqrR é mostrada na figura 2.3 (histograma de linha sólida). Novamente são mostradas também distribuições representativas da literatura para comparação. O histograma de linha tracejada representa os dados finais de galáxias depois da combinação desses dados com os dados do SSC. A deficiência na

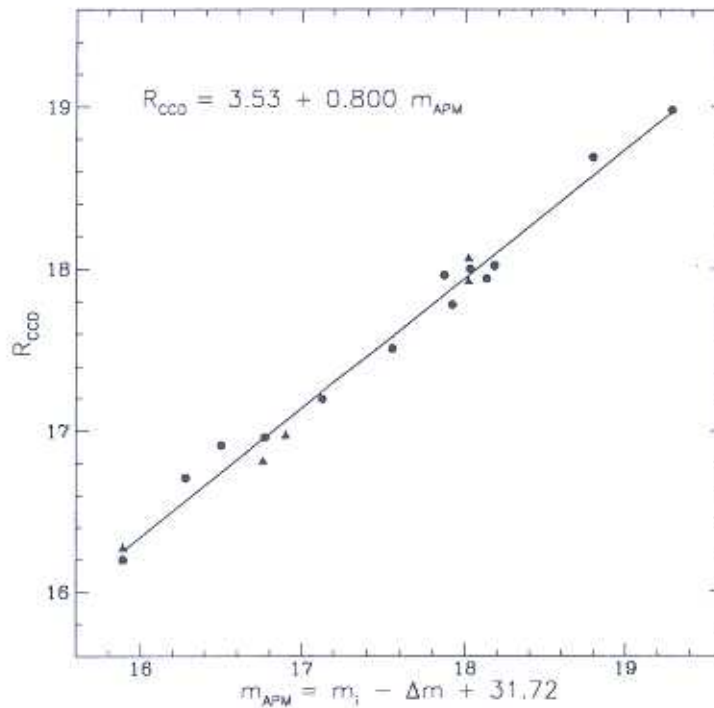


Figura 2.2: Relação de calibração das magnitudes R . As magnitudes instrumentais foram corrigidas das diferenças entre as placas (Δm) e de ponto zero (correções verticais), para então serem calibradas por magnitudes CCD totais na banda R_C (inclinação).

distribuição das magnitudes do catálogo original, para $R < 17.5$, será discutido na próxima seção. As mesmas características observadas nos dados b_J podem ser notadas aqui: uma pequena falta de galáxias mais brilhantes que $R = 16.5$ (histograma tracejado comparado aos dados da literatura) e um excesso para magnitudes maiores (histograma de linha sólida).

2.1.3 Combinação dos Catálogos

Para construir o catálogo fotométrico final de Aquarius, com todos os parâmetros medidos incluindo índices de cor, combinamos os dados das galáxias do catálogo SSC ($b_J < 20.2$) com os dados de todos os objetos do catálogo AqrR ($R < 19.5$). A escolha de usar todos os objetos de AqrR, ao invés de somente as galáxias, se deu pelo relativo baixo sucesso de classificação desse catálogo para objetos brilhantes. A incompletude do AqrR descrita na seção anterior se reflete principalmente nas magnitudes menores que $R = 17.5$, constituída por galáxias

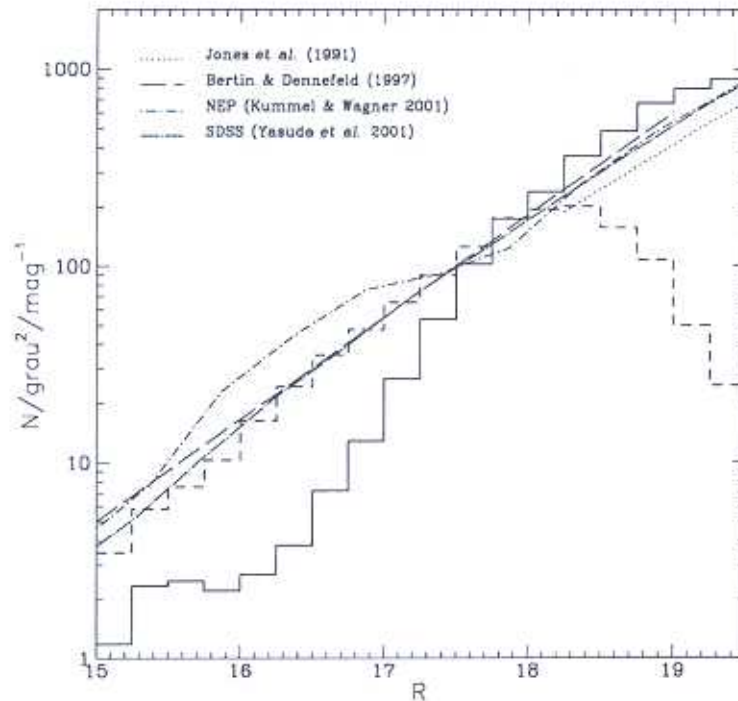


Figura 2.3: Distribuição das magnitudes das galáxias na banda R . As linhas contínua e tracejada (mais espessas) representam, respectivamente, os histogramas do catálogo original e do catálogo final, depois da combinação com os dados na banda b_J .

classificadas pelo algoritmo APM como objetos amalgamados (*merged*). No SSC, embora também haja perdas, elas são maiores para objetos mais fracos. Não há no SSC esse problema de classificação de galáxias como objetos amalgamados, já que o processamento básico da máquina COSMOS inclui um algoritmo de separação (Beard, MacGillivray & Thanish, 1990). O problema de superposição de imagens de objetos é maior justamente para galáxias mais brilhantes, pois são objetos que ocupam grandes áreas. Assim elas acabam por incorporar em suas isofotas objetos à sua volta (principalmente objetos fracos, porque a densidade deles é maior). A consequência é que sua magnitude fica contaminada (um pouco menor que a real), aumentando com isso o seu índice de cor. Utilizando a classificação do SSC podemos incluir esses objetos, mas continuamos com o problema das magnitudes.

Com esse problema para o lado brilhante e o limite de detecção e completeza para o lado fraco, o intervalo ótimo de magnitudes R do catálogo fotométrico de Aquarius fica entre 17.0 e 19.0 (ou, equivalentemente, $18.4 < b_J < 20.4$). Este intervalo está dentro do intervalo ótimo

do SSC, que é um pouco mais amplo ($16 < b_J < 20.2$), sendo adequado para o estudo dos superaglomerados de Aquarius — estão no lado mais brilhante da região em que há uma sobredensidade na distribuição de magnitudes das galáxias (veja as figuras 2.1 e 2.3).

Para aproximadamente 90% das galáxias do SSC encontramos correspondência no catálogo AqrR, resultando numa completeza final do catálogo fotométrico de Aquarius maior que 75%. Dessas, em torno de 70% também foram classificadas como galáxias no AqrR e 25% como *merged*, enquanto 5% foram classificadas como estrelas. No intervalo ótimo descrito acima, as frações de galáxias e *merged* são, respectivamente, 76% e 19%, essa última correspondendo às que podem apresentar contaminação nas magnitudes e cores mais avermelhadas que o real.

A distribuição de índices de cor, $b_J - R$, para o catálogo fotométrico combinado de Aquarius é mostrada na figura 2.4. No histograma contínuo é mostrada a distribuição para as galáxias com magnitudes compreendidas nos intervalos ótimos dos dois catálogos. As demais distribuições são de amostras de comparação: uma para a placa 13204 (tabela 2.2), que compreende uma região “ao lado” da região de Aquarius, e outra para a amostra de Willmer et al. (1996), do Polo Galáctico Norte. Aos dados de Willmer et al. (1996) foi acrescida uma diferença média de 0.1 mag da transformação das magnitudes r_P em R . Enquanto há uma pequena diferença sistemática entre os dados dos nossos catálogos e os de Willmer et al. (1996) de ~ 0.1 mag, entre os dados de Aquarius e a região de comparação há um pequeno excesso de galáxias mais avermelhadas na região de Aquarius (as contagens por intervalo são menores entre 0 e 1.2 e maiores de 1.2 a 2.2).

2.1.4 Astrometria

Como os processos de detecção e cálculo de parâmetros dos dados das duas fontes (SSC e AqrR) foram basicamente os processos padrões das respectivas máquinas de digitalização (COSMOS e APM), uma primeira expectativa das incertezas pode ser obtida de vários trabalhos na literatura avaliando os catálogos ícones das respectivas máquinas (SSC \rightarrow EDSGC e APMCat \rightarrow APMGC). O catálogo de galáxias da máquina APM, *APM Galaxy Catalogue* (APMGC, Maddox et al., 1990), tem uma incerteza nas posições absolutas estimada em $1''$, podendo acontecer distorções sistemáticas entre algumas placas de até $2''$ pelos efeitos de deformações na emulsão, por pequenos movimentos no mecanismo de fixação das placas durante a digitalização e/ou por desalinhamento da transformação linear nas regiões de intersecção. Quanto às posições relativas (internas a cada placa), a estimativa de incertezas é de apenas $0.2''$ (Maddox et al., 1990). O catálogo SSC, por outro lado, apresenta uma incerteza absoluta

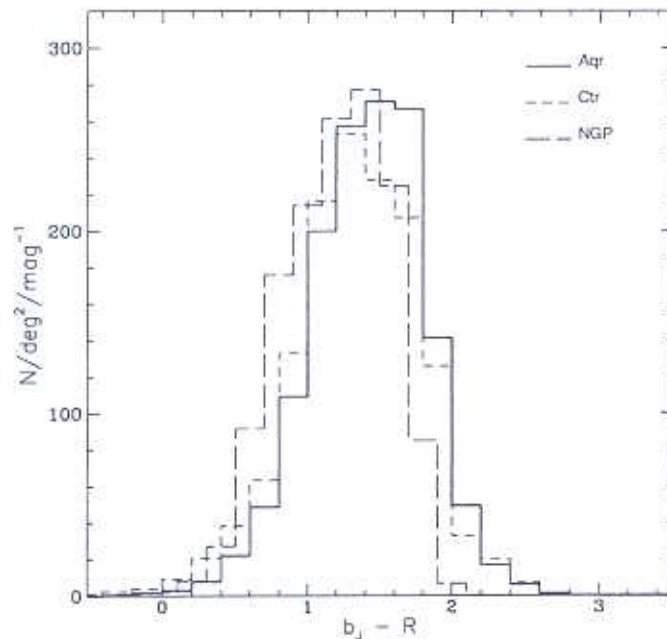


Figura 2.4: Distribuição de cores $b_J - R$ para as galáxias de Aquarius (histograma de linha contínua), de uma região de controle próxima (linha com tracejado menor) e para os dados de Willmer et al. (1996) (linha com tracejado maior).

(quando comparado com fontes rádio) de $0.7''$, ou $0.4''$ se aplicada uma correção derivada da comparação com posições de estrelas do catálogo PPM (não utilizada neste trabalho). O que o torna menos preciso que o APMGC, porém, são os erros relativos (internos às placas) devido ao desvio das soluções de placa causado pelos “fantasmas” em torno de estrelas brilhantes tomadas como referência ($\sim 0.25''$ em separações de 2 graus) (Drinkwater, Barnes & Ellison, 1995).

Comparativamente, os catálogos para a região de Aquarius tem incertezas astrométricas relativas (em ambas as coordenadas) menores que $1''$, conforme pode ser visto nas figuras 2.5a e 2.5b. As descontinuidades nas distribuições dos erros estão relacionadas às coordenadas limites das placas e refletem as diferenças internas de cada uma delas pelos efeitos descritos acima. Na figura 2.5c podem ser observados os desvios sistemáticos entre os catálogos, ambos pequenos, da ordem de $0.3''$ em α e $0.1''$ em δ . Para a combinação dos catálogos foi utilizada uma tolerância máxima de $5''$, suficientemente grande para evitar perda de objetos e ainda pequena o bastante (comparada à separação média dos objetos nos catálogos, $3.5''$) para

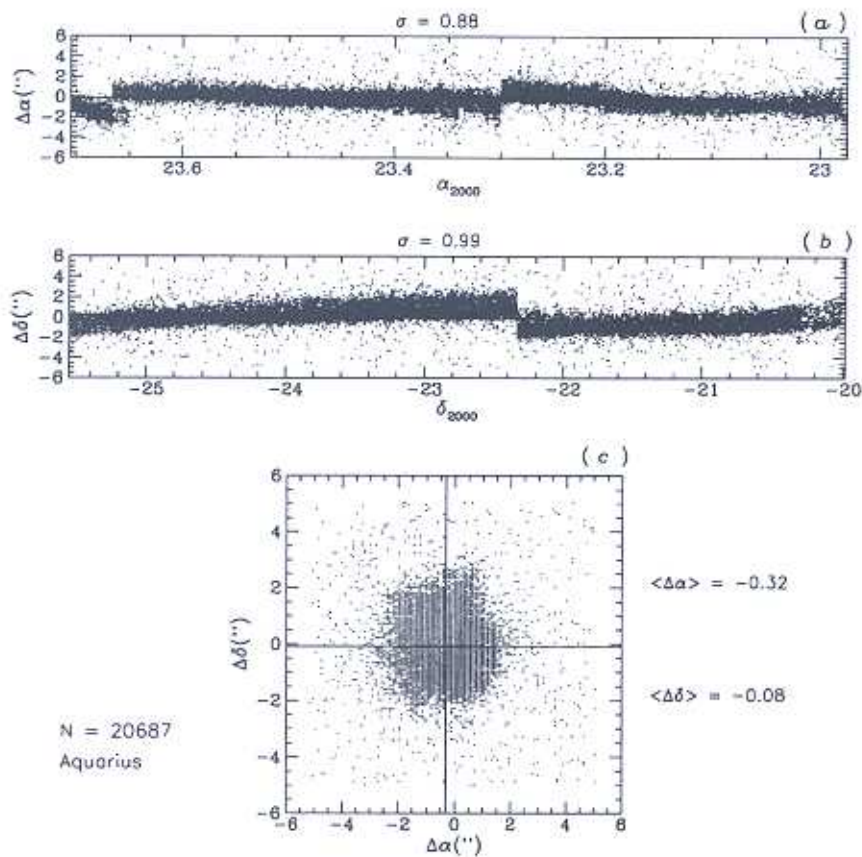


Figura 2.5: Variação nas diferenças de coordenadas ao longo das placas (painéis a e b) e diferenças médias nas coordenadas (painel c).

minimizar o número de emparelhamentos duplos.

2.2 Espectroscopia

Os dados espectroscópicos, obtidos para uma subamostra de galáxias selecionadas da região em estudo, incluem as observações de um programa realizado de 1994 a 2000. Três telescópios foram utilizados em tal programa: 1.52m do Observatório de *La Silla* (ESO, La Serena, Chile), dentro do convênio com o ON, 1.60m do Observatório do Pico dos Dias (OPD/LNA, Brasópolis, Brasil) e 2.15m de *Complejo Astronomico El Leoncito* (CASLEO, San Juan, Argentina).

2.2.1 Seleção de Galáxias para Observação Espectroscópica

A amostra de aglomerados da região de Aquarius será descrita no capítulo 3. Dos 102 candidatos a aglomerados encontrados, 72 tiveram galáxias observadas espectroscopicamente, escolhidos dentre os com maior chance de representarem aglomerações reais (detectados em mais de um catálogo, por exemplo).

As galáxias observadas espectroscopicamente foram selecionadas dentro de “caixas” de $10' \times 10'$ centradas nos picos de densidades superficial internos aos candidatos. Esses picos correspondem à região central de cada aglomerado e a subestruturas e/ou pontes quando presentes (ainda considerando apenas estruturas bidimensionais). Os mapas de contornos de isodensidades superficiais de galáxias utilizados nessa fase, produzidos pelo método de contagem em células a ser descrito na seção 3.3, incluíam apenas os dados da banda b_J , os únicos disponíveis desde o início do trabalho. Foram produzidos mapas com 3 resoluções distintas, $1.6'$, $3.4'$, e $5'$, correspondendo, respectivamente, a 0.12 , 0.25 e $0.37 h^{-1}$ Mpc num *redshift* da ordem de 0.1. Foram considerados apenas picos com contagens maiores que $5 \sigma_{cél}$ nas 3 resoluções.

Foram observadas galáxias entre as magnitudes 16 e 20.5 (b_J), normalmente compreendidas entre as 15 galáxias mais brilhantes de cada caixa. Galáxias muito brilhantes, com grande chance de serem de *foreground* (com um intervalo para a próxima mais brilhante de mais de 2 mag, por exemplo), não foram observadas. O número de galáxias observadas por aglomerado foi bastante variado, dependendo da distribuição de magnitudes de cada campo — para alguns aglomerados mais próximos observou-se até mais de 25 galáxias (6 casos, sem contar 2 da literatura), enquanto para 4 casos de aglomerados mais distantes se observou 5 ou menos.

Para otimizar a quantidade de objetos observados por noite, outro critério utilizado foi a proximidade da galáxia com outra de brilho similar, ou seja, quando era possível colocar duas (ou até mais) galáxias numa única posição da fenda essas galáxias tinham preferência para serem observadas. Esse critério foi utilizado em quase todas as missões a partir de 1997, no ESO, e de 1998, no OPD.

Um último critério utilizado na seleção das galáxias foi o critério de cor, a partir de 1999, quando já estavam disponíveis também os dados na banda R . Foi dada preferência a galáxias mais avermelhadas, i.e. com índices de cor $b_J - R \geq 1.5$., aproveitando-se das relações cor-morfologia e morfologia-densidade. A relação cor-morfologia é na verdade uma relação entre a

proporção de estrelas velhas (vermelhas) sobre jovens (azuis) e o tipo da galáxia (galáxias do tipo “*early*”, elípticas e lenticulares, tem maior fração de estrelas velhas, enquanto galáxias do tipo “*late*”, espirais e irregulares, tem maior fração de estrelas jovens). Já a relação morfologia-densidade prevê que as galáxias do tipo *early* são mais frequentemente encontradas em ambientes mais densos. Assim, preferindo as galáxias mais avermelhadas (com grande chance de serem elípticas/lenticulares) estamos aumentando a chance de observarmos galáxias membros dos aglomerados, além de facilitar a obtenção de velocidades radiais por correlação cruzada já que as linhas de absorção são mais pronunciadas nessas galáxias.

Não há, portanto, nem homogeneidade espacial (os alvos foram escolhidos como sendo os pontos de maior densidade, e não aleatoriamente ou regularmente) nem um limite de magnitudes homogêneo (variando de campo para campo), e nem ainda sobre o tipo de galáxias observadas (porque se deu preferência às mais avermelhadas mas não se usou um limite de corte definido sempre). A estratégia foi, por outro lado, observar as galáxias com mais chance de serem membros de aglomerados em regiões com maior chance de conterem aglomerados. Foram observadas um total de 993 galáxias em 72 candidatos a aglomerados.

2.2.2 Observações em CASLEO, LNA e ESO

Foram realizadas 25 missões de observação para esse projeto, 2 no telescópio de 2.15m de CASLEO, 11 no telescópio de 1.60m do OPD e 12 no telescópio de 1.52m do ESO. As configurações instrumentais utilizadas em cada um desses telescópios são mostradas na tabela 2.4. No OPD usamos 3 detectores ao longo do programa, que foram sendo utilizados à medida que se tornavam disponíveis. Além da melhora da qualidade eletrônica (aumento do ganho e diminuição do ruído), houve também uma melhora na sensibilidade dos CCDs subsequentes, passando de 10-45% a 55-70% na faixa espectral utilizada. No ESO, por outro lado, houve uma queda de qualidade do detector, na troca do #39 pelo #38, por conta da perda do primeiro.

O “diário” das 25 missões realizadas é sumarizado na tabela 2.5. Pelas duas tabelas pode-se perceber que foram mantidas ao longo do programa, além da configuração instrumental básica (telescópio da classe de 2m, montagem Cassegrain, espectrógrafos B&C), a cobertura do espectro (4000-8000Å), usando uma rede de 300 l/mm para CCDs de 1k×1k e de 600 para CCDs de 2k×2k. Outra característica que pode ser notada é a diminuição da fenda ao longo do programa. Com a melhoria nas coordenadas e apontamento dos telescópios, inclusão de CCDs de guiagem e aumento da sensibilidade dos detectores principais pôde-se ir reduzindo

Tabela 2.4: Configurações instrumentais utilizadas (detectores)

CCD No.	Marca	Dimensões (píxeis)	Píxel (μm)	Ganho (e^-/ADU)	Ruído ($e^- \text{ rms}$)	Escala Espacial	Eficiência (4000-8000) \AA	Instrumento
	Tek	1024 \times 1024	24	2.0	7.4			2.15 + REOSC
#48	EEV	770 \times 1152	22.5	3.3	6.6	1.04"/100 μm	15-45%	1.60 + B&C
#101	SITe	1024 \times 1024	24	5.0	5.5	1.04"/100 μm	40-65%	1.60 + B&C
#106	SITe	1024 \times 1024	24	5.0	4.1	1.04"/100 μm	55-75%	1.60 + B&C
#106 ^a	SITe	1024 \times 1024	24	5.0	4.1	1.25"/100 μm	55-75%	1.60 + B&C
#39	Loral	2048 \times 2048	15	1.2	5.0	0.82"/100 μm	75-95%	1.52 + B&C
#38	Loral	2688 \times 512	15	1.6	7.1	0.82"/100 μm	75-90%	1.52 + B&C

^aInclusão do novo colimador f/10.

gradativamente o tamanho da fenda sem alterar significativamente os tempos de exposição por objeto mas melhorando a resolução. Outra observação que se pode tirar da tabela 2.5 é que o aproveitamento médio de tempo no OPD foi de 55%, enquanto no ESO foi maior que 80% (todas as missões ao longo do segundo semestre do ano, do final junho ao início de dezembro).

Os tempos de exposição utilizados variaram entre 20 e 120 minutos, dependendo da magnitude dos objetos e de seu brilho superficial. Tais exposições foram normalmente feitas em integrações sucessivas de 20^m para se reduzir a quantidade de raios cósmicos sobre os espectros (pagando o preço de um pequeno aumento do ruído final na soma dos espectros). No geral, também os tempos de exposição por alvo/objeto caíram ao longo do programa, não só pelos motivos apontados acima, mas também pela inclusão da "multiplexagem" e do critério de cor (uma elíptica demanda menos tempo de integração para se obter um espectro que uma espiral, devido ao seu brilho mais concentrado). No início do projeto os tempos médios eram em torno de 60 a 80 minutos, enquanto no final foram de 20 a 40 minutos.

As observações foram feitas, sempre que possível, sem a presença da Lua ou com uma fração de iluminação de no máximo 45%. Imagens de *bias*, *domeflats* e *dark* foram obtidas todas as noites (10, 10 e 5, respectivamente, em média) e utilizadas para corrigir as imagens cruas. Para cada observação astronômica de 20^m foi feita uma exposição de lâmpada de calibração, imediatamente antes ou depois. Os tempos de integração das lâmpadas de calibração foram variáveis, mas normalmente se deixava saturar algumas linhas mais intensas

Tabela 2.5: Missões espectroscópicas do Levantamento de Aquarius

No.	Telesc. ^a	Período	Rede (l/mm)	Fenda (μm)	Detect. ^b #	Dispers. ($\text{\AA}/\text{pix}$)	Resol. \AA	Intervalo $\lambda\lambda$	N. noites ^c	Aprov. %	Alvos N	Óbjs. N
1	C215	set94	316	500	Tek	3.2	18	4760-7980	3	50	9	9
2	O160	out94	300	600	048	4.1	14	4200-8260	5	40	9	11
3	O160	ago95	300	450	048	4.1	12	4360-8420	7	100	35	39
4	O160	ago96	600/300	500/400	101	4.3	11	3560-8120	7	55	18	19
5	C215	set96	300	400	Tek	3.2	16	4200-7660	7	95	35	38
6	E152	nov96	600	419	039	1.9	4	3972-7838	(12)	...	37	42
7	E152	jun97	600	419	039	1.9	4	3800-7700	(6)	...	15	16
8	O160	ago97	300	400	101	4.3	11	3650-8050	5	45	13	14
9	E152	ago97	600	419	039	1.9	4	3600-7500	(14)	60	53	117
10	O160	out97	300	400	101	4.3	11	3700-8100	5	65	17	25
11	E152	out97	600	400	039	1.9	4	3639-7537	(15)	...	12	29
12	E152	jun98	600	400	039	1.9	4	3634-7518	(12)	...	2	6
13	E152	ago98	600	400	039	1.9	4	3640-7520	(11)	...	52	121
14	O160	ago98	300	400	106	4.3	11	3700-8100	5	72	23	36
15	E152	out98	600	400	039	1.9	4	3515-7514	(9)	...	4	9
16	O160	ago99	300	350	106	4.3	10	3700-8100	5	78	19	36
17	E152	ago99	600	400	039	1.9	4	3680-7560	(7)	...	2	5
18	O160	set99	300	350	106	4.3	10	3750-8150	13	40	28	46
19	E152	out99	600	400/350	038	1.9	4	3300-8650	(8)	...	16	33
20	E152	dez99	600	400	038	1.9	4	3400-8500	(12)	90	36	80
21	O160	ago00	300	250	106	4.3	8	3700-8100	8	60	36	67
22	E152	set00	600	400	038	1.9	4	3370-8492	(8)	...	34	68
23	O160	set00	300	250	106	4.3	8	3700-8100	5	35	9	19
24	O160	out00	300	250	106	4.3	8	3700-8100	5	20	6	15
25	E152	nov00	600	250	038	1.9	3	3350-8450	(9)	100	43	93

^aC215 = Casleo 2.15m, O160 = OPD 1.60m e E152 = ESO 1.52m.

^bDetalhes na tabela 2.4.

^cNúmeros entre parênteses referem-se a missões do *key project* de Extragaláctica, do qual o Levantamento de Aquarius fez parte.

para aumentar o sinal de linhas mais fracas. As lâmpadas usadas foram de He+Ar+Ne (OPD e CASLEO), He+Ar e Fe+Ne+Ar (ESO).

2.2.3 Redução dos Espectros e Obtenção das Velocidades Radiais

A redução dos espectros foi realizada com as rotinas padrões do pacote IRAF, na seqüência que se segue.

- Retirada da “assinatura instrumental” das imagens através da subtração do nível de *bias*, possível corrente de escuro e remoção do padrão de *flat-field* (não-uniformidades espaciais na resposta do *chip*). Em alguns casos, a permanência de um gradiente residual no nível do céu tornou necessária uma correção de iluminação produzida a partir da média das imagens de *flat-field* do céu.
- Remoção de raios cósmicos nas proximidades dos espectros através de ajustes polinomiais ao céu local, visando uma melhor determinação da posição do espectro ao longo do eixo de dispersão e uma melhor estimativa do céu. Esse procedimento foi necessário devido ao baixo S/R por píxel dos espectros das galáxias mais fracas que $b_J = 19.0$. Um cuidado adicional foi tomado com raios cósmicos sobre o espectro, que foram identificados pela comparação visual das várias exposições de cada alvo.
- Extração dos espectros e subtração do perfil do céu. Uma abertura retangular é ajustada ao eixo de dispersão incluindo a região com sinal acima do nível de 5% do céu ou próximo desse limiar. Duas fendas paralelas, bilaterais ao espectro, extraem um perfil médio do céu, que é então subtraído do espectro.
- Calibração do espectro em comprimento de onda, pelo ajuste de um polinômio de Legendre de grau 7 ou 8 às linhas de emissão do espectro das lâmpadas de comparação. O número médio de linhas do espectro das lâmpadas de calibração ajustadas e as dispersões *rms* médias nas soluções encontradas foram: 45 linhas/0.4Å, 50 linhas/0.15Å e 70 linhas/0.09Å, respectivamente dos dados de CASLEO, do OPD e do ESO.
- Combinação dos espectros de um mesmo objeto.
- Obtenção das velocidades radiais pelo método de correlação cruzada (XCSAO, descrito por Tonry & Davis, 1979) e análise das linhas de emissão (EMSAO) ambos do pacote RVSAO (Kurtz & Mink, 1998). O método de correlação cruzada calcula a velocidade radial de um objeto através da comparação de seu espectro com espectros modelo (*templates*), de alta razão S/R, corrigidos para o referencial de repouso (no caso foram utilizadas de 10 a 15 *templates*). Os dois espectros são multiplicados no espaço de Fourier, produzindo uma curva de correlação na qual a posição do maior pico indica o desvio entre os espectros, enquanto sua largura está relacionada à dispersão interna de velocidades estelares da galáxia e ao erro na determinação do pico. A posição, altura e largura do pico são determinados pelo ajuste de uma parábola. O maior

pico de correlação, dentre os produzidos com cada um dos *templates* foi, inicialmente, escolhido e as linhas de absorção, então identificadas, inspecionadas visualmente. Para os espectros com linhas de emissão, os desvios de cada uma das linhas identificadas são medidos e, então, combinados numa velocidade radial única para o objeto.

- Avaliação das velocidades radiais obtidas a partir das estimativas automáticas de erro e confiabilidade (discussão na próxima sessão) e da inspeção visual dos espectros. Designação de um indicador de qualidade para cada um dos espectros: (A) excelente, com linhas (de absorção ou emissão) bem definidas e R (razão S/R do pico de correlação, veja abaixo) $\gg 3$; (B) bom, com linhas confirmadas pela inspeção visual e $R \geq 2$ ou $R \geq 3$ e coincidência de várias *templates*; (C) $R \geq 2$ mas linhas não completamente confirmadas; (D) $R < 3$ e linhas não confirmadas.

2.2.4 Estimativa de Erros e Confiabilidade das Velocidades

Há duas características da avaliação das velocidades estimadas que são importantes. A primeira é a incerteza nas estimativas, ou seu erro interno. No caso da correlação cruzada essa incerteza é estimada a partir da largura do pico escolhido da função de correlação em combinação com a razão sinal/ruído desse pico. Outra medida dessa incerteza, ou mais precisamente da qualidade da correlação, é obtida pela razão entre a amplitude do pico e o *rms* das flutuações (ruído) da função de correlação, ou parâmetro R . A segunda avaliação é a confiabilidade das medidas, ou seja, a probabilidade de que uma segunda medida independente vá produzir o mesmo resultado dentro do limite de incerteza das duas medidas.

Nos painéis *a* e *b* da figura 2.6 estão traçados, respectivamente, os histogramas das incertezas internas das velocidades obtidas pela correlação cruzada e das obtidas pelo ajuste das linhas de emissão. Erros internos médios e medianos estão em torno e 55 a 75 km s⁻¹. Para os espectros de absorção, também estão traçadas, na figura 2.6c, a distribuição dos valores obtidos do parâmetro R .

Uma primeira estimativa da confiabilidade dessas velocidades pode ser obtida a partir da comparação das velocidades obtidas em duplicidade em duas missões diferentes. Dos 19 casos entre as velocidades de Aquarius, 3 foram, na verdade, observações repetidas de galáxias que tiveram velocidades com qualidade D da primeira vez, de forma que não foram consideradas. Outras 3 tiveram qualidade C da primeira vez, mas foram consideradas. A diferença média encontrada foi de (129 ± 94) km s⁻¹, ou seja, uma dispersão menor que 100 km s⁻¹. Para fins

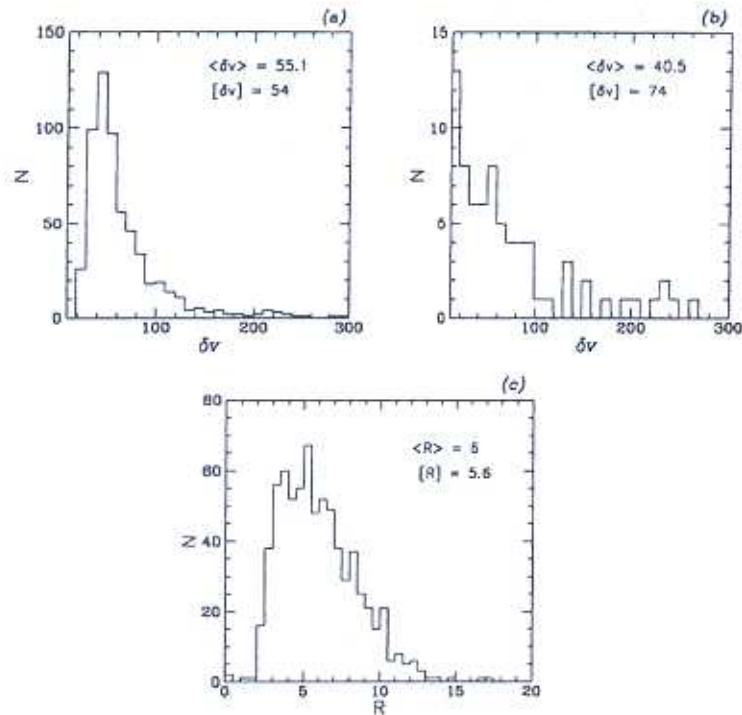


Figura 2.6: Distribuições das incertezas internas nas velocidades das galáxias obtidas pelo método de correlação cruzada (a), e pelo ajuste das linhas emissão (b). (c) Distribuição do parâmetro R da correlação. Os valores médios ($\langle \rangle$) e medianos ($[\]$) estão incluídos nos painéis.

de comparação, outras 15 galáxias para as quais há observações em duplicidade na literatura têm uma diferença média de $(113 \pm 133) \text{ km s}^{-1}$. Foram consideradas para este cálculo apenas as galáxias com diferenças de velocidade menor que 500 km s^{-1} , supondo que os demais pares (3) tenham pelo menos uma velocidade com problemas.

Para compararmos as nossas velocidades com velocidades da literatura, uma estimativa da incerteza externa, temos 16 casos. Cinco deles apresentam diferenças maiores que 500 km s^{-1} , sendo que 3 são comparações de uma única missão (no. 2/OPD94) com dados de uma única fonte da literatura (Colless & Hewett, 1987). Este é o único caso em que aparece uma diferença sistemática, que não podemos definir se provem dos dados da missão ou da fonte da literatura. Retirando-se esses 5 casos, podemos estimar a diferença média como sendo $(164 \pm 135) \text{ km s}^{-1}$, uma dispersão bastante próxima à encontrada nos dados anteriores com duplicidade na literatura.

Uma estimativa mais robusta da confiabilidade pode ser obtida a partir da dispersão

das velocidades encontradas em repetidas medições de galáxias padrões de velocidade radial. Na tabela 2.6 estão listadas as galáxias padrões utilizadas neste trabalho, além das médias e desvios padrões das respectivas velocidades medidas. Em cada noite de observação, pelo menos uma dessas galáxias foi observada. As maiores dispersões observadas estão em torno de 60 km s^{-1} da mesma ordem da média das dispersões nos valores encontrados na literatura (NED). Esse valor reflete mais as diferenças entre as missões do que as diferenças entre as noites de uma mesma missão, já que a média das dispersões dessa última foi de apenas 30 km s^{-1} . Juntando todas as estimativas acima podemos concluir que as velocidades obtidas para as galáxias de Aquarius tem incertezas menores ou da ordem de 100 km s^{-1} .

Tabela 2.6: Galáxias Padrões de Velocidades Radiais

Galáxia	Este Trabalho ^a				NED ^a					
	N	$\langle v \rangle$	σ_v	[v]	N	$\langle v \rangle$	σ_v	[v]	Menor erro	Ref. ^b
NGC 6721	51	4459	63	4473	5	4421	47	4412	4421±25	RC3
NGC 1316	17	1765	10	1768	14	1795	54	1781	1760±10	Longhetti et al. (1998)
NGC 5419	12	4173	57	4169	7	4143	78	4140	4172±20	Willmer et al. (1991)
NGC 1400	12	570	23	565	8	547	30	554	558±14	RC3
NGC 0641	9	6438	30	6432	7	6328	59	6323	6323±17	RC3
NGC 6868	7	2916	43	2922	8	2843	47	2856	2854±15	Ramella, Focardi & Geller (1996)
IC 4296	4	3874	16	3880	8	3735	94	3748	3737±10	Smith et al. (2000)
IC 4931	4	5947	34	5948	5	5947	41	5940	6008±6	Smith et al. (2000)

^a $\langle \rangle$ e [] representam, respectivamente, os valores médios e medianos.

^bRC3 — *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*, 1991 (versão 3.9).

2.2.5 O Catálogo AqrZ

O catálogo final das galáxias da região de Aquarius com velocidades radiais contém 1594 objetos, sendo 993 observadas neste trabalho e 601 da literatura.

Alguns aglomerados na borda da região, para os quais também fizemos observações ou existem observações na literatura, não foram considerados nos limites finais definidos para este trabalho, de forma que a análise posterior incluirá apenas as 1416 galáxias desse catálogo (447 da literatura e 969 nossas).

Dessas, 38 tiveram a velocidade obtida avaliada como de qualidade D (i.e. improvável) pela inspeção visual do espectro e/ou pelo valor do S/R do pico de correlação, e 68 como C

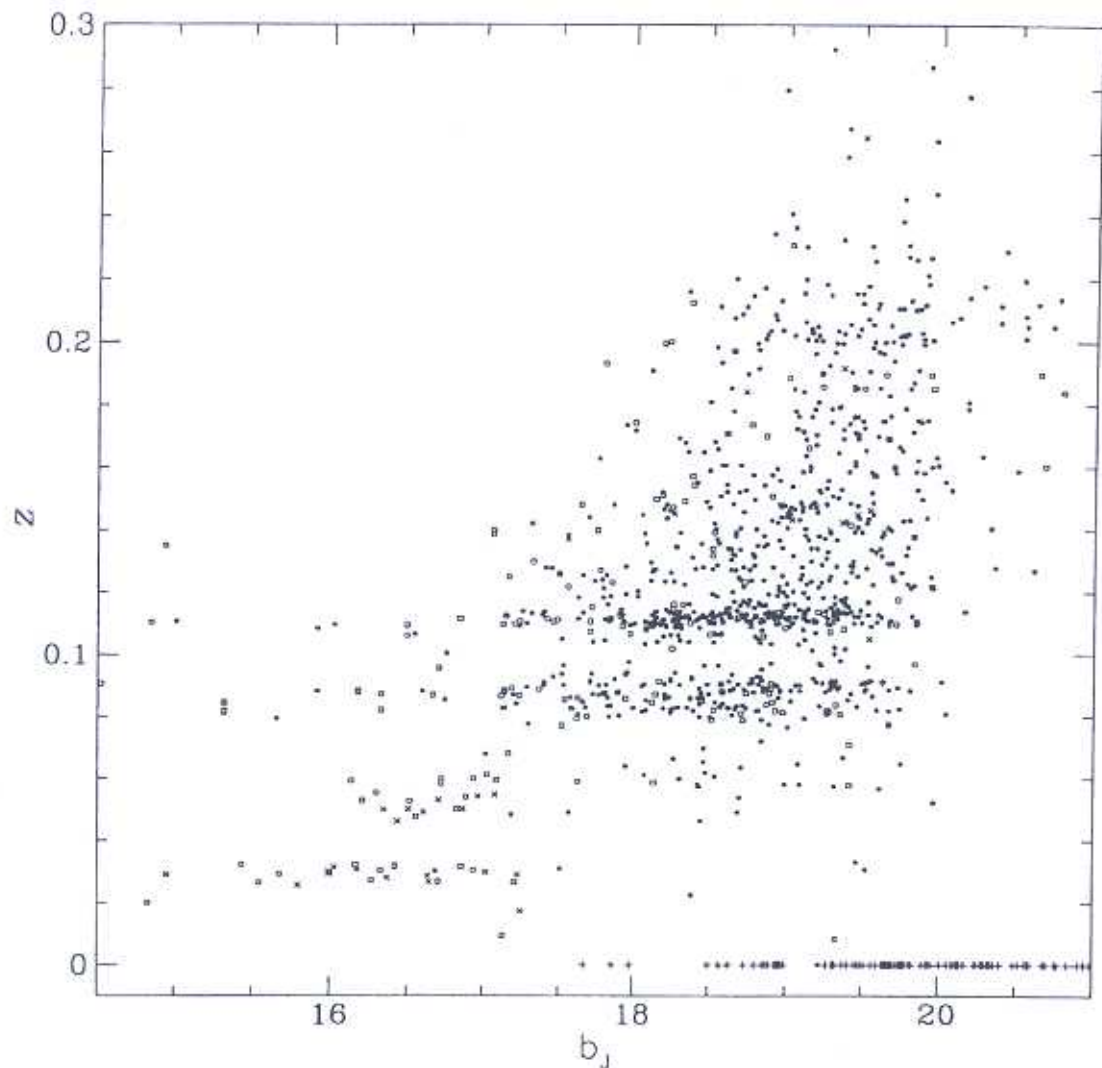


Figura 2.7: Distribuição dos *redshifts* obtidos em função das magnitudes das galáxias. Os símbolos (□) representam os dados da literatura, os (●) as nossas observações, os (×) objetos observados que ficaram de fora da região final definida para este trabalho e (+) as velocidades com qualidade C ou D.

(i.e. duvidosa). Essas 106 galáxias (7.5%) também não foram consideradas nas análises.

Outras 50 galáxias tiveram mais de 1 observação, e para essas a média das velocidades foi utilizada nas análises. Assim, a lista final de galáxias com velocidade, única e de boa qualidade, da região de Aquarius considerada neste trabalho contém 1256 objetos.

A distribuição das velocidades obtidas em função das magnitudes das galáxias desse catálogo é mostrada na figura 2.7.

2.3 Resumo do Capítulo

- O catálogo SSC, utilizado neste trabalho para fornecer magnitudes na banda b_J , bem como outros parâmetros fotométricos, apresenta uma incerteza nas magnitudes da ordem de 0.2 mag, e uma perda de 15% na completeza de galáxias até o limite $b_J = 20.2$, considerado como limite para o presente trabalho.
- Para as magnitudes na banda R construímos um catálogo a partir da digitalização com a máquina APM de filmes obtidos no ESO. Esses dados foram calibrados com observações CCD para 18 galáxias, com uma incerteza final também da ordem de 0.2 mag. Com a combinação dos dados nas duas bandas, a completeza final é da ordem de 75%.
- As galáxias da região de Aquarius são ligeiramente mais avermelhadas que amostras de comparação, e apresentam um excesso nas contagens a partir das magnitudes $b_J = 18.5$ e $R = 17.5$.
- As incertezas astrométricas relativas dos 2 catálogos são da ordem de $1''$, com desvios sistemáticos menores ou da ordem de $0.3''$.
- Foram observadas espectroscopicamente 993 galáxias da região que, somadas às velocidades disponíveis na literatura perfazem um total de 1594 galáxias com velocidades medidas.
- Tais velocidades foram obtidas em 25 missões de observação, e tem incertezas da ordem de 100 km s^{-1} .

Capítulo 3

Identificação de Aglomerados de Galáxias

Existem vários catálogos de aglomerados de galáxias disponíveis na literatura, detectados nas faixas espectrais óptica, infravermelha próxima e dos raios-X. Porém, grande parte deles compreendem apenas pequenas regiões do céu — desde os primeiros, que compreendiam os aglomerados muito próximos (e.g., Shapley, 1933; Klemola, 1969; Sersic, 1974), até alguns mais modernos e sofisticados que alcançam grandes profundidades (e.g., Postman et al., 1996; Scodreggio et al., 1999). O primeiro grande catálogo de aglomerados, compilado sistematicamente a partir da inspeção visual de placas 103a-E do *Palomar Observatory Sky Survey* (POSS), foi o de Abell (1958), que cobria quase todo o Hemisfério Celeste Norte e parte do Sul ($\delta > -27^\circ$). Outro catálogo quase tão amplo, mas que por ter sido construído com critérios menos restritivos e rigorosos não foi tão amplamente utilizado como o de Abell, foi o de Zwicky et al. (1961-68). O catálogo de Abell atingiu uma cobertura praticamente completa do céu com a sua versão ampliada, a partir da inspeção visual de placas IIIa-J do UKSS para o restante do Hemisfério Celeste Sul (Abell, Corwin & Olowin, 1989, ACO). Depois de uma grande revolução na Astrofísica Extragaláctica promovida por esses catálogos, vieram os primeiros catálogos construídos a partir de dados digitalizados, os chamados catálogos “baseados em máquina”, dos quais os de maior destaque são o de Edinburgh-Durham (Lumsden et al., 1992) e o da máquina APM (Dalton et al., 1997). A região de Aquarius está contida na região coberta pelos catálogos Abell/ACO¹, Edinburgh-Durham e APM, dos quais

¹Utilizaremos os termos “aglomerado Abell” e “aglomerado ACO” quando nos referirmos a objetos de cada um dos catálogos independentemente; e “aglomerado Abell/ACO” quando nos referirmos ao conjunto de

discutiremos as identificações abaixo (seções de 3.1.1 a 3.1.3).

Mais recentemente, aglomerados de galáxias tem sido identificados a partir da emissão em raios-X do gás do seu meio intra-aglomerado. Sabe-se que estes sistemas emitem raios-X desde a detecção do aglomerado de Coma pelo satélite *Uhuru* (Gursky et al., 1971). Aproximadamente 20 satélites já foram construídos e lançados para observar o céu na faixa dos raios-X, e vários deles produziram catálogos de aglomerados que emitem nessa faixa. Descreveremos abaixo alguns desses catálogos que detectaram emissão em raios-X de aglomerados da região de Aquarius (seção 3.1.4).

Além da utilização de catálogos de aglomerados da literatura, realizamos também identificações aplicando outros métodos automáticos de detecção de concentrações superficiais aos dados fotométricos descritos no capítulo 2. Existem vários métodos de detecção de estruturas em duas dimensões, nominalmente o de contagens-em-células (e.g., Geller & Beers, 1982; Lidman & Peterson, 1996), o da transformada de *wavelets* (e.g., Escalera et al., 1994; Grebenev et al., 1995), o de filtros combinados (e.g., Postman et al., 1996; Kawasaki et al., 1998), o da seqüência vermelha no diagrama cor-magnitude (e.g., Yee, Gladders & López-Cruz, 1999; Gladders & Yee, 2000), o de *kernels* adaptativos (e.g., Pisani, 1993, 1996), o de flutuações de brilho superficial (e.g., Dalcanton, 1996; Zaritsky et al., 1997), o de *Voronoi tessellations* (Ramella et al., 2001) e o que usa o fenômeno de *weak lensing* (Wittman, 2001). O primeiro que escolhemos foi o de contagens-em-células por ser o mais simples e adaptável, o que satisfazia ao projeto em sua fase inicial. O método de flutuações de brilho é indicado para aglomerados muito distantes, enquanto o da seqüência vermelha necessita de fotometria profunda e de menor erro que a fotográfica permite. Acabamos por escolher o de filtros combinados entre os restantes. Os dois métodos utilizados e os resultados obtidos também serão descritos abaixo (seções 3.2 a 3.3).

3.1 Catálogos de Aglomerados da Literatura

3.1.1 Catálogos Abell e ACO

Os catálogos de Abell (1958) e Abell, Corwin & Olowin (1989) tem sido a principal referência sobre aglomerados de galáxia desde a sua construção, bem como os mais utilizados para a seleção de sub-amostras para estudos estatísticos. Embora a identificação tenha sido visual, os critérios para a definição dos aglomerados, ditos ricos, foram bem definidos:

aglomerados formado pelos dois catálogos

- riqueza — conter pelo menos 50 (30 no caso do catálogo suplementar) galáxias mais brilhantes que $m_3 + 2$, onde m_3 é a magnitude da terceira galáxia mais brilhante;
- compactação — estarem as 50 ou mais galáxias contidas dentro de uma área de raio $(1.71'/z_{est})$, o que equivale a $1.5 h^{-1}$ Mpc (o raio Abell = r_A) à distância do aglomerado;
- distância — ser distante o bastante para ser coberto por uma única placa fotográfica ($z_{est} > 0.02$) e próximo o bastante para ter o intervalo de magnitudes até $m_3 + 2$ dentro do limite de magnitudes das placas, ou seja $m_3 \leq 17.5$ ($z_{est} \lesssim 0.2$);
- latitude galáctica — não se encontrar numa área com grande obscurecimento galáctico ($b \gtrsim 30^\circ$).

Os redshifts foram estimados a partir de uma relação para m_{10} , a magnitude da décima galáxia mais brilhante dos aglomerados. Embora os critérios tenham sido os mesmos tanto para o catálogo Abell quanto para o ACO, existem algumas diferenças, além da utilização de material fotográfico distinto. A correção nas contagens para a contaminação por galáxias de campo, por exemplo, foi “local” para o catálogo Abell, estimada a partir de uma região supostamente livre de aglomerações, enquanto para o catálogo ACO foi utilizada uma correção “universal” a partir da função de luminosidade para o Universo Local.

O catálogo Abell contém 2712 aglomerados ricos, dos quais 1682 foram selecionados pelo autor como fazendo parte de uma amostra estatisticamente homogênea. O catálogo ACO, por sua vez, contém outros 1361 aglomerados ricos, somando um total de 4073 aglomerados nos dois hemisférios. O catálogo ACO também apresenta uma lista suplementar de 1174 aglomerados menos ricos e/ou mais distantes que os do catálogo principal. Apresenta ainda uma lista de aglomerados numa zona de superposição entre os levantamentos do norte e do sul, de 10° , que inclui a região de Aquarius. Em consequência dessa superposição, alguns aglomerados de Aquarius tem estimativas diferentes de classes de riquezas e distâncias nos dois catálogos; quando isso ocorreu, utilizamos as estimativas do segundo neste trabalho.

Além da subjetividade advinda da identificação visual, os catálogos Abell/ACO são baseados em detecções em duas dimensões e, portanto, sujeitos a contaminação por efeitos de projeção e incompletude (não identificação de aglomerações reais). Vários autores avaliaram esses catálogos ou partes deles. Lucey (1983b), por exemplo, estimou que 15-25% dos aglomerados da amostra estatística do catálogo Abell tem uma população real que é menor que a metade da estimada. Quanto à completude, ele estimou ser em torno de 70-85%. Katgert et al.

(1996), utilizando uma amostra de 79 aglomerados com pelo menos 15 galáxias com *redshift* medido, estimaram que aproximadamente 10% dos aglomerados Abell/ACO com $\mathcal{R} \geq 1$ e $z \leq 0.1$, são resultado da superposição de dois sistemas de igual riqueza mas relativamente pobres, sendo, portanto, os casos de contaminação. A partir de simulações de N-corpos, van Haarlem, Frenk & White (1997) encontram maiores valores para a contaminação de catálogos tipo Abell/ACO — 34% dos aglomerados sendo resultado da superposição de concentrações intrinsecamente pobres — e também uma baixa completeza, 68%. Uma estimativa mais recente da contaminação desses catálogos vem da sua comparação com os dados preliminares do *Two degree Field Redshift Survey* (2dFRS, Colless et al., 2001): 10-15%.

Na região de Aquarius são encontrados 48 aglomerados no catálogo de Abell, 7 na parte complementar do ACO e 3 no catálogo de aglomerações suplementares, ou seja um total de 58 objetos. Tais aglomerados estão distribuídos, segundo suas classes de riqueza (\mathcal{R}), como se segue: 2 com $\mathcal{R} = 3$, 11 com $\mathcal{R} = 2$, 22 com $\mathcal{R} = 1$ e 23 com $\mathcal{R} = 0$. Quanto às classes de distância (\mathcal{D}), 40% tem $\mathcal{D} = 5$ e 60% tem $\mathcal{D} = 6$, o que sugere que a grande maioria deva estar a uma distância acima de $z \sim 0.09$ (Abell, 1958).

A figura 3.1 mostra a distribuição de aglomerados Abell/ACO (excluindo os do catálogo suplementar) nos dois hemisférios galáticos ($|b^II| \geq 10^\circ$). Várias concentrações de aglomerados podem ser notadas — uma das mais conspícuas, porém, está localizada a aproximadamente $\ell^{II} = 40^\circ$, $b^{II} = -70^\circ$, que é a concentração de aglomerados em Aquarius.

A região considerada compreende uma área de $10.4^\circ \times 6.4^\circ$, cuja densidade média de aglomerados Abell/ACO (excluindo os do catálogo suplementar) é $0.83 \text{ agl}/\square^\circ$. Se compararmos esse número com a densidade de aglomerados numa faixa de 15 graus na mesma latitude galática que Aquarius, encontramos uma sobredensidade superficial maior que 4 em Aquarius.

3.1.2 Catálogo EDCC

O *Edinburgh-Durham Cluster Catalog* (EDCC, Lumsden et al., 1992) foi o primeiro catálogo completamente automatizado de aglomerados e grupos de galáxias. A fonte básica dos dados de galáxias utilizados na sua construção foi o EDSGC (Heydon-Dumbleton, Collins & MacGillivray, 1989), produzido, por sua vez, a partir da digitalização de placas do UKSS pela máquina COSMOS.

A detecção dos aglomerados foi feita a partir da aplicação de um algoritmo de contagem em células e posterior aglutinação de “píxeis” acima de um nível de corte — como num algoritmo

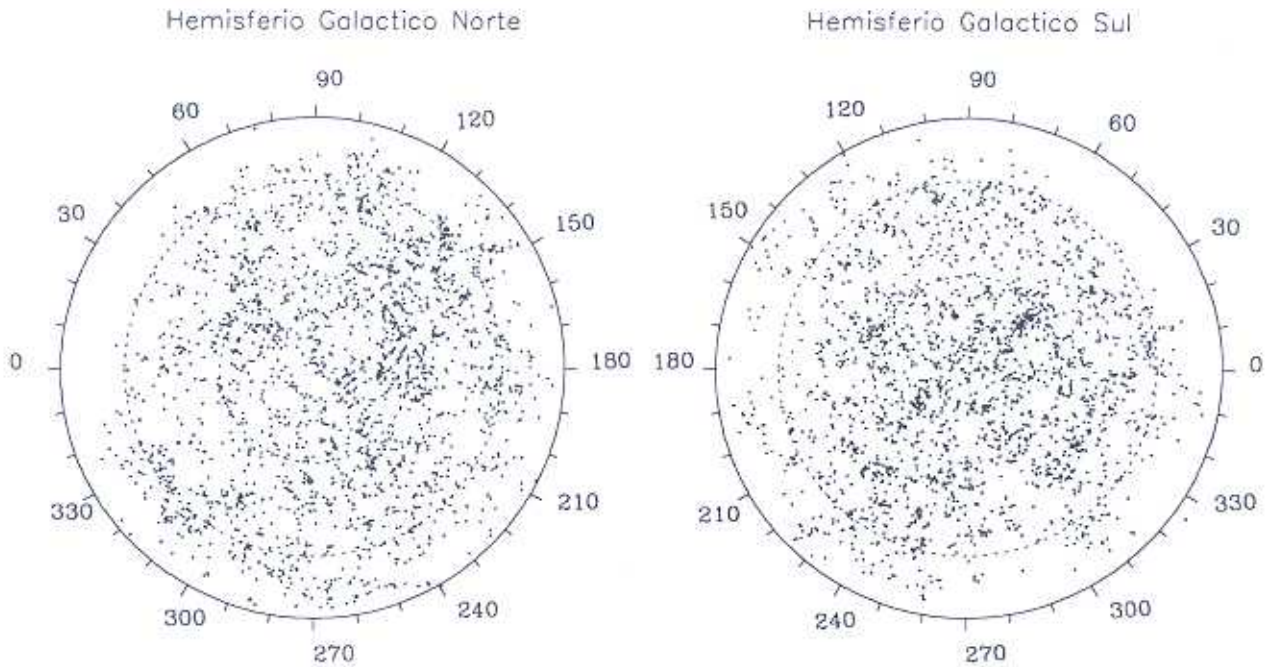


Figura 3.1: Distribuição dos aglomerados Abell/ACO nos dois Hemisférios Galácticos ($|b^{II}| \geq 10^\circ$). Os círculos tracejados representam os paralelos $|b^{II}| = 30^\circ$ e $|b^{II}| = 60^\circ$, respectivamente de fora para dentro. A concentração de Aquarius tem coordenadas galácticas médias $b^{II} = -68^\circ$, $l^{II} = 41^\circ$.

de detecção de galáxias e estrelas numa imagem fotográfica do céu. O céu subtraído foi local, estimado numa área de $4^\circ \times 4^\circ$ centrada no candidato a aglomerado. O cálculo dos parâmetros dos aglomerados e a seleção final dos objetos a entrarem no catálogo seguiu basicamente os mesmos critérios da construção dos catálogos Abell/ACO. Contudo, a magnitude limite considerada [$m_{10}(b_J) \leq 18.75$] e os critérios de rejeição mais rigorosos durante o processo de cálculo dos parâmetros, levaram a um catálogo menos denso e levemente menos fundo que o anterior. O EDCC é considerado pelos autores 90% completo para aglomerados do tipo de Abell. A contaminação foi estimada por De Propris et al. (2001) como sendo de 8-13%, levemente menor que a dos catálogos Abell/ACO. Esse catálogo cobre apenas metade da região de Aquarius (35°), para a qual contém 18 aglomerados identificados, a maioria correspondendo a aglomerados Abell/ACO exceto 3. O EDCC cobre a Calota Galáctica Sul e compreende 737 aglomerados, o que representa uma densidade superficial média de 0.45

agl/ \square° . Considerando apenas a parte da região de Aquarius coberta pelo EDCC, a densidade superficial é de 0,54 agl/ \square° .

3.1.3 Catálogo APM

O *Automatic Plate Measuring machine Cluster Catalog* (APMCC, Dalton et al., 1997) também usou um algoritmo automático para a detecção de aglomerados, neste caso baseado na técnica de percolação (a ser descrita no capítulo 5). A base de dados de galáxias utilizada foi o AP-MGC (Maddox et al., 1990), também obtido das placas do UKSS, digitalizadas pela máquina APM (Kibblewhite et al., 1984).

Os critérios para a seleção dos aglomerados e cálculo dos parâmetros também foram baseados nos critérios de Abell, mas com algumas definições diferentes. O raio do aglomerado, dentro do qual se faz a contagem do número de galáxias para estimar a riqueza, foi definido como $r_{APM} = 0.75 h^{-1}$ Mpc, metade do r_A , portanto. O intervalo de magnitudes considerado também foi menor, 1,5 mag, definido como sendo entre $(m_X - 0.5, m_X + 1.0)$, onde $X = \mathcal{R}/2.1$. A definição de uma magnitude de referência dependente da riqueza foi escolhida para evitar o “Efeito Scott”, que se supõe os catálogos Abell/ACO estejam sujeitos: a m_{10} de um aglomerado rico seria mais intrinsecamente brilhante (maior magnitude absoluta) que a m_{10} de um aglomerado pobre devido a diferença nas suas Funções de Luminosidade. O céu subtraído foi local, estimado num anel entre 5 e 6 vezes r_{APM} . Com estes critérios, o APMCC conseguiu ter uma menor contaminação (3-5% conforme De Propris et al., 2001) que os seus predecessores, mas pagando o preço de ser o menos profundo dos 3 catálogos já descritos.

O APMCC tem 17 aglomerados em Aquarius, região que é completamente coberta por esse catálogo, dos quais apenas 2 não correspondem a aglomerados Abell. A densidade superficial dos aglomerados APMCC em Aquarius é 0,29 agl/ \square° , em contraste a 0,22 agl/ \square° dos 937 objetos do catálogo completo, que também cobre a Calota Galáctica Sul (compreendendo uma área maior que o EDCC).

3.1.4 Aglomerados com Emissão em Raios-X

Descreveremos abaixo algumas características importantes das observação de raios-X que detectaram a emissão extensa de aglomerados de Aquarius. Os aglomerados detectados são listados na tabela 3.1. Um dos primeiros catálogos de aglomerados com emissão de raios-X a serem publicados foi o produzido com os dados do satélite *HEAO-1* (Kowalski et al., 1984), a partir de observações na direção dos aglomerados ópticos do catálogo Abell e do catálogo

de aglomerados na Calota Celeste Sul de Duus & Newell (1977). Tais observações foram feitas na faixa de 2-6 keV, e determinaram a emissão do gás intra-aglomerado como sendo na faixa de 7.8×10^{42} a 2.7×10^{45} erg s⁻¹. Nesta faixa e com as limitações de resolução angular e tempo de exposição dos instrumentos do *HEAO-1*, foi detectada emissão em raios-X em 128 aglomerados Abell e 74 do catálogo do Sul. O sucessor desse satélite, o *HEAO-2*, codenominado *Observatório Einstein*, propiciou a produção de vários catálogos a partir de suas diversas reduções. A faixa espectral coberta por esse satélite foi de 0.1-4 keV. O primeiro catálogo foi do *Extended Medium Sensitivity Survey* (EMSS, Gioia et al., 1990), que identificou 104 aglomerados (Henry et al., 1992; Gioia & Luppino, 1994) dentre as suas 835 detecções serendípicas. Depois foi o *Einstein Slew Survey* (1ES, Elvis et al., 1992), que detectou 78 aglomerados com uma cobertura de apenas ~50% do céu. A última dessa série de reduções foi a que deu origem ao *Einstein eXtended Source Survey* (EXSS, Oppenheimer et al., 1997), agora com algoritmos desenvolvidos especificamente para detecção de fontes extensas como os aglomerados de galáxias. Das 1326 detecções, mais de 400 foram associados a aglomerados já identificados na faixa óptica, enquanto parte das 321 fontes não identificadas poderiam estar associadas a novas detecções de aglomerados em raios-X. Na última década do século XX foram lançados vários outros satélites, grande parte dos quais ainda se encontram em atividade e muitos ainda não disponibilizaram todos os seus resultados. Dentre os que já tem o processamento avançado está o satélite *ROSAT*, que apresenta como vantagem, em relação aos anteriores, uma maior resolução angular e maior sensibilidade. Desses dados saíram dois grupos de catálogos, os obtidos a partir do *ROSAT All-Sky Survey* (RASS, Ebeling et al., 1993) e os obtidos do *ROSAT PSPC* (Vikhlinin et al., 1998). Apenas dois dos catálogos do primeiro grupo (os que cobrem o Hemisfério Celeste Sul) contém aglomerados na região de Aquarius. Um deles, o XBACs, é composto de observações de raios-X de amostras selecionadas no óptico — dos catálogos Abell/ACO — e o outro, REFLEX, que inclui também aglomerados detectados originalmente na banda de raios-X.

3.2 Aplicação do Método de Filtros Combinados

3.2.1 Descrição e Parâmetros Iniciais

O método de filtros combinados é uma técnica utilizada para identificar objetivamente contrastes de densidade superficiais, a partir de posições projetadas e magnitudes, baseada nos métodos da máxima verossimilhança. Basicamente, ele usa “filtros” — fórmulas paramétricas

Tabela 3.1: Detecções de Aglomerados de Aquarius na Faixa de Raios-X

Satélite	instrumento/ catálogo	banda (keV)	aglomerados detectados	fontes X	refs.
HEAO 1	A-1	2-6	A2550*	1H2307-222	Kowalski et al. (1984)
HEAO 2		0.1-4	A2521, A2576, A2577, A2580		Abramopoulos & Ku (1983)
"	EMSS	0.3-3.5	A2580	MS2318.7-2328	Gioia et al. (1990)
"	SLEW	0.2-4	A2556	1ES2310-219	Elvis et al. (1992)
"	EXSS		A2521	EXSS 2259.5-2216	Oppenheimer et al. (1997)
"	"	...	A2534	EXSS 2304.9-2257	Oppenheimer et al. (1997)
"	"	...	A2536	EXSS 2304.8-2238	Oppenheimer et al. (1997)
"	"	...	A2556	EXSS 2310.3-2153	Oppenheimer et al. (1997)
"	"	...	A2580	EXSS 2318.7-2327	Oppenheimer et al. (1997)
ROSAT	XBACS		A2556	1RXS J231302.2-213807	Ebeling et al. (1996)
"	"	...	A2566	1RXS J231607.5-202739	Ebeling et al. (1996)
"	"	...	A2580	1RXS J232125.9-231230	Ebeling et al. (1996)
"	"	...	A2606	1RXS J232939.6-211123	Ebeling et al. (1996)

*Os aglomerados A2556, A2540, A2554 e A2555 se encontram dentro da caixa de erro, de forma que também foram apontados como possíveis fontes.

para a função de luminosidade e o perfil radial — que suprimem flutuações na densidade de galáxias que não são geradas por aglomerados de galáxias, sendo otimizado para detectar sinais fracos em fundos dominados pelo ruído. Foi proposto inicialmente por Postman et al. (1996), mas outras versões foram propostas também por Kawasaki et al. (1998) e Kepner et al. (1999). Usamos neste trabalho a versão de Kawasaki et al. (1998), com a colaboração do próprio autor (Caretta et al., 2002, cf. Apêndice B).

Para os dados de Aquarius foram adotados como filtros o modelo de King (1966), para o perfil radial, e a distribuição de Schechter (1976), para a função de luminosidade. Qualquer função bidimensional assumida para uma distribuição radial, como o perfil de King, supõem uma distribuição radial circularmente simétrica, o que constitui uma das limitações do método dos filtros combinados, assim como a parametrização da distribuição de luminosidades. Para a função de King foi fixado $\log[r_{\text{maré}}/r_c] = 2.25$, onde $r_{\text{maré}}$ é o raio de maré (“limite” do aglomerado) e r_c o raio do caroço (ou raio de *core*, do inglês), enquanto para a função de Schechter foram utilizados: $\alpha = -1.25$, $M_{b_j}^* = -19.85 + 5 \log[h]$, e $M_R^* = -21.3 + 5 \log[h]$, esses últimos (inclinação, α , e magnitude característica, M^*) sendo típicos de aglomerados pobres de galáxias (e.g., Valoto et al., 1997). Para a correção K foram utilizadas as fórmulas

para E/S0 definidas por Shanks et al. (1984). Outros parâmetros que são considerados pelo presente método são o desvio para o vermelho do aglomerado, z_{MF} , e sua riqueza, \mathcal{N}_{MF} . A \mathcal{N}_{MF} é definida como sendo o número de galáxias membros do aglomerado com magnitude menor que $m^* + 5$ e dentro de $1.5h^{-1}$ Mpc de raio do seu centro. Nesta análise, os únicos parâmetros não fixados são r_c , z_{MF} e \mathcal{N}_{MF} .

A aplicação do método aos dados de Aquarius consistiu na comparação do modelo dos filtros à distribuição real de galáxias em regiões de 0.2° , em posições espaçadas de 0.02° , e ao cálculo de um valor de verossimilhança para cada ponto dessa rede. Apenas as galáxias nos intervalos de magnitude $16.0 < b_J < 20.2$ e $17.0 < R < 19.5$ foram consideradas, respectivamente para os dados b_J e R , praticamente as faixas de magnitude avaliadas como ótimas (veja detalhes dos dados no capítulo 2). Na primeira etapa do processo foram fixados os parâmetros (z_{MF} , r_c) em $(0.2, 50h^{-1} \text{ kpc})$ e o valor de \mathcal{N}_{MF} ajustado a fim de maximizar a verossimilhança e simplificar os cálculos. Foi construído, então, um “mapa de riquezas”, que posteriormente foi suavizado com a aplicação de um filtro Gaussiano com $\sigma = 0.1^\circ$. Os candidatos a aglomerados são detectados a partir dos picos locais com $\mathcal{N}_{MF} > 200$ (equivalente a $\mathcal{R} \sim 0$). Na etapa seguinte os valores de r_c e z_{MF} foram varridos nos intervalos $0.04 < z_{MF} < 0.28$ e $10 < r_c/(h^{-1} \text{ kpc}) < 400$ para b_J e $0.06 < z_{MF} < 0.3$ e $15 < r_c/(h^{-1} \text{ kpc}) < 600$ para R , respectivamente, para estimar o redshift do candidato a aglomerado e depois recalculá-lo a sua riqueza final. Também é calculada uma riqueza “tipo Abell” para os candidatos, \mathcal{C}_{MF} , a partir de \mathcal{N}_{MF} , usando uma relação entre essas duas riquezas obtida a partir de simulações de Monte Carlo. Incertezas nessas quantidades estimadas, também obtidas a partir de simulações de Monte Carlo, são de 0.03 em redshifts e 20% nas duas riquezas.

3.2.2 Identificações nas Bandas b_J e R

Na banda b_J foram detectados 57 candidatos a aglomerados em Aquarius. Dois desses foram descartados por estarem claramente associados a contaminações por estrelas brilhantes e um por estar fora da região final considerada. Dos outros 54, 18 são novas identificações. O mapa de riquezas obtido para esses dados é mostrado na figura 3.2a, com os picos selecionados marcados por cruzes.

Com os dados na banda R foram identificados 44 candidatos, dos quais 26 são em comum com as detecções da banda b_J . Desses, apenas 1 é uma nova identificação, mas, do total, 9 são novos. A figura 3.2b mostra o mapa de riquezas para esses dados, novamente com os picos

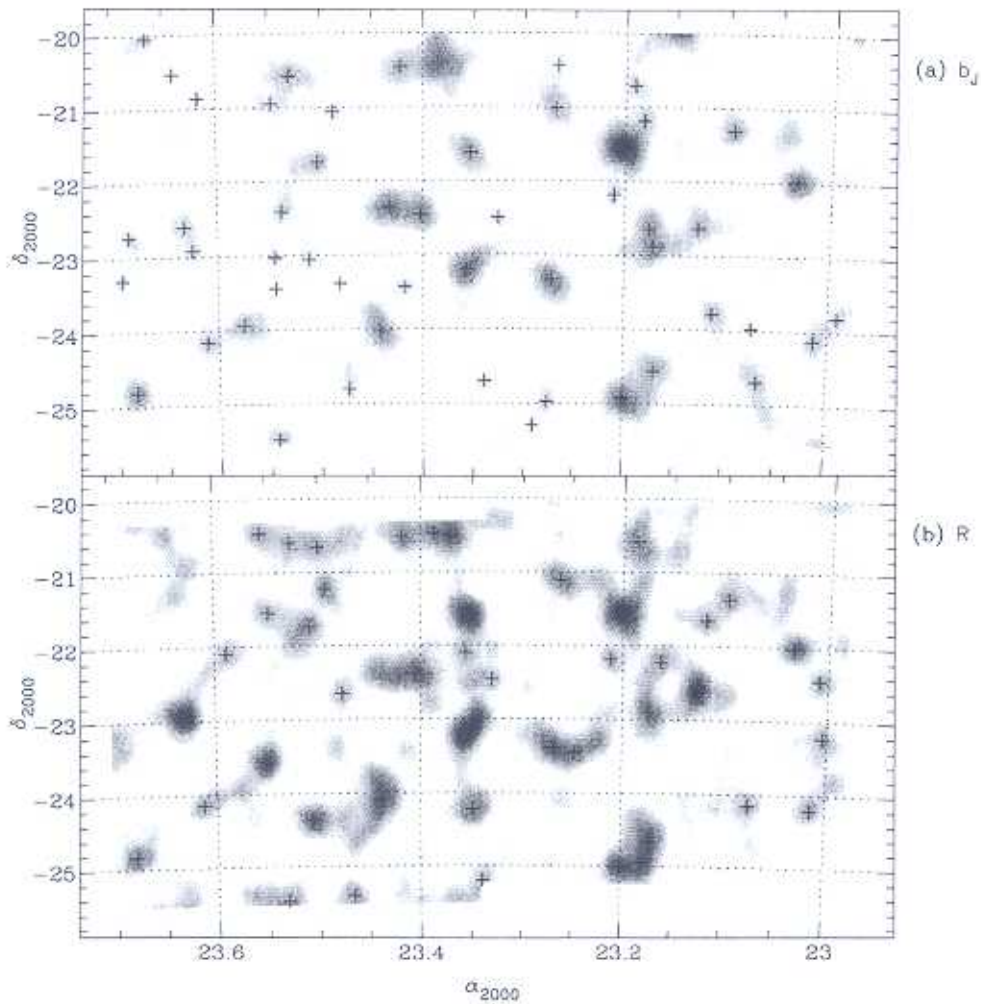


Figura 3.2: "Mapa de riquezas" obtido pelo método de filtros combinados, para os dados da banda b_J (a) e R (b). As identificações estão marcadas com o símbolo +.

de $N_{MF} > 200$ marcados por cruces.

As comparações dos valores encontrados para os parâmetros C_{MF} e z_{MF} , entre as duas amostras (b_J e R), são mostradas nos painéis (a) e (b) da figura 3.3. As dispersões encontradas foram respectivamente de 24 e 0.03, comparáveis às incertezas estimadas a partir das simulações. Porém, para o parâmetro z_{MF} , há uma diferença de "ponto zero" entre as medidas para as duas amostras, no sentido que as obtidas na banda R são sistematicamente maiores que as obtidas na banda b_J . Para 34 dos 54 aglomerados identificados na banda b_J nós temos observações espectroscópicas que nos permitiram obter um *redshift* médio para o candidato a aglomerado ($z_{med} = \bar{z}$, a ser discutido no capítulo 4). A comparação entre

os valores medidos e os valores estimados pelo método dos filtros combinados aplicado aos dados b_J é mostrada no painel (c) da figura 3.3. Analogamente, no painel (d) da figura 3.3, a mesma comparação é feita para os 30 aglomerados com z_{med} dos 44 identificados na banda R . Novamente as dispersões são da ordem de 0.03 em ambos os gráficos. A diferença observada anteriormente entre as medidas nas duas bandas fica clara aqui: as determinações na banda b_J são sistematicamente subestimadas enquanto as determinações na banda R são superestimadas.

3.3 Aplicação do Método de Contagens em Células

O método de contagens-em-células foi um dos primeiros a serem aplicados aos dados de galáxias para a identificação de aglomerados. Foi utilizado, por exemplo, na construção dos catálogos de Shectman (1985) e EDCC. A aplicação desse método aos dados de Aquarius visou a identificação adicional de possíveis aglomerados mais pobres ou grupos, bem como a detecção de subestruturas em aglomerados (e.g., Geller & Beers, 1982). Tais adensamentos podem fazer a ligação entre aglomerados mais ricos, permitindo traçar estruturas de menor contraste como filamentos e paredes, esperados em superaglomerados de galáxias. Embora este método utilize apenas os dados posicionais das galáxias, o que o torna, a princípio, mais susceptível à detecções falsas do que o de filtros combinados, fizemos algumas otimizações na implementação do método aos dados de Aquarius. A primeira delas foi utilizar um passo menor que a célula para suavizar os mapas de contorno de densidades superficiais. Depois ajustamos a resolução, determinada pelo passo, a partir da distância estimada para o maior superaglomerado esperado na região. Para Aquarius, foram utilizadas células quadradas de $5' \times 5'$ e um passo de $2.5'$, o que equivale a uma resolução de $0.2h^{-1}$ Mpc para $z \sim 0.11$. A eficiência dessas implementações foi estimada com a aplicação desse método de contagens-em-células ao *Updated Zwicky Catalog* (UZC, Falco et al., 1999), com *redshifts* para as galáxias do catálogo de galáxias de Zwicky et al. (1961-68). A região coberta por esse catálogo inclui a "Grande Parede" (e.g., Ramella, Pisani & Geller, 1997), que contém os superaglomerados de Coma-A1367 e Hércules. A resolução foi ajustada para a distância da Grande Parede na região do superaglomerado de Coma-A1367. Os resultados obtidos foram comparados com o catálogo de grupos identificados no UZC por Merchán, Maia & Lambas (2000). Para o catálogo como um todo ($0.007 < z < 0.050$) a taxa de detecção total foi de 80% dos grupos no UZC, enquanto para a distância da Grande Parede ($0.020 < z < 0.033$) a taxa de detecção foi

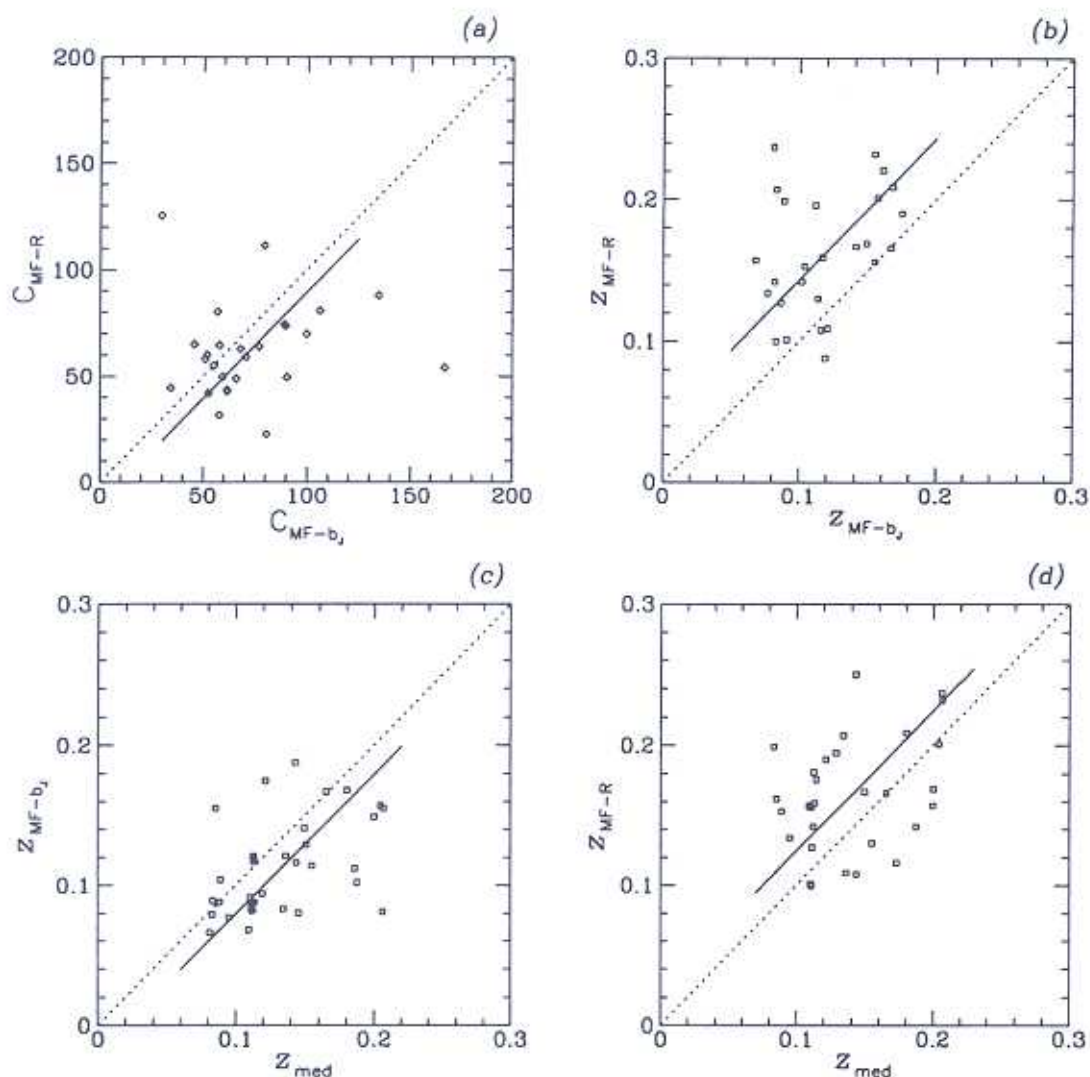


Figura 3.3: Comparação dos valores estimados de C_{MF} (a) e z_{MF} (b) obtidos dos dados nas bandas b_J e R ; e comparação dos valores estimados com os valores medidos de z_{MF} nas duas bandas [respectivamente (c) e (d)].

de 90%. A terceira implementação foi a utilização dos dados de índices de cor das galáxias de Aquarius. O algoritmo foi aplicado a 3 amostras: os dados b_J , os dados R e para as galáxias mais vermelhas que $(b_J - R) = 1.5$, tipicamente mais vermelhas que galáxias Sab (Fukugita, Shimasaku & Ichikawa, 1995), partindo do resultado de que a relação morfologia-densidade é estatisticamente válida tanto para aglomerados quanto para grupos de galáxias (Maia & da Costa, 1990).

Os mapas de contornos de isodensidades superficiais para Aquarius estão mostrados nas figuras 3.4, respectivamente para $b_J \leq 20.2$, $R \leq 19.5$ e $(b_J - R) \geq 1.5$. Foram consideradas detecções os picos com densidades superficiais maiores que 3 vezes o desvio padrão da densidade do fundo (σ_{fundo}) em pelo menos dois dos mapas. Das detecções encontradas, 65, foi selecionada também uma subamostra com detecções comuns nos 3 mapas, com 38 candidatos (denominada amostra SD-1). A amostra total foi denominada SD-2. Os mapas de densidade foram utilizados também para a seleção de campos para as observações espectroscópicas, colocados sobre os picos de densidade internos ao candidato a aglomerado, o central e os de subestruturas quando presentes. Das 65 identificações, 13 são novas detecções.

3.4 Avaliação das Detecções de Aglomerados/Grupos

A tabela 3.2 mostra a comparação da fração de sistemas que um catálogo (linhas) identifica dos outros (colunas). Os catálogos Abell/ACO e SD-2 detectam, em média, respectivamente 75% e 85% dos objetos dos outros catálogos. São os catálogos mais densos. Os catálogos SD-1, MF- b_J e MF- R , por sua vez, detectam em torno de 60-65%, enquanto o EDCC e o APMCC detectam 50% e 25%, respectivamente, dos outros catálogos.

Tabela 3.2: Porcentagens de detecções cruzadas

"Fiducial" →	ACO	EDCC	APMCC	MF- b_J	MF- R	SD-1 ^b	SD-2 ^c
Detecções ^a →	58	18	17	54	44	38	65
ACO	...	83	88	59	75	84	68
EDCC	49	...	67	56	36	51	39
APMCC	26	33	...	22	21	29	25
MF- b_J	55	89	71	...	59	71	54
MF- R	68	56	63	57	...	68	55
SD-1 ^b	66	67	77	59	59	...	...
SD-2 ^c	90	89	100	77	82	...	...

^aNúmero de aglomerados no catálogo

^bAgregados detectados acima de $3\sigma_{fundo}$ em 3 mapas

^cAgregados detectados acima de $3\sigma_{fundo}$ em ≥ 2 mapas

Usando os dados de velocidades médias dos aglomerados, a serem discutidos no próximo capítulo, foi possível fazer uma estimativa grosseira da profundidade de cada um dos catálogos,

a partir da média dos *redshifts* do quartil superior de aglomerados mais distantes de cada um. Assim, para os catálogos Abell/ACO, para os quais temos velocidades médias para 98% dos aglomerados, confirmamos a profundidade esperada da literatura de $z \sim 0.2$. Para o EDCC e o APMCC as profundidades encontradas foram, respectivamente, $z \sim 0.19$ e $z \sim 0.13$, para a média dos 25% dos aglomerados mais distantes, ambos com 100% de completeza em *redshifts* médios.

3.5 O Catálogo de Aglomerações de Aquarius

A partir da combinação de todas as detecções descritas acima, construímos um catálogo de potenciais candidatos a aglomerados e grupos para a região de Aquarius. Tal catálogo é apresentado na tabela 3.3, onde se pode ver, na coluna (1) o identificador, e nas colunas (2) e (3), as coordenadas J2000.0 do primeiro catálogo no qual o candidato foi identificado. Na coluna (4) estão listados a identificação Abell e na coluna (5) o número de galáxias corrigido da distribuição de fundo, C_A , do catálogo ACO. Os números EDCC são listados na coluna (6), enquanto a coluna (7) contém o número corrigido de galáxias de acordo com Lumsden et al. (1992), C_{ED} . A identificação APMCC é apresentada na coluna (8), seguida na coluna (9) pela riqueza do candidato, C_{APM} , e o *redshift* estimado, z_{APM} , na coluna (10). A riqueza e o *redshift* obtidos com a técnica de filtros combinados são apresentados nas colunas (11) e (12), e (13) e (14), respectivamente para os dados b_J e R . A coluna (15) contém as notas dos aglomerados que foram detectados como fontes de raios-X, e a coluna (16) contém os códigos das detecções na análise de contagem em células. As medidas espectroscópicas para os candidatos, a serem descritas em mais detalhe no próximo capítulo, são mostradas nas colunas de (17) a (22).

No total são 102 candidatos a aglomerados ou grupos na tabela 3.3, dos quais 39 são detecções novas. Um mapa mostrando a distribuição projetada dos objetos na tabela 3.3 é mostrado na figura 3.5, onde se pode perceber que a maioria dos candidatos são detectados em pelo menos dois dos catálogos independentes.

3.6 Resumo do Capítulo

- Para a região de Aquarius de $10^\circ \times 6^\circ$ considerada neste trabalho estão catalogados na literatura 63 aglomerados, sendo 58 nos catálogos Abell/ACO, 18 no EDCC e 17 no

APMCC. Considerando apenas os aglomerados Abell/ACO (sem os suplementares) há uma sobredensidade na distribuição superficial de aglomerados maior que 4 na região.

- Há também 13 aglomerados identificados como fontes de raios-X extensa, mas todos correspondem a aglomerados Abell selecionados para serem observados. Tais identificações são consideradas neste trabalho como corroboração da realidade dos aglomerados como sistemas físicos.
- Com a aplicação do método de filtros combinados aos dados fotométricos da região, detectamos 54 possíveis aglomerados na banda b_J e 44 na banda R , sendo 26 em comum entre eles. Dessas identificações, 26 são novas detecções. Esse método produziu também estimativas de riqueza e *redshift* para os candidatos, que serão utilizados em análises exploratórias nos próximos capítulos, mas as incertezas dessas estimativas são relativamente grandes para a faixa de distâncias considerada.
- Aplicando um algoritmo de contagem-em-células otimizado para a detecção de aglomerações por volta de $z \sim 0.11$ e utilizando também uma amostra de galáxias com cores $b_J - R$ "avermelhadas" além das duas amostras nas respectivas bandas, detectamos em Aquarius 65 possíveis aglomerações. Dessas, 13 são novas detecções.
- Considerando o quartil superior dos *redshifts* médios obtidos para 98% dos aglomerados Abell/ACO e 100% dos aglomerados EDCC e APMCC da região, confirmamos as profundidades esperadas para esses aglomerados, respectivamente $z \sim 0.20$, 0.19 e 0.13.
- Com a compilação dos candidatos a aglomerados detectados em todos os catálogos da literatura e com os métodos aplicados neste trabalho, construímos uma lista com 102 candidatos a aglomerados ou grupos de galáxias para a região.

Tabela 3.3: Candidatos a Aglomerados e Grupos Identificados na Região de Aquarius.

Aqr	Coordenadas (J2000.0)			ACO ^a		EDCC ^b			APMCC			MF-b _J		MF-R		X-ray ^c	3σ ^d	Literatura ^e			Novos ^f		
CC	α (h m s)	δ (° ′ ″)	Nome	C _A	Nr. C _{ED}	Nr. C _{APM}	z _{APM}	C _{MF}	z _{MF}	C _{MF}	z _{MF}	z _{NED}	N _m	Ref.	z _{new}	N _m	Notas	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)		
001	23 57 52.6	-24 55 19	...	...	...	...	...	...	...	31	0.080	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...	...
002	22 57 53.1	-21 43 56	A2509	70(1)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	...	o	0.2306	1	3	0.2305	3	...	...
003	22 58 00.7	-20 50 56	...	...	o	...	...	...	...	32	0.090	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...	...
004	22 58 46.4	-19 58 55	A3949	43(0)	o	...	...	...	...	61	0.114	...	...	...	o	...	...	...	0.1580	6	...	...
005	22 59 27.6	-23 49 01	...	...	...	...	...	...	...	107	0.177	...	...	...	b	...	...	...	0.1177	11	...	...
006	23 00 03.6	-25 35 56	...	...	...	...	...	...	...	55	0.100	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...	...
007	23 00 17.3	-23 11 53	A2534	64(1)	...	...	...	...	...	...	...	...	64	0.216	r	...	...	...	...	...	...	1
008	23 00 31.9	-22 26 49	...	...	...	...	...	...	...	...	...	105	0.252	r	...	...	...	...	...	...	...	...
009	23 00 47.6	-24 09 52	A2518	78(1)	231	21	...	...	...	57	0.083	80	0.207	b, r, c	0.1351	1	3	0.1342	7	2	...	...
010	23 02 12.7	-22 01 12	A2521	103(2)	o	...	845	77	0.117	90	0.121	50	0.109	2, 5	b, r, c	0.1340	2	5	0.1364	17	...	...
011	23 04 04.3	-24 41 20	...	...	...	...	...	...	...	58	0.133	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
012	23 04 05.2	-24 01 49	A2526	53(1)	242	73	...	...	...	55	0.157	55	0.201	r, c	...	...	...	0.2043	6	...	...	...
013	23 04 21.8	-19 54 48	A3964	42(0)	o	...	...	...	...	44	0.100	...	...	...	o	...	...	...	0.1325	4	3	...
014	23 05 11.5	-25 18 48	A2527	68(1)	244	34	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.1630	7	...	...	...
015	23 05 40.1	-21 23 47	A2528	39(0)	o	...	852	66	0.099	66	0.077	49	0.134	b, r, c	0.0955	1	3	0.0949	12	...	...	...
016	23 06 58.0	-21 40 46	A2531	73(1)	o	...	...	...	...	...	...	53	0.118	b, r, c	0.1741	1	3	0.1731	7	...	...	...
017	23 07 34.3	-22 39 45	A2534	110(2)	253	73	...	...	...	90	0.149	74	0.169	5	b, r, c	0.1976	3	1, 3	0.2014	16	...	...
018	23 07 46.2	-22 25 45	A2536	102(2)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	b, r, c	0.1971	1	3	0.1973	4	...	...
019	23 08 27.6	-25 45 19	...	...	...	...	...	...	...	69	0.121	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...	...
020	23 08 35.1	-19 52 29	A2538	72(1)	o	...	859	88	0.086	93	0.079	...	...	...	o	0.0831	42	4	0.0829	44	...	...
021	23 08 45.8	-21 28 44	A2539	66(1)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r, c	0.1735	1	3	0.1863	4	4	...
022	23 08 53.0	-20 47 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	0.0825	6	5	...	...
023	23 09 27.9	-22 09 43	A2540	70(1)	...	...	...	...	...	...	...	61	0.195	1	r, c	0.1297	1	3	0.1290	8	...	...
024	23 09 54.0	-21 30 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	0.1109	7	...	...	...
025	23 10 04.1	-22 57 43	A2541	83(2)	256	51	...	...	...	51	0.117	58	0.159	b, r, c	0.1100	2	9	0.1135	16	6	...	...
026	23 10 04.5	-24 29 43	A2542	57(1)	...	...	...	...	...	71	0.167	59	0.166	...	b, r, c	0.1603	1	3	0.1684	4	...	...
027	23 10 27.6	-24 47 27	...	...	...	...	...	...	...	...	...	51	0.157	...	b, c	...	...	0.1998	5	7	...	...
028	23 10 45.9	-22 39 42	A2546	90(2)	258	41	862	63	0.108	86	0.121	...	...	...	b, r, c	0.1119	1	3	0.1130	22	6	...
029	23 10 51.4	-21 07 42	A2547	84(2)	a	...	...	...	...	82	0.129	...	...	...	b, r, c	0.1501	2	3, 12	0.1517	15	...	...
030	23 11 15.0	-20 47 03	...	...	o	...	...	...	...	81	0.155	...	...	...	b, r, c	...	...	0.1076	9	8	...	...
031	23 11 21.2	-20 25 41	A2548	65(1)	o	...	...	...	...	...	...	23	0.156	...	b, r, c	0.1101	1	3	0.1107	9	...	...
032	23 11 24.0	-21 30 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r, c	...	...	...	...	...	...	...
033	23 11 33.5	-21 44 41	A2550	122(2)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	1	b, r, c	0.1543	1	2	0.1226	6	...	...
034	23 12 10.0	-22 50 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...	...
035	23 12 15.1	-21 33 56	A2554	159(3)	o	...	866	112	0.102	77	0.083	64	0.100	1	b, r, c	0.1111	28	4	0.1108	35	...	...
036	23 12 22.4	-24 56 40	A2553	76(1)	264	56	...	...	...	100	0.141	70	0.167	...	b, r, c	0.1496	2	10	0.1481	4	...	...
037	23 12 45.5	-22 12 40	A2555	72(1)	...	...	...	...	...	53	0.091	42	0.101	1	b, r, c	0.1385	1	3	0.1106	11	...	...
038	23 13 03.3	-21 37 40	A2556	67(1)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	1, 4, 5, 6	b, c	0.0865	2	2, 3	0.0871	9	...	...
039	23 13 15.7	-23 08 40	S1099	17(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b	...	...	0.1104	12	...	...	...
040	23 14 37.0	-23 26 02	...	...	...	...	...	...	...	...	...	49	0.210	...	b, r	...	...	0.0910	6	9	...	...
041	23 15 50.9	-21 06 37	A2565	40(0)	o	...	...	...	...	46	0.089	65	0.199	...	b, r, c	0.1271	1	3	0.0825	12	10	...
042	23 15 57.5	-23 19 37	A3985	36(0)	270	21	874	53	0.080	52	0.068	60	0.157	...	b, r, c	...	...	0.1094	17	...	...	...
043	23 16 00.0	-20 51 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...	...
044	23 16 03.2	-20 27 41	A2566	51(1)	o	...	872	42	0.086	39	0.066	...	...	6	b, c	0.0821	1	3	0.0822	11	...	...
045	23 16 33.6	-24 58 37	...	...	...	...	...	...	...	52	0.110	...	...	...	b	...	...	...	...	...	...	...
046	23 16 57.0	-22 11 36	A2568	35(0)	...	...	876	45	0.112	...	...	...	...	...	b, c	0.1398	1	3	0.1397	6	...	...
047	23 17 32.3	-25 20 45	...	...	275	8	...	...	...	37	0.080	...	...	...	b	...	...	0.1453	6	...	...	...
048	23 17 35.2	-22 37 05	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r	...	...	0.0827	5	8	...	...
049	23 19 44.6	-19 30 04	...	...	o	...	...	...	...	83	0.131	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...	...
050	23 19 50.7	-22 04 34	A2575	80(2)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	r	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 3.3: Continuação ...

Agr	Coordenadas (J2000.0)		ACO ^a	EDCC ^b	APMCC		MF- β_J	MF-R	X-ray ^c	$3\sigma^d$	Literatura ^e			Novos ^f							
CC	α (h m s)	δ (° ' ")	Nome	C_A	Nr. CED	Nr. CAPM	$\pm APM$	C_{MF}	$\pm MF$	C_{MF}	$\pm MF$	X-ray	$3\sigma^d$	$\pm NED$	N_m	Ref.	$\pm NED$	N_m	Notas		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
051	23 19 56.8	-22 30 34	A2576	92(2)	284	31	...	...	...	68	0.102	63	0.142	2	b, r, c	0.1875	10	8	0.1876	10	
052	23 20 03.1	-24 07 34	S1113	8(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b	...	...	...	0.1468	9	11
053	23 20 21.1	-25 11 56	...	...	...	...	...	...	...	...	...	148	0.309	...	b, r	...	...	...	...	...	...
054	23 20 21.1	-24 42 00	...	...	...	...	...	...	...	18	0.041	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
055	23 20 44.8	-22 57 33	A2577	73(1)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	b, r, c	0.1251	1	10	0.1248	7	
056	23 20 24.0	-21 49 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
057	23 21 08.4	-21 33 33	A2579	66(1)	o	...	887	62	0.116	34	0.087	45	0.127	...	b, r, c	0.1117	1	10	0.1114	9	
058	23 21 20.5	-22 06 33	A3996	59(1)	...	...	889	41	0.109	...	...	49	0.162	...	r, c	0.1155	8	14	0.0854	6	8
059	23 21 21.0	-24 10 33	A3997	39(0)	...	...	...	...	...	...	...	65	0.183	...	b, r	...	...	...	0.1478	8	11
060	23 21 54.0	-23 48 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r	...	...	...	...	...	...
061	23 21 23.2	-23 11 16	A2580	62(1)	287	20	888	76	0.116	89	0.104	74	0.153	2,3,5,6	b, r, c	0.1870	1	6	0.0890	17	
062	23 21 24.8	-22 33 10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r	...	...	...	...	...	1
063	23 22 19.2	-20 24 52	A2583	52(1)	o	...	890	57	0.100	...	...	62	0.176	...	b, r, c	0.1160	1	11	0.1145	8	
064	23 23 14.4	-22 49 31	S1117	19(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r, c	...	...	...	...	...	1
065	23 23 25.9	-20 25 31	A2586	46(0)	o	...	...	...	...	62	0.116	44	0.108	...	b, r, c	...	...	...	0.1448	11	
066	23 23 32.3	-22 24 31	A2587	97(2)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	c	...	...	...	0.2157	6	
067	23 24 08.3	-22 33 47	...	...	291	20	...	...	...	167	0.175	54	0.190	...	b, r, c	...	...	...	0.1224	15	
068	23 24 44.3	-23 06 30	A4003	49(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.0866	1	13	0.2159	2	
069	23 24 55.7	-20 31 30	A2595	4	...	...	...	...	...	106	0.168	81	0.209	...	r, c	...	...	...	0.1803	5	
070	23 24 59.0	-23 25 03	A2596	44(0)	293	27	893	46	0.092	52	0.088	...	...	...	b, r, c	...	...	...	0.0892	24	
071	23 25 22.8	-22 26 50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, r, c	...	...	...	0.1226	5	
072	23 25 47.5	-24 06 38	...	...	...	...	894	50	0.116	...	...	...	...	...	b, c	...	...	...	0.1116	6	12
073	23 26 19.5	-24 08 53	...	...	...	...	895	56	0.111	59	0.082	50	0.142	...	b, r, c	0.0850	1	11	0.1116	21	
074	23 26 43.9	-23 50 53	A2599	51(1)	297	60	898	59	0.098	...	...	...	...	...	b, c	0.0889	4	7.9	0.0906	14	13
075	23 26 43.9	-22 24 29	A2600	50(1)	298	25	896	46	0.105	58	0.094	...	...	...	b, r, c	0.1205	12	14	0.1187	13	
076	23 26 44.3	-24 25 29	A2601	63(1)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	r	0.1113	7	14	0.2126	5	
077	23 27 56.4	-25 20 28	A2603	54(0)	...	...	...	...	...	...	...	81	0.231	...	b, r, c	...	...	...	0.2109	6	
078	23 28 11.0	-24 54 26	...	...	300	17	...	...	...	47	0.088	...	...	...	b, c	...	...	...	0.1125	13	
079	23 28 12.0	-23 48 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
080	23 28 31.7	-22 31 28	A2604	31(0)	...	...	...	...	...	...	...	19	0.128	...	r	...	...	...	0.2121	3	
081	23 29 01.8	-23 21 02	A2605	54(1)	303	12	...	...	...	33	0.071	...	...	...	b, c	...	...	...	0.1121	13	14
082	23 29 37.3	-21 13 27	A2606	78(1)	o	...	...	...	...	126	0.188	118	0.250	6	r, c	0.2800	1	12	0.1431	4	
083	23 30 00.0	-20 30 40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	43	0.117	...	c	...	...	...	...	...	...
084	23 30 21.6	-24 21 32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	78	0.191	...	r	...	...	...	...	...	...
085	23 30 31.3	-21 39 27	A2608	59(1)	o	...	...	...	...	62	0.114	43	0.130	...	b, r, c	0.0498	5	14	0.1557	4	
086	23 30 41.5	-23 03 29	...	...	...	...	...	...	...	48	0.125	...	...	...	b	...	...	...	...	...	...
087	23 31 30.0	-21 55 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	r, c	...	...	...	...	...	...
088	23 31 42.2	-20 35 04	...	...	...	...	...	...	...	58	0.119	32	0.088	...	b, r, c	...	...	...	0.1490	4	
089	23 31 43.7	-25 45 07	...	...	...	...	...	...	...	291	0.223	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...
090	23 32 17.3	-22 24 40	...	...	...	...	...	...	...	57	0.132	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
091	23 32 25.7	-25 29 26	A4014	35(0)	...	...	...	...	...	55	0.119	47	0.181	...	b, r, c	0.1128	11	15	0.1130	11	
092	23 32 41.3	-23 01 44	...	...	...	...	...	...	...	72	0.146	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
093	23 32 55.0	-21 34 25	A2614	54(1)	o	...	...	...	...	...	...	46	0.167	...	r	...	...	...	0.1635	4	8
094	23 33 01.4	-23 33 25	A2615	114(2)	...	...	...	...	...	30	0.081	125	0.237	...	b, r, c	...	...	...	0.2061	5	
095	23 33 19.0	-20 28 01	...	...	...	...	...	...	...	...	...	94	0.206	...	...	...	...	...	...	...	...
096	23 34 31.4	-23 56 17	...	...	...	...	...	...	...	67	0.139	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...
097	23 35 21.8	-22 05 42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	50	0.180	...	...	...	...	...	...	...	...
098	23 36 54.0	-23 24 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...
099	23 37 00.9	-24 09 23	A2628	83(2)	324	33	...	...	...	58	0.112	65	0.196	...	b, r, c	0.1858	10	8	0.1858	10	
100	23 37 01.7	-20 51 54	...	...	...	...	...	...	...	87	0.172	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 3.3: Continuação ...

Aqr	Coordenadas (J2000.0)			ACO ^a		EDCC ^b			APMCC		MF- b_J		MF-R		X-ray ^c	3σ ^d	Literatura ^e			Novos ^f		
CC	α (h m s)	δ (° ' ")	Nome	C_A	Nr.	C_{ED}	Nr.	C_{APM}	z_{APM}	C_{MF}	z_{MF}	C_{MF}	z_{MF}			z_{NED}	N_m	Ref.	z_{new}	N_m	Notas	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	
101	23 37 42.7	-22 55 23	A2629	100(2)	...	...	...	...	...	80	0.155	111	0.232	...	r,c	...	...	...	0.2069	7	...
102	23 37 55.9	-22 35 53	...	...	...	...	...	...	...	78	0.154	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

^aOs números em parênteses são as classes de riqueza (\mathcal{R})

^b“o” significa que o aglomerado está fora da região coberta pelo EDCC.

^cFonte de observações em raios-X para aglomerados AqrCC: (1) satélite HEAO-1 (1H); (2) Einstein Observatory (HEAO-2); (3) Einstein extended Medium Sensitivity survey (MS); (4) Einstein Slew survey (1ES); (5) Einstein eXtended Sensitivity Survey (EXSS); (6) ROSAT All-Sky Survey (RASS) — referências na tabela 3.1.

^d“o” significa que o aglomerado está fora da área para a qual temos dados nas duas bandas fotométricas; “b” que ele foi detectado acima de $3\sigma_{fundo}$ no mapa de isocontornos para $b_J < 20.2$; “r” que ele foi detectado acima de $3\sigma_{fundo}$ no mapa de isocontornos para $R < 19.5$; e “c” que ele foi detectado acima de $3\sigma_{fundo}$ no mapa de isocontornos para $(b_J - R) > 1.5$.

^eOs códigos das referências são: (1) Steiner, Grindlay & Maccacaro (1982); (2) Kowalski, Ulmer & Cruddace (1983); (3) Ciardullo, Ford & Harms (1985); (4) Colless & Hewett (1987); (5) Valentijn & Casertano (1988); (6) Stocke et al. (1991); (7) Dalton et al. (1994); (8) Batuski et al. (1995); (9) Collins et al. (1995); (10) Quintana & Ramírez (1995); (11) Dalton et al. (1997); (12) Kapahi et al. (1998); (13) Ratcliffe et al. (1998); (14) Batuski et al. (1999); (15) De Propris et al. (2001).

^fNotas individuais dos candidatos:

- (1) nenhuma concentração detectada no espaço de *redshifts*;
- (2) A2518 — provável superposição de grupos em $z \sim 0.092$ e 0.134 ;
- (3) A3964 — provável superposição de grupos em $z \sim 0.133$ e 0.198 ;
- (4) A2539 — provável superposição de grupos em $z \sim 0.175$ e 0.186 ;
- (5) Aqr.022 — grupo em $z \sim 0.083$ sobreposto a um possível aglomerado em $z \sim 0.128$;
- (6) A2541-A2546 — provavelmente um sistema duplo de aglomerados;
- (7) Aqr.027 — grupo em $z \sim 0.111$ (ou componente dispersa do SA em 0.11) sobreposto a um possível aglomerado em $z \sim 0.200$;
- (8) superposição de pequenos grupos;
- (9) Aqr.040 — superposição de possíveis aglomerados em $z \sim 0.091$ e 0.170 ;
- (10) A2565 — superposição de dois aglomerados pobres ou grupos ricos, respectivamente em $z \sim 0.083$ e 0.129 ;
- (11) S1113-A3997 — provavelmente um sistema duplo de aglomerados;
- (12) APM894 — provavelmente uma subestrutura do aglomerado APM895;
- (13) A2599 — provável aglomerado pobre em $z \sim 0.091$ sobreposto a um aglomerado em $z \sim 0.112$;
- (14) A2605 — superposição de um possível aglomerado em $z \sim 0.089$ a um aglomerado em $z \sim 0.112$;

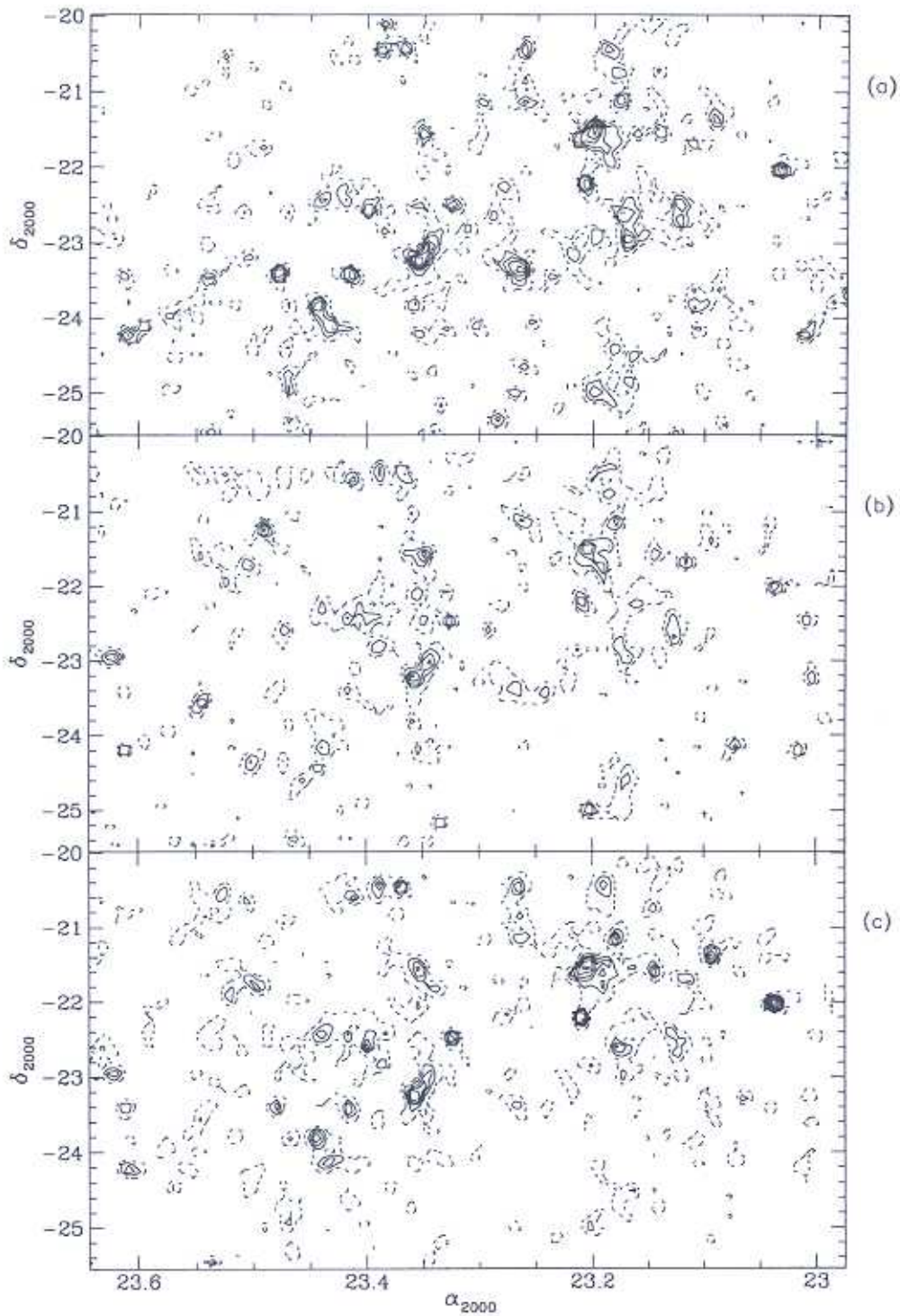


Figura 3.4: Mapas de contornos de isodensidades aplicados aos dados com $b_J < 20.2$ (a), aos dados com $R < 19.5$ (b) e aos dados com $(b_J - R) \geq 1.5$ (c). Os contornos tracejados representam o nível $1.5 \sigma_{fundo}$ acima do nível médio do fundo, enquanto os contornos contínuos correspondem a contagens múltiplas de $1.5 \sigma_{fundo}$ consecutivamente acima.

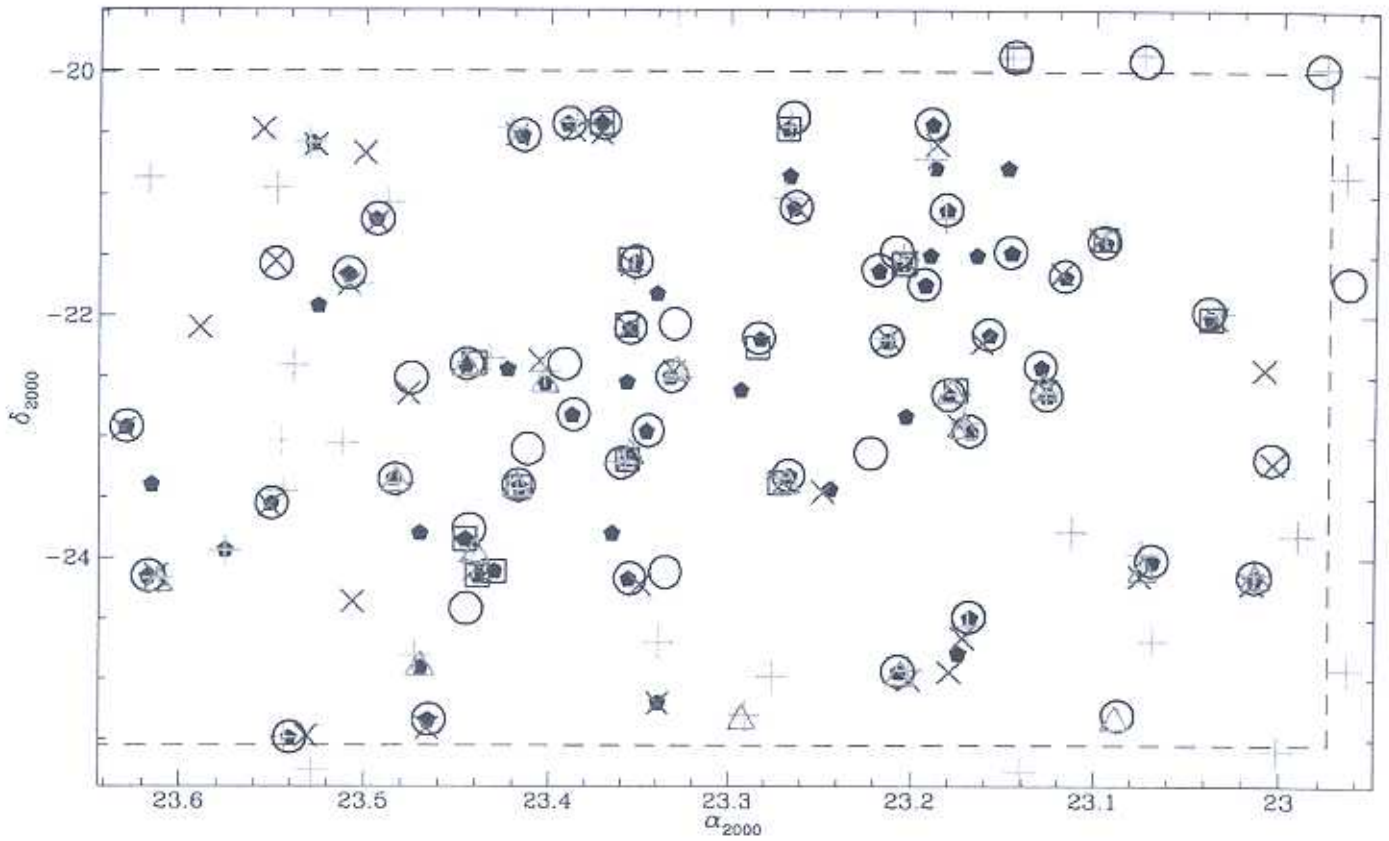


Figura 3.5: Distribuição dos 102 candidatos a aglomerados e grupos encontrados em Aquarius, com os símbolos representando o catálogo no qual cada um foi identificado: (\circ) Abell/ACO; (Δ) EDCC; (\square) APMCC; (+) MF- b_J ; (\times) MF- R ; (pentagonos cheios) contagem-em-células. O retângulo de linha tracejada interno ao gráfico delimita a região para a qual temos dados nas duas bandas fotométricas.

Capítulo 4

Propriedades dos Aglomerados

4.1 Localização dos Sistemas de Galáxias no Espaço

A confirmação da realidade dos candidatos a aglomerados propostos no capítulo anterior depende primeiramente da identificação de respectivas concentrações no “espaço de *redshifts*”. O processo de definição dessas concentrações foi iterativo, compreendendo a determinação da posição do centro (nas coordenadas projetadas), do *redshift* médio e dos respectivos raio da área projetada e intervalo de *redshifts* dentro dos quais as galáxias seriam consideradas como membros.

4.1.1 Determinação Preliminar do Centro e *Redshift* Médio

A determinação da posição do mínimo global do potencial gravitacional de um aglomerado é de vital importância, principalmente para a estimativa e análise de seus parâmetros dinâmicos. Vários métodos para a determinação de tal centro do aglomerado já foram propostos, sendo os mais comumente utilizados os que fazem estimativas a partir da emissão em raios-X, da posição da(s) galáxia(s) mais brilhante(s), do pico na distribuição de densidades superficiais de galáxias ou da posição média das galáxias-membros do aglomerado.

Provavelmente a determinação a partir do pico da emissão em raios-X é a mais eficiente, já que o gás entra em equilíbrio no potencial do aglomerado numa escala de tempo típica da ordem de $0.1 G_{\text{ano}}$ (H. Capelato, comunicação particular) e a determinação do pico da distribuição de gás é menos sujeita a efeitos de projeção que a distribuição de galáxias.

Outra estimativa bastante eficiente é a partir das galáxias mais brilhantes do aglomerado (BCGs, de *Brightest Cluster Galaxies*), seja uma cD, uma elíptica gigante (gE) ou mesmo

um grupo central de gEs. Por serem os objetos discretos mais massivos do aglomerado (principalmente no caso das cDs), a fricção dinâmica os leva rapidamente para o mínimo do potencial do sistema, num tempo também da ordem de 0.1 Ga. Apenas para sistemas com subestruturas provenientes de fusões recentes, quando a cD fazia parte do sistema menos rico, isso não ocorre. Bird (1994) estimou que esse é o caso de 32% dos aglomerados com cDs, para os quais ela encontrou que a galáxia dominante tinha uma velocidade radial deslocada significativamente em relação à velocidade média do aglomerado (note que isso não significa necessariamente a mesma fração para o caso projetado). Mesmo assim, comparando a posição (agora projetada) da cD ou gE de aglomerados com emissão em raios-X com a posição do pico dessa emissão, den Hartog & Katgert (1996) encontraram uma diferença *rms* de apenas $0.09 h_{75}^{-1}$ Mpc.

A determinação a partir do máximo na distribuição das densidades superficiais de galáxias, calculado normalmente pelos métodos de contagem-em-células ou *kernels* adaptativos, leva em conta, em geral, apenas dados bidimensionais, visto que para a quase totalidade dos casos a informação sobre a pertinência das galáxias ao aglomerado é incerta. Assim sendo, esse método é menos eficiente que os anteriores pois as densidades superficiais calculadas estão sujeitas a efeitos de projeção causados pela existência de sistemas sobrepostos ou mesmo pela própria distribuição das galáxias de campo. Contudo, é útil para os aglomerados que não apresentam emissão em raios-X nem BCGs (ou informação sobre elas), e pouca informação espectroscópica das galáxias da região, de forma que a maioria das coordenadas de aglomerados na literatura é estimada dessa forma.

Também é freqüentemente utilizada a média geométrica das coordenadas das galáxias com *redshift* que as confirmam como membros. Essa medida é teoricamente bem eficaz, mas depende de quão completa é a amostragem das galáxias-membros.

Na região de Aquarius, apenas 13 aglomerados tem emissão em raios-X conhecida, alguns deles detectados em experimentos com baixa resolução espacial. Assim, escolhemos utilizar a posição das BCGs como indicador principal da posição central dos aglomerados de nossa amostra. Para alguns casos porém, principalmente os grupos superpostos a aglomerados, utilizamos a média geométrica. Para avaliar a confiabilidade dessa escolha, comparamos as posições centrais obtidas pelos 4 métodos citados acima para os 13 aglomerados com emissão em raios-X da amostra. Tais posições são mostradas na tabela 4.1.

Para o aglomerado Aqr_051, um dos que foram detectados em experimentos com pouca resolução espacial, não foram encontradas as coordenadas do pico da emissão em raios-X na

literatura, de forma que ele não foi incluído na tabela. O outro aglomerado na mesma situação, Aqr.037, apresenta incertezas muito grandes nas coordenadas e, embora tenha sido colocado na tabela por completeza, não foi considerado nas comparações. Quatro aglomerados da tabela foram detectados em mais de um experimento das missões de raios-X e, portanto, apresentam mais de uma coordenada central na respectiva coluna.

Comparações considerando apenas as posições centrais provenientes dos diferentes experimentos de raios-X são mostradas na figura 4.1a, onde a ordenada representa as separações entre elas e as posições das BCGs dos aglomerados. O experimento cujas estimativas mais se aproximam das posições das BCGs é o IPC (Jones & Forman, 1999), para o qual as separações são todas $\lesssim 0.1 h_{75}^{-1}$ Mpc. Também o 1RXS (Ebeling et al., 1996) tem separações nessa faixa, exceto para o aglomerado A2606 (Aqr.082). Já o EXSS (Oppenheimer et al., 1997) apresenta separações normalmente entre 0.1 e $0.4 h_{75}^{-1}$ Mpc, apenas com um caso com grande separação — o aglomerado A2536 (Aqr.018). Esses dois casos que apresentam grandes diferenças (maiores que $0.5 h_{75}^{-1}$ Mpc) entre as coordenadas do pico da emissão em raios-X e a posição das respectivas BCGs podem se tratar de sistemas nos quais as BCGs ainda não se assentaram ao potencial (como é comum em aglomerados dinamicamente jovens, e.g., Proust et al., 2000) ou então sistemas diferentes sendo representados pelas distintas posições já que se tratam de sistemas com superposição significativa (veja mais detalhes na próxima sub-seção). Tirando esses dois casos, a média das 14 separações para os 3 experimentos é de $0.09 \pm 0.10 h_{75}^{-1}$ Mpc, similar ao valor supra citado da literatura, ou $0.05 \pm 0.04 h_{75}^{-1}$ Mpc se considerarmos apenas as 10 determinações pelo IPC e o 1RXS.

A figura 4.1b mostra as separações entre as posições das BCGs e as posições encontradas pelos outros métodos. A determinação a partir do pico das densidades superficiais de galáxias apresenta coincidência com a posição das BCGs para quase 50% dos casos. Os casos mais discrepantes correspondem aos aglomerados que também apresentam problemas com as posições de raios-X, citados no parágrafo anterior. Para eles, as posições do pico de densidades e de raios-X se aproximam uma da outra, enquanto as posições das BCGs e geométrica, relativamente distantes das anteriores, também se aproximam entre si. As posições das BCGs e geométrica se aproximarem é um efeito observacional, já que tendemos a observar preferencialmente galáxias próximas ao centro definido pela BCG. As posições do pico de densidades e de raios-X se aproximarem significa que o centro de massa do sistema deve estar mais próximo delas e relativamente distante da posição da BCG. Para os demais aglomerados, as medidas pelo pico de densidades e pela média geométrica apresentam separações médias

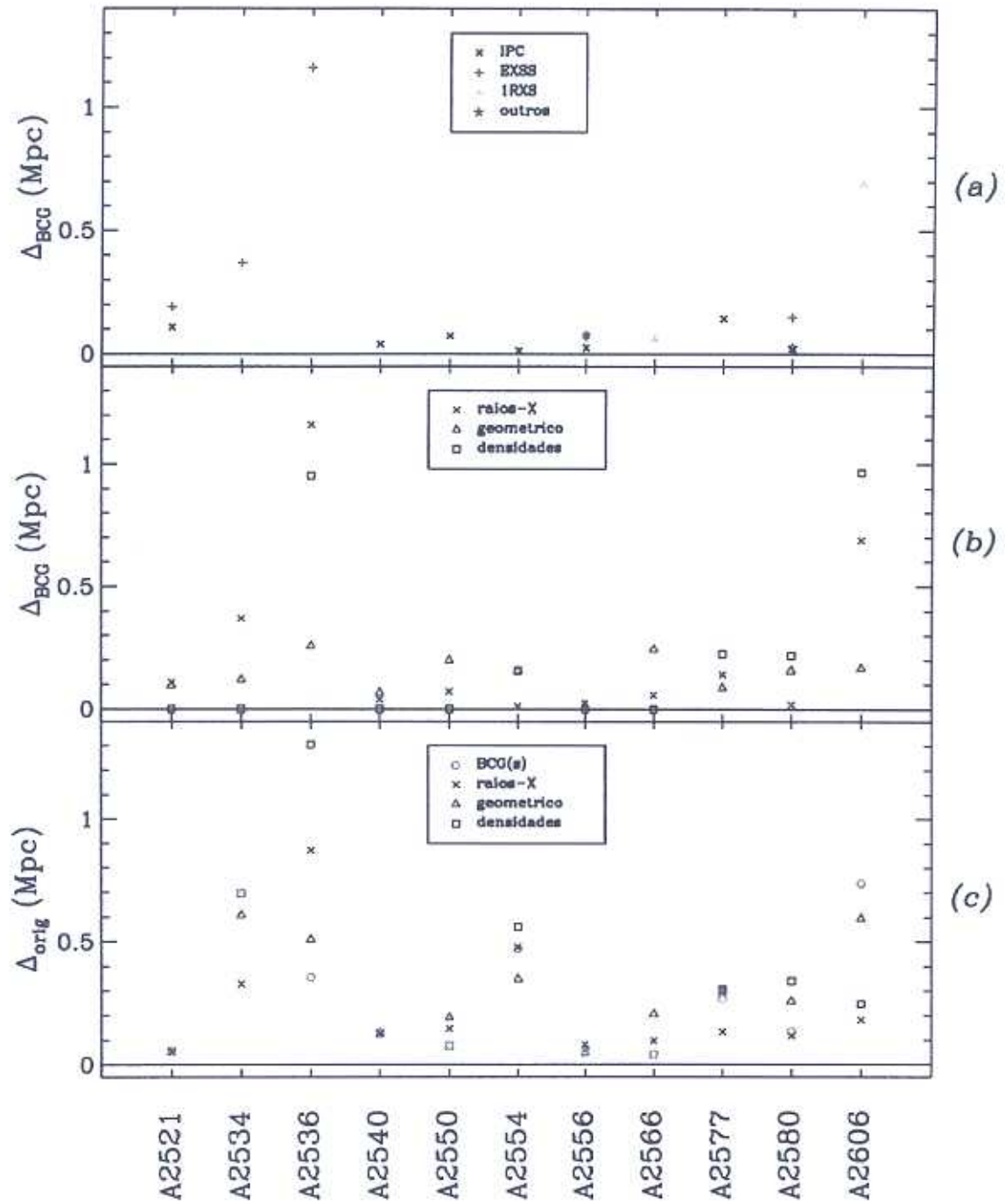


Figura 4.1: Diferenças de posição pelas várias determinações a partir da emissão em raios-X (a), pelas determinações a partir dos quatro métodos utilizados (b) e comparações dessas quatro determinações com as posições originais dos aglomerados (c).

respectivamente de $0.07 \pm 0.10 h_{75}^{-1}$ Mpc e $0.13 \pm 0.07 h_{75}^{-1}$ Mpc. A maioria das determinações, portanto, está dentro da separação de $0.1 h_{75}^{-1}$ Mpc que é próxima da que teríamos usando apenas determinações pela emissão em raios-X (se existissem para todos os sistemas).

Por fim, a comparação entre as novas posições centrais determinadas neste trabalho e as posições originais é mostrada na figura 4.1c. A separação média entre as coordenadas antigas e as novas pela posição das BCGs é de $0.2 \pm 0.2 h_{75}^{-1}$ Mpc.

Depois de definido o centro de cada candidato a aglomerado com observações espectroscópicas, foi extraída, do catálogo de velocidades de Aquarius, uma lista dos objetos contidos dentro de uma área circular de raio r_A ($1.5 h_{75}^{-1}$ Mpc). O valor de \bar{z} para o cálculo desse r_A em coordenadas celestes foi determinado preliminarmente pela média das velocidades em cada um dos candidatos, retirados apenas os intrusos óbvios.

As distribuições de velocidades nos 72 “cones observacionais”, definidos no processo descrito acima, é mostrada no diagrama de barras da figura 4.2. Cada barra representa a velocidade de uma galáxia. O nome do candidato a aglomerado/grupo é mostrado do lado esquerdo de cada faixa, enquanto do lado direito é mostrado o número de galáxias contidas em tal faixa. Das 1257 velocidades radiais consideradas, 1083 foram situadas dentro de tais cones, como sendo de galáxias com potencial para membros dos aglomerados.

4.1.2 Identificação de Concentrações no “Espaço de *Redshifts*”

Devido aos movimentos peculiares das galáxias no potencial do aglomerado ao qual estão ligadas, a distribuição da componente das velocidades dessas galáxias em qualquer direção que se escolha se apresenta bastante alongada. Como dispomos, a partir das observações espectroscópicas, apenas da componente da velocidade das galáxias na linha de visada, esse efeito é nítido nos diagramas em cone dessas velocidades, os chamados “dedos de Deus”. Assim, a extensão de um sistema no espaço de *redshifts* depende diretamente da dispersão de velocidades do sistema, que é um parâmetro que não se sabe *a priori*. Mesmo considerando valores típicos, a escala é grande desde a dispersão de grupos ($\sim 250 \text{ km s}^{-1}$) até a dispersão dos aglomerados mais ricos ($\gtrsim 1000 \text{ km s}^{-1}$).

Vários métodos foram propostos na literatura para a definição de aglomerados no espaço de *redshifts*, em todos eles sendo necessário fazer suposições sobre os sistemas que se deseja detectar. O mais usado, todavia, é o método de “falhas” (*gaps*), que permite a remoção de galáxias intrusas pela sua separação em relação aos outros membros do sistema. Por esse método, se uma galáxia tem uma diferença de velocidade, em relação a outra do suposto

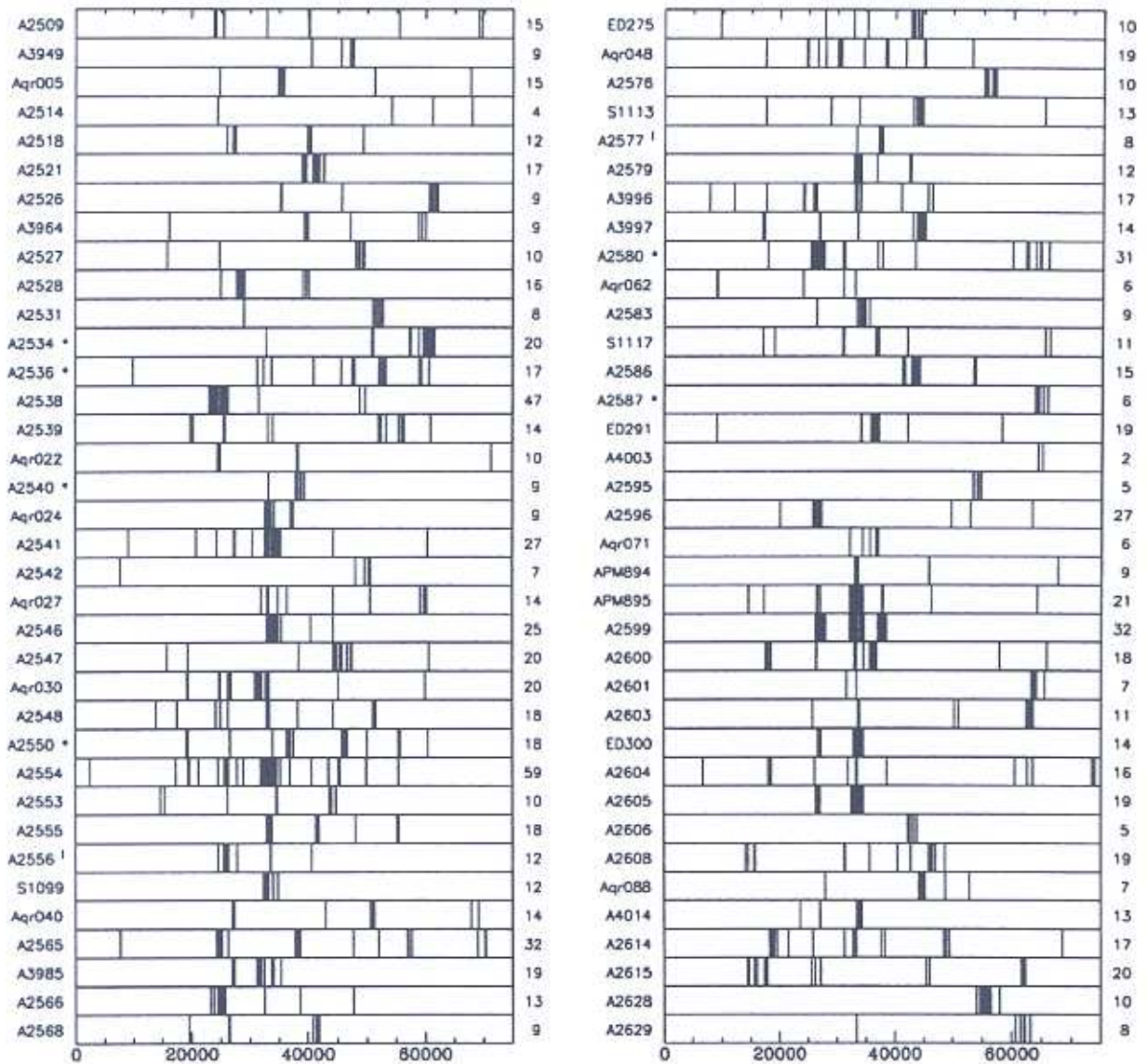


Figura 4.2: Diagramas de barras para os 72 "cones observacionais" dos candidatos a aglomerados observados. Cada barra representa a velocidade de uma galáxia. O número à direita de cada faixa corresponde ao número de barras desenhadas na respectiva faixa (número de galáxias observadas). Para alguns aglomerados que apresentam aglomerados vizinhos muito próximos, na sua distribuição projetada, um raio menor que r_A foi utilizado. Esses aglomerados estão marcados com "*" ($1 h_{75}^{-1}$ Mpc) ou "!" ($0.75 h_{75}^{-1}$ Mpc).

sistema, maior que o valor definido para a *gap*, ela é rejeitada como membro. O valor da *gap* depende diretamente do número de velocidades amostrado e, é claro, da extensão do sistema no espaço de z 's. O valor ideal é aquele capaz de eliminar possíveis galáxias intrusas dos sistemas sem, no entanto, quebrar esses sistemas em subsistemas sem significado físico.

Valores comumente usados na literatura para *gaps* estão entre 2000 km s^{-1} (e.g., Zabludoff, Huchra & Geller, 1990) e 1000 km s^{-1} (e.g., Katgert et al., 1996). Como nossa amostragem é relativamente pequena, escolhemos empiricamente um valor de 1500 km s^{-1} para a separação dos sistemas no espaço de z 's. Também consideramos um número mínimo de 3 galáxias para representar um sistema, exceto para dois casos de aglomerados aparentemente ricos no limite de profundidade da amostra para os quais conseguimos observar apenas 2 galáxias-membros.

Dessa forma pudemos identificar 107 sistemas de galáxias nos 72 cones. Para cada sistema foram recalculados centro, \bar{z} e r_A em minutos de arco. Não houve grandes alterações na quantidade de membros dos sistemas principais com o novo cálculo, visto que a maioria das galáxias observadas se encontram dentro de um raio menor que $1 h_{75}^{-1} \text{ Mpc}$ dos aglomerados — as caixas de $10' \times 10'$ correspondem, no máximo, a diâmetros de $2 h_{75}^{-1} \text{ Mpc}$ em $z \sim 0.2$. Das 1083 galáxias presentes nos cones, 848 foram alocadas nos sistemas detectados, uma fração equivalente de 78%. Essa fração mostra que, se o valor escolhido para a *gap* não estiver superestimado, nossos critérios visando selecionar preferencialmente galáxias com mais chance de pertencerem a aglomerados ou grupos foram eficientes.

4.1.3 Fração de Galáxias-membros

Mesmo nas nossas determinações empíricas preliminares de \bar{z} , já havíamos percebido que muitos dos candidatos eram o resultado da superposição de vários sistemas na mesma linha de visada, o que era de se esperar por se tratar de uma região em que provavelmente encontraríamos mais de um superaglomerado ou então um superaglomerado ao longo da linha de visada como proposto por Batuski et al. (1999).

Em torno de metade dos cones observacionais (37), um único sistema foi identificado na direção do candidato observado. Em outros 3 casos, não se encontrou nenhum sistema com pelo menos 3 galáxias em tal ângulo sólido. Nos 32 casos restantes (45%), porém, foram encontrados dois ou mais sistemas ao longo dos respectivos cones observacionais.

Para determinar a significância desses sistemas, bem como fazer uma estimativa preliminar da sua riqueza — para tentativamente separá-los em aglomerados ou grupos — utilizamos a fração (N_{mem}/N_z), onde N_{mem} é o número de galáxias-membros e N_z o número total de galáxias com *redshift* no cone. Como nossas observações se restringiram basicamente aos núcleos dos aglomerados, a maior chance de intrusos é ao longo da linha de visada, de forma que a fração de galáxias que se revelaram como membros está grosseiramente relacionada à riqueza dos sistemas. Assim, para os 51% dos casos em que identificamos apenas um sistema

no cone de observação, encontramos $(N_{mem}/N_z) > 0.55$ ou, em termos da média dessa razão, que 80% das galáxias observadas foram consideradas membros do aglomerado em questão. A dispersão de velocidades média para esses 37 sistemas é $789 \pm 319 \text{ km s}^{-1}$, valor típico de aglomerados ricos (e.g., Yee & Gladders, 2001, e as referências citadas por eles).

Os outros 45% que apresentam mais de um sistema na mesma direção, foram separados em 3 categorias. A primeira é composta por prováveis aglomerados com grupos sobrepostos (ou atrás), para os quais o sistema principal tem $(N_{mem}/N_z) > 0.4$ e os outros sistemas menores tem $(N_{mem}/N_z) < 0.3$. Embora a riqueza do sistema principal esteja contaminada pela presença dos sistemas menores, decidimos classificar esses sistemas também como aglomerados ricos, já que a média de suas dispersões de velocidades é $767 \pm 411 \text{ km s}^{-1}$. Esses casos correspondem a 21% do número total de alvos, o que leva o número de candidatos convertidos em aglomerados a 72%. As outras duas categorias são casos em que a superposição é mais significativa (24%). Embora dois ou mais sistemas realmente existam em tais direções, não podemos afirmar com os dados atuais se tratam-se de aglomerados pobres ou grupos de galáxias. O que fizemos foi separá-los em casos de dois sistemas similarmente significativos, quando $(N_{mem}/N_z) > 0.3$ para ambos (11%), ou superposição de grupos menores, quando todos os sistemas tem $(N_{mem}/N_z) \lesssim 0.3$ (13%). Essa última separação é conservadora, visto que alguns dos sistemas classificados como pequenos grupos são, conforme suas imagens sugerem, aglomerados ricos subamostrados no limite de profundidade de nosso levantamento ($z \sim 0.2$). Esse é o caso de 5 aglomerados Abell: A2509, A2536, A2550, A2604 e A2615. Dois deles (A2536 e A2550) apresentam inclusive emissão em raios-X.

Os 107 sistemas encontrados em Aquarius estão listados na tabela 4.2, onde são apresentadas as novas coordenadas do centro, o método utilizado para estimar esse centro, N_{mem} , \bar{z} e sua classificação de acordo com a fração N_{mem}/N_z .

4.1.4 Estimativa de Contaminação do Catálogo de Candidatos de Aquarius

Com os resultados apresentados acima, podemos determinar a contaminação do catálogo de candidatos a aglomerado de Aquarius, ou seja, a quantidade de detecções que se revelaram apenas resultado de efeitos de projeção. A fração de candidatos para os quais não encontramos concentrações no espaço de *redshifts* (4%) pode ser considerada como um valor mínimo para a contaminação do catálogo. Como valor máximo, retiramos todos os sistemas classificados como prováveis aglomerados ricos (72%) e os sistemas em sobreposição que são possíveis aglomerados pobres ou grupos ricos (11%), ficando com 17%. Uma estimativa mais realista

Tabela 4.2: Sistemas de Galáxias Identificados nos 69 "Cones Observacionais"

Aqr CC	Identif. Original	Sistemas Secundários	Coordenadas (J2000.0)		Centro ^a	N_{mem}	\bar{z}	Tipo ^b
			α (^h ^m ^s)	δ ([°] ['] ^{''})				
002	A2509	...	22 57 55.3	-21 45 17	B	3	0.2305	3
002	A2509	B	22 58 02.1	-21 50 25	G	6	0.0795	5
002	A2509	C	22 58 08.9	-21 53 59	G	4	0.1342	5
004	A3949	...	22 58 57.4	-19 57 19	P	6	0.1580	2
005	...	...	22 58 32.0	-23 37 37	B	11	0.1177	1
009	A2518	A	23 00 48.4	-24 10 20	B	7	0.1342	4
009	A2518	B	23 00 52.5	-24 11 00	G	4	0.0915	4
010	A2521	...	23 02 11.4	-22 01 24	B2,P	17	0.1364	1
012	A2526	...	23 04 34.9	-24 04 11	B2	6	0.2043	2
013	A3964	A	23 04 23.0	-19 53 47	G	4	0.1325	4
013	A3964	B	23 04 20.0	-19 55 02	G	3	0.1984	4
014	A2527	...	23 05 20.6	-25 20 19	B2,P	7	0.1630	1
015	A2528	...	23 05 36.0	-21 23 03	B	12	0.0949	2
015	A2528	B	23 05 52.9	-21 20 03	G	3	0.1328	5
016	A2531	...	23 06 56.0	-21 39 47	B,P	7	0.1731	1
017	A2534	...	23 07 41.5	-22 42 39	B,P	16	0.2014	1
018	A2536	...	23 07 46.7	-22 27 31	B	4	0.1974	3
018	A2536	B	23 07 48.0	-22 32 38	G	11	0.1746	5
020	A2538	...	23 08 34.1	-19 52 35	B2	44	0.0829	1
021	A2539	A	23 08 41.5	-21 29 59	G	4	0.1863	5
021	A2539	B	23 08 48.8	-21 29 45	G	3	0.1754	5
022	...	A	23 09 03.6	-20 45 15	G	6	0.0825	4
022	...	B	23 08 50.4	-20 43 32	B	3	0.1277	4
023	A2540	...	23 09 25.1	-22 10 19	B,P,X	8	0.1290	1
024	...	...	23 09 54.5	-21 31 30	B	7	0.1109	1
025	A2541	...	23 10 07.2	-22 59 05	B2	16	0.1135	2
025	A2541	B	23 10 18.3	-22 56 14	G	5	0.0913	5
026	A2542	...	23 10 06.2	-24 29 09	B2	4	0.1684	1
027	...	A	23 10 39.9	-24 45 13	B2	5	0.1998	4
027	...	B	23 10 15.6	-24 46 42	G	4	0.1107	4
028	A2546	...	23 10 38.7	-22 38 54	B2	22	0.1130	1
029	A2547	...	23 10 46.7	-21 08 07	B2	15	0.1517	1
030	...	A	23 11 12.3	-20 43 39	B	6	0.1057	5
030	...	B	23 11 33.2	-20 46 50	G	6	0.0883	5
030	...	C	23 11 22.0	-20 56 13	G	6	0.0645	5
031	A2548	...	23 11 15.8	-20 25 05	B	9	0.1107	2
031	A2548	B	23 11 28.7	-20 23 54	G	3	0.0839	5
033	A2550	...	23 11 35.8	-21 44 47	B,P	6	0.1226	3
033	A2550	B	23 11 50.6	-21 40 23	G	3	0.1535	5
033	A2550	C	23 11 35.9	-21 45 31	G	3	0.1851	5
035	A2554	...	23 12 19.9	-21 30 10	B,X	35	0.1108	1
036	A2553	...	23 12 24.8	-24 57 12	B2	4	0.1481	2
036	A2553	B	23 12 26.9	-24 56 58	G	3	0.1158	5
037	A2555	...	23 12 42.2	-22 14 00	B2	11	0.1106	2

Tabela 4.2: Continuação ...

Aqr CC	Identif. Original	Sistemas Secundários	Coordenadas (J2000.0)		Centro ^a	N_{mem}	z	Tipo ^b
			α ($^{\circ}$ m s)	δ ($^{\circ}$ $'$ $''$)				
037	A2555	B	23 12 50.3	-22 10 24	G	4	0.1398	5
038	A2556	...	23 13 01.5	-21 38 04	B,G,X	9	0.0871	1
039	S1099	...	23 13 10.9	-23 09 29	B2	12	0.1104	1
040	...	A	23 14 30.8	-23 22 24	B2	6	0.0910	4
040	...	B	23 14 19.6	-23 29 48	B	4	0.1698	4
041	A2565	A	23 15 52.0	-21 08 30	G	12	0.0825	4
041	A2565	B	23 15 55.0	-21 08 18	G	10	0.1279	4
042	A3985	...	23 16 15.1	-23 23 36	B	17	0.1095	1
044	A2566	...	23 16 05.0	-20 27 48	B,P	11	0.0822	1
046	A2568	...	23 17 11.8	-22 14 23	B	6	0.1397	1
047	ED275	...	23 17 33.7	-25 20 30	B2	6	0.1453	1
048	...	A	23 16 40.2	-22 42 03	G	5	0.0827	5
048	...	B	23 17 21.1	-22 36 56	G	4	0.1011	5
051	A2576	...	23 19 43.9	-22 27 52	B	10	0.1876	1
052	S1113	...	23 20 01.8	-24 08 46	B	9	0.1468	1
055	A2577	...	23 20 46.7	-22 59 30	B,P	7	0.1248	1
057	A2579	...	23 21 15.6	-21 35 04	B,P	9	0.1114	2
057	A2579	B	23 21 06.7	-21 30 04	G	3	0.1418	5
057	A2579	C	23 19 47.8	-21 32 44	G	4	0.0842	5
058	A3996	A	23 21 22.3	-22 04 54	G	6	0.0854	5
058	A3996	B	23 21 41.9	-22 04 17	G	5	0.1120	5
059	A3997	...	23 21 33.7	-24 08 52	B3,P	8	0.1478	2
059	A3997	B	23 21 26.5	-24 12 35	G	3	0.0573	5
061	A2580	...	23 21 26.3	-23 12 26	B,X	17	0.0890	2
061	A2580	B	23 21 32.9	-23 14 37	G	4	0.2156	5
063	A2583	...	23 22 14.7	-20 26 08	B,P	8	0.1145	1
065	A2586	...	23 23 24.3	-20 22 25	B	11	0.1448	2
065	A2586	B	23 23 34.4	-20 25 51	G	4	0.1789	5
066	A2587	...	23 23 32.4	-22 25 21	B	6	0.2157	1
067	ED291	...	23 24 16.2	-22 34 10	B	15	0.1224	1
068	A4003	...	23 24 46.9	-23 05 25	B	2	0.2159	3
069	A2595	...	23 25 06.2	-20 32 37	B	5	0.1803	1
070	A2596	...	23 25 05.6	-23 23 49	B2,P	24	0.0892	1
071	...	...	23 25 07.6	-22 25 07	B	5	0.1226	1
072	APM894	...	23 25 47.5	-24 06 38	O	6	0.1116	1
073	APM895	...	23 26 14.1	-24 06 30	B,P	21	0.1116	1
074	A2599	A	23 26 49.7	-23 51 44	G	14	0.0906	4
074	A2599	B	23 26 38.1	-23 46 04	B	10	0.1265	4
075	A2600	...	23 26 41.2	-22 26 27	B5	13	0.1205	2
075	A2600	B	23 26 52.9	-22 17 53	G	6	0.0607	5
076	A2601	...	23 27 09.8	-24 29 39	G	5	0.2126	2
076	A2601	B	23 27 34.8	-24 23 20	G	5	0.1132	5
077	A2603	...	23 27 56.8	-25 22 37	B,P	6	0.2109	1
078	ED300	...	23 28 16.2	-24 56 43	B,P	12	0.1125	1

Tabela 4.2: Continuação ...

Aqr CC	Identif. Original	Sistemas Secundários	Coordenadas (J2000.0)		Centro ^a	N_{mem}	\bar{z}	Tipo ^b
			α (h m s)	δ (° ' ")				
080	A2604	...	23 28 28.2	-22 33 11	B	3	0.2121	3
080	A2604	B	23 28 26.1	-22 33 56	G	3	0.0873	5
080	A2604	C	23 28 30.7	-22 37 47	G	3	0.1116	5
081	A2605	A	23 28 48.9	-23 22 22	B	11	0.1123	4
081	A2605	B	23 29 05.9	-23 25 08	B	6	0.0889	4
082	A2606	...	23 29 43.3	-21 13 07	P	4	0.1431	1
085	A2608	...	23 30 34.8	-21 41 02	B2	4	0.1557	2
085	A2608	B	23 30 10.1	-21 33 44	G	5	0.0497	5
088	...	...	23 31 48.7	-20 33 54	B,P	4	0.1490	1
091	A4014	...	23 32 25.7	-25 28 50	B2	11	0.1130	1
093	A2614	A	23 32 58.8	-21 33 46	G	4	0.1635	5
093	A2614	B	23 32 58.2	-21 31 55	G	4	0.0631	5
093	A2614	C	23 32 40.3	-21 33 34	G	4	0.1101	5
094	A2615	...	23 32 57.0	-23 31 41	B	2	0.2785	3
094	A2615	B	23 32 49.8	-23 32 07	G	5	0.2061	5
094	A2615	C	23 32 48.4	-23 27 06	G	8	0.0550	5
094	A2615	D	23 32 31.0	-23 24 35	G	3	0.0878	5
099	A2628	...	23 37 01.9	-24 11 18	B,P	10	0.1855	1
101	A2629	...	23 37 47.2	-22 54 42	B	7	0.2069	1

^aCódigos dos tipos de centro: (B) posição da BCG, (B#) posição média de # gE centrais [BCGs], (P) pico na distribuição de densidades superficiais, (X) pico da emissão em raios-X, (G) média das posições das galáxias (membros) com *redshift*, (O) posição do catálogo original; mais de um código indica que os respectivos métodos concordam quanto à posição do centro

^bCódigos dos tipos de sistemas: (1) aglomerados sem superposição, (2) aglomerados com grupo(s) sobreposto(s), (3) aglomerados subamostrados (classificados inicialmente como grupos), (4) sistemas (aglomerados pobres ou grupos) de riquezas similares sobrepostos, (5) grupos

pode ser feita somando ao valor mínimo os casos de sobreposição de grupos pequenos ao longo da linha de visada sem os casos que representam aglomerados subamostrados, ficando com uma contaminação em torno de 10%.

4.2 Propriedades Cinemáticas e Dinâmicas

Como não temos, para a totalidade dos sistemas, uma quantidade suficientemente grande de galáxias-membros observadas espectroscopicamente (principalmente para os sistemas classificados como prováveis grupos), não pudemos obter, para alguns, os parâmetros importantes para a análise dinâmica. Apenas 29 sistemas tem mais de 10 galáxias observadas, um número

considerado mínimo para se obter, por exemplo, uma dispersão de velocidades confiável (e.g., Girardi et al., 1993). A estimativa dos parâmetros, contudo, foi realizada para um número maior de casos, especialmente os com mais de 7 *redshifts* (que compreendem mais 14 sistemas) e até para alguns com pelo menos 4 membros, com intuito mais exploratório que conclusivo, visando completar o máximo possível o estudo dos 56 prováveis aglomerados, ou pelo menos para os aglomerados que fazem parte dos superaglomerados em $z \sim 0.08$ e $z \sim 0.11$ que serão discutidos no próximo capítulo. Os resultados para sistemas com menos de 10 *redshifts* devem, no entanto, ser considerados com cautela.

4.2.1 Determinação Robusta de Centro e Escala para a Distribuição de Velocidades Radiais dos Sistemas de Galáxias

O uso da média das velocidades (\bar{v} ou μ_v) como estimador da posição central (mínimo do potencial gravitacional) do sistema no espaço de z 's é, em teoria, adequado para uma distribuição de velocidades próxima da Gaussiana (ou $N_z \gtrsim 30$). O mesmo acontece com o uso do desvio padrão (σ_v) como estimador da escala (dispersão de velocidades). Porém, é provável que nem todos os sistemas em estudo estejam em equilíbrio dinâmico seja pelo baixo contraste de densidade de alguns ou pela juventude de outros que apresentam subestruturas, com evidência de recentes fusões anisotrópicas. Mesmo para os sistemas mais ricos e regulares, provavelmente virializados (pelo menos em seus núcleos), a amostragem não foi, em geral, grande o bastante para deixar ressaltar a característica Gaussiana da distribuição dos dados. Com esse quadro, o mais adequado é a aplicação de estatísticas mais robustas, que tenham pouca sensibilidade à natureza assumida da população da qual os dados foram subtraídos. Utilizamos, assim, o programa ROSTAT, de Beers, Flynn & Gebhardt (1990), que utiliza estatísticas robustas e resistentes (pouca sensibilidade à presença de elementos discrepantes) como as provas de duplo peso de Tukey (*biweight*) e estimativas de intervalos de confiança por técnicas de reamostragem como *jackknife* e *bootstrap*.

A tabela 4.3 mostra as estimativas de C_{BI} (posição central pelo método *biweight*), S_{BI} (escala, pelo mesmo método) e suas respectivas incertezas, bem como as estimativas tradicionais μ_v e σ_v e os parâmetros estatísticos *skewness* e *kurtosis*, para os 43 sistemas com pelo menos 7 galáxias-membros e para outros 25 com pelo menos 4 galáxias-membros que foram classificados como prováveis aglomerados pelos nossos critérios. As incertezas são para intervalos de confiança de 68% estimados por *bootstrapping* de 500 simulações aleatórias. Também são listados na tabela o número de galáxias consideradas (N_{mem}) e o raio da menor

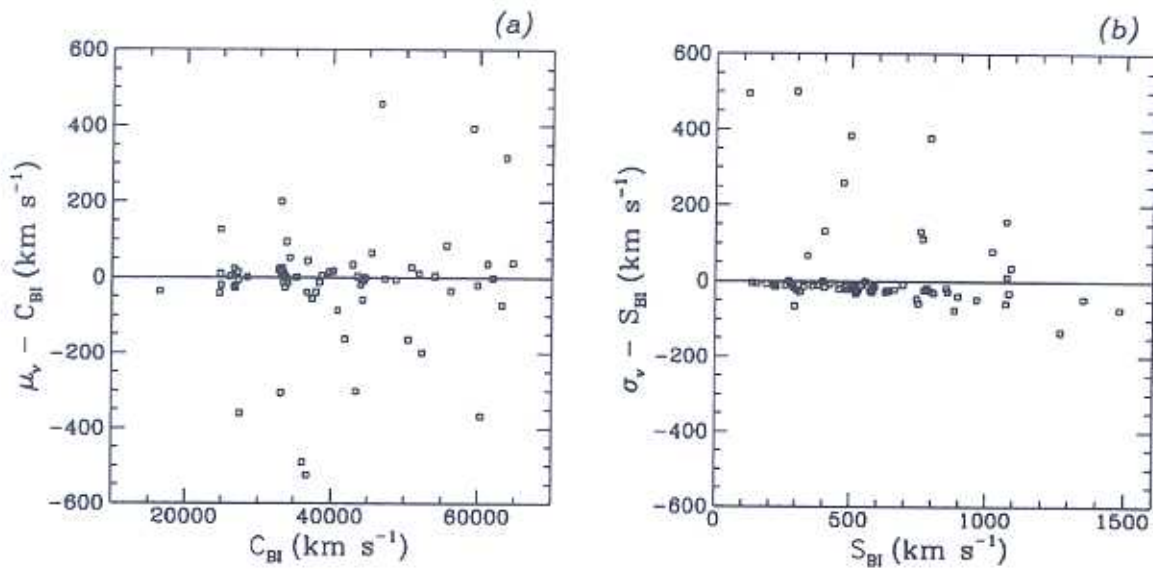


Figura 4.3: Comparação das determinações de centro e escala entre as estimativas paramétrica e robusta.

área circular que contém essas galáxias (R_{max}).

As figuras 4.3a e 4.3b mostram a comparação dos valores obtidos pela estatística Gaussiana e pela robusta. Na figura 4.3a os casos discrepantes estão distribuídos de maneira aproximadamente simétrica, e correspondem aos que tiveram melhora mais significativa na sua determinação de \bar{z} , compreendendo 20% dos 68 aglomerados considerados. Por outro lado, na figura 4.3b, os casos discrepantes indicam sistematicamente valores maiores de σ_v em relação aos valores de C_{BI} . Isso se deve ao fato da determinação mais robusta ser menos sensível às velocidades com maior chance de serem de galáxias intrusas, as quais aumentam o valor da estimativa da dispersão de velocidades no caso tradicional.

A figura 4.4 mostra a distribuição das dispersões de velocidade com a distância do sistema, indicando que não há nenhum efeito sistemático nas nossas determinações. Nas figuras 4.5a e 4.5b são mostradas, respectivamente, as distribuições dos parâmetros *skewness* e *kurtosis*. O primeiro apresenta uma distribuição aproximadamente simétrica em torno do valor esperado para uma distribuição Gaussiana (0), e reflete que, embora nossos dados desviem em relação a esta distribuição, principalmente por subamostragem, não há nenhum desvio sistemático. A distribuição do parâmetro *kurtosis* indica que nossos dados tem, em geral, uma distribuição mais achatada que a Normal, também consequência da subamostragem.

Utilizaremos, a partir daqui, as estimativas robustas de centro e escala para a velocidade média e a dispersão de velocidades dos sistemas, e as indicaremos por v_{BI} (ou \bar{z}) e σ_{BI} ,

Tabela 4.3: Estimativas Robustas de Centro e Escala para os Sistemas de Galáxias de Aquarius

Aqr CC	Identif.	N_{mem}	R_{max} (Mpc)	Estatística Tradicional				Estatística Robusta	
				μ_v	σ_v	skew	kurt	C_{BI}	S_{BI}
004	A3949	6	0.57	47357	181	-0.19	1.68	47360 ⁺⁶⁵ ₋₂₁₂	189 ⁺⁶⁵ ₋₂₀
005	Aqr005	11	0.68	35280	348	0.03	2.05	35279 ⁺¹⁶¹ ₋₁₆₃	360 ⁺⁸³ ₋₅₆
009	A2518-A	7	0.39	40235	272	0.47	1.81	40219 ⁺¹⁸⁶ ₋₁₂₃	288 ⁺¹²⁶ ₋₂₄
009	A2518-B	4	0.30	27076	732	-0.94	2.13	27436 ⁺¹³⁷ ₋₂₇₉	472 ⁺⁴⁶⁹ ₋₄₆₂
010	A2521	17	0.62	40803	1136	-0.22	1.80	40890 ⁺⁵²² ₋₄₉₁	1270 ⁺³⁷² ₋₇₄
012	A2526	6	1.04	61273	552	0.56	1.85	61238 ⁺⁴³⁶ ₋₂₁₇	581 ⁺²¹¹ ₋₆₆
013	A3964-A	4	0.31	39737	275	0.38	1.90	39723 ⁺¹⁸¹ ₋₁₃₀	291 ⁺¹⁰⁶ ₋₁₀
014	A2527	7	0.39	48862	613	-0.17	1.44	48868 ⁺⁵⁰³ ₋₂₅₆	637 ⁺²³³ ₋₄₄
015	A2528	12	0.84	28459	438	0.03	1.59	28459 ⁺¹⁵² ₋₁₉₃	459 ⁺⁸⁷ ₋₃₆
016	A2531	7	0.61	51888	573	0.24	2.23	51878 ⁺³⁴⁵ ₋₂₁₅	588 ⁺²¹⁵ ₋₅₅
017	A2534	16	0.86	60017	1230	-1.04	3.37	60384 ⁺²⁷⁹ ₋₂₃₀	1071 ⁺³⁹⁴ ₋₃₀₄
018	A2536	4	0.99	59557	798	1.01	2.21	59163 ⁺²³⁵ ₋₁₂₇	298 ⁺⁷²⁴ ₋₁₁₃
018	A2536-B	11	1.77	52132	808	-0.46	2.04	52331 ⁺¹²⁴ ₋₄₆₀	884 ⁺²⁶³ ₋₁₁₀
020	A2538	44	1.18	24838	856	-0.20	2.00	24858 ⁺¹⁷⁶ ₋₁₃₃	896 ⁺⁸⁴ ₋₆₁
022	Aqr022-A	6	1.01	24749	146	0.33	2.41	24739 ⁺⁷⁰ ₋₄₂	152 ⁺⁵⁵ ₋₃₇
023	A2540	8	0.20	38675	504	0.10	1.94	38671 ⁺¹⁹⁷ ₋₅₅₄	528 ⁺¹⁵⁰ ₋₁₉₈
024	Aqr024	7	0.61	33278	547	0.35	2.07	33255 ⁺²³⁶ ₋₂₆₅	573 ⁺¹⁹⁴ ₋₇₃
025	A2541	16	0.88	34021	1012	-0.14	1.54	34034 ⁺²⁸⁹ ₋₃₄₃	1070 ⁺¹⁶³ ₋₆₀
026	A2542	4	0.41	50334	453	-0.81	2.00	50498 ⁺¹⁶⁷ ₋₃₂₅	460 ⁺¹⁴³ ₋₇₉
027	Aqr027-A	5	1.07	59876	419	-0.75	2.31	59895 ⁺³⁴⁵ ₋₅₄	426 ⁺¹³¹ ₋₄₀₂
027	Aqr027-B	4	0.23	32878	616	-1.09	2.28	33183 ⁺⁷³ ₋₁₁₁	120 ⁺⁶³² ₋₅₅
028	A2546	22	1.42	33981	763	0.69	2.53	33888 ⁺²⁰⁵ ₋₂₃₀	780 ⁺¹⁸⁹ ₋₁₀₂
029	A2547	15	0.61	45546	1051	0.68	2.11	45481 ⁺³⁷⁷ ₋₄₆₃	1082 ⁺²⁰⁴ ₋₁₈₀
031	A2548	9	0.89	33187	202	0.33	1.60	33179 ⁺¹⁹⁴ ₋₁₁₂	216 ⁺⁶¹ ₋₁₈
033	A2550	6	0.58	36793	493	0.66	2.10	36751 ⁺²⁷⁶ ₋₃₃₆	514 ⁺²⁰⁹ ₋₄₅
035	A2554	35	1.23	33228	834	0.31	2.48	33206 ⁺¹⁵⁹ ₋₁₆₉	852 ⁺¹⁰⁴ ₋₇₈
036	A2553	4	2.00	44386	486	-0.17	1.25	44394 ⁺³⁸⁷ ₋₄₆₃	519 ⁺⁸⁶ ₋₉
037	A2555	11	0.48	33196	273	0.59	2.97	33171 ⁺⁶³ ₋₉₅	272 ⁺¹⁰⁰ ₋₄₄
038	A2556	9	0.70	26104	880	0.42	3.70	26102 ⁺¹²⁵ ₋₄₁₅	497 ⁺⁶⁴³ ₋₂₆₃
039	S1099	12	0.66	33302	747	0.75	2.49	33101 ⁺⁴⁰⁷ ₋₂₁₈	771 ⁺²⁶⁰ ₋₁₁₀
040	Aqr040-A	6	0.58	27271	131	-0.59	2.12	27278 ⁺⁴⁷ ₋₉₀	135 ⁺⁵⁸ ₋₂₅
040	Aqr040-B	4	0.82	50927	277	0.53	1.70	50901 ⁺¹⁹³ ₋₁₇₈	300 ⁺⁶⁶ ₋₇
041	A2565-A	12	0.64	24867	535	1.61	5.50	24741 ⁺⁸⁹ ₋₁₆₈	404 ⁺⁴²⁸ ₋₅₃
041	A2565-B	10	1.05	38335	312	-0.36	1.94	38347 ⁺⁹⁴ ₋₁₄₄	326 ⁺⁶⁸ ₋₄₆
042	A3985	17	1.30	32834	1308	0.26	1.65	32814 ⁺¹⁰⁷⁶ ₋₁₀₇₄	1355 ⁺²⁶⁹ ₋₂₉₁

Tabela 4.3: Continuação ...

Aqr CC	Identif.	N_{mem}	R_{max} (Mpc)	Estatística Paramétrica				Estatística Robusta	
				μ_v	σ_v	skew	kurt	C_{BI}	S_{BI}
044	A2566	11	0.94	24594	831	-0.52	2.09	24634^{+189}_{-388}	859^{+204}_{-121}
046	A2568	6	0.69	41707	408	-1.11	2.80	41870^{+95}_{-315}	341^{+251}_{-166}
047	ED275	6	0.63	43560	776	0.06	1.42	43557^{+431}_{-557}	806^{+197}_{-94}
051	A2576	10	0.45	56218	692	-0.35	1.48	56253^{+454}_{-373}	750^{+200}_{-47}
052	S1113	9	0.81	43998	499	-0.32	2.43	44016^{+168}_{-210}	513^{+150}_{-97}
055	A2577	7	0.26	37350	227	0.02	2.22	37407^{+86}_{-25}	293^{+44}_{-14}
057	A2579	10	1.13	33418	389	0.28	2.02	33407^{+106}_{-158}	404^{+74}_{-51}
059	A3997	8	0.73	44244	685	-0.53	2.70	44303^{+241}_{-223}	694^{+269}_{-131}
061	A2580	17	0.83	26651	619	-0.25	2.34	26673^{+147}_{-205}	643^{+128}_{-70}
063	A2583	8	0.42	34383	640	0.41	2.51	34332^{+269}_{-295}	662^{+269}_{-91}
065	A2586	11	0.72	43098	888	-0.85	2.95	43400^{+253}_{-87}	758^{+405}_{-274}
066	A2587	6	0.50	64709	767	0.56	2.09	64671^{+491}_{-234}	793^{+327}_{-167}
067	ED291	15	1.49	36664	369	-0.57	2.51	36702^{+74}_{-149}	379^{+86}_{-57}
069	A2595	5	0.45	54059	530	0.23	1.76	54055^{+152}_{-530}	540^{+144}_{-3}
070	A2596	24	1.28	26707	497	-0.48	1.91	26736^{+103}_{-160}	521^{+77}_{-42}
071	Aqr071	5	1.45	36221	1100	-0.81	2.10	36746^{+115}_{-1056}	1021^{+367}_{-34}
072	APM894	6	0.52	33466	211	0.29	1.47	33459^{+126}_{-143}	226^{+45}_{-18}
073	APM895	21	1.33	33439	553	-0.11	2.99	33450^{+118}_{-144}	554^{+151}_{-78}
074	A2599-A	14	0.61	27164	469	0.30	2.29	27150^{+167}_{-143}	483^{+97}_{-66}
074	A2599-B	10	1.18	37875	496	-0.42	2.09	37913^{+151}_{-276}	524^{+109}_{-82}
075	A2600	13	1.18	35636	1171	-1.12	3.03	36128^{+284}_{-96}	793^{+693}_{-294}
076	A2601	5	1.16	64052	877	1.12	2.71	63736^{+818}_{-122}	767^{+811}_{-339}
077	A2603	6	0.97	63153	396	-0.70	2.63	63225^{+130}_{-167}	397^{+175}_{-140}
078	ED300	12	0.54	33721	564	0.04	1.67	33720^{+167}_{-213}	581^{+114}_{-55}
081	A2605-A	11	1.30	33629	601	-0.29	2.21	33655^{+197}_{-281}	629^{+180}_{-67}
081	A2605-B	6	0.83	26682	285	0.44	1.46	26659^{+364}_{-149}	314^{+50}_{-29}
082	A2606	4	0.85	42933	698	0.39	1.69	42901^{+462}_{-503}	744^{+223}_{-51}
085	A2608	4	1.31	47149	1125	0.85	2.08	46691^{+383}_{-361}	1090^{+441}_{-581}
088	Aqr088	4	0.64	44659	465	-0.04	1.54	44660^{+329}_{-321}	487^{+158}_{-0}
091	A4014	11	0.53	33866	248	-0.04	1.81	33867^{+76}_{-122}	260^{+64}_{-19}
094	A2615-C	7	1.67	16458	1408	-0.31	1.49	16495^{+973}_{-713}	1482^{+291}_{-156}
099	A2628	10	0.35	55696	1087	0.56	3.11	55611^{+249}_{-369}	1075^{+412}_{-259}
101	A2629	7	0.98	62011	914	-0.02	1.83	62013^{+351}_{-495}	963^{+290}_{-70}

respectivamente.

A determinação da dispersão de velocidades para as galáxias-membros dentro de um

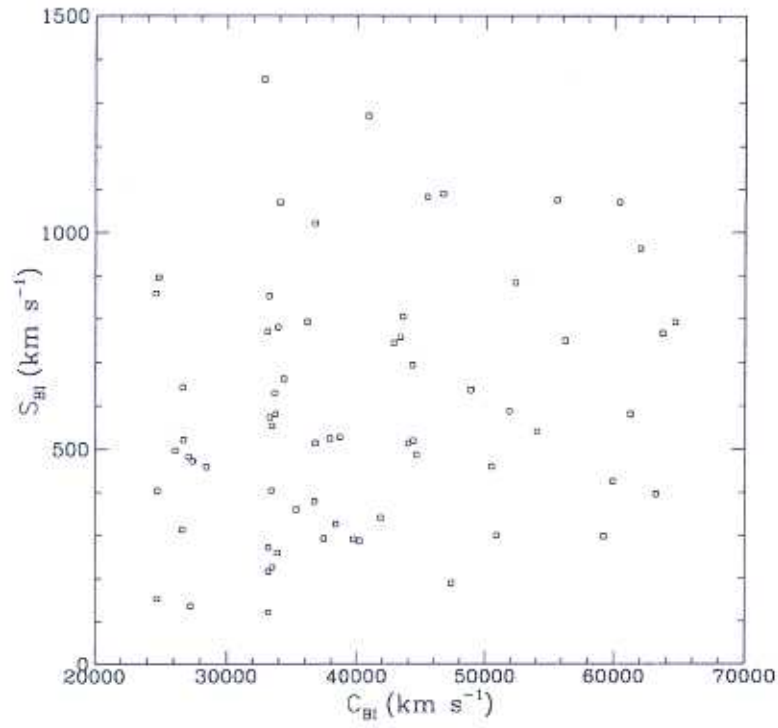


Figura 4.4: Distribuição das determinações robustas de centro e escala.

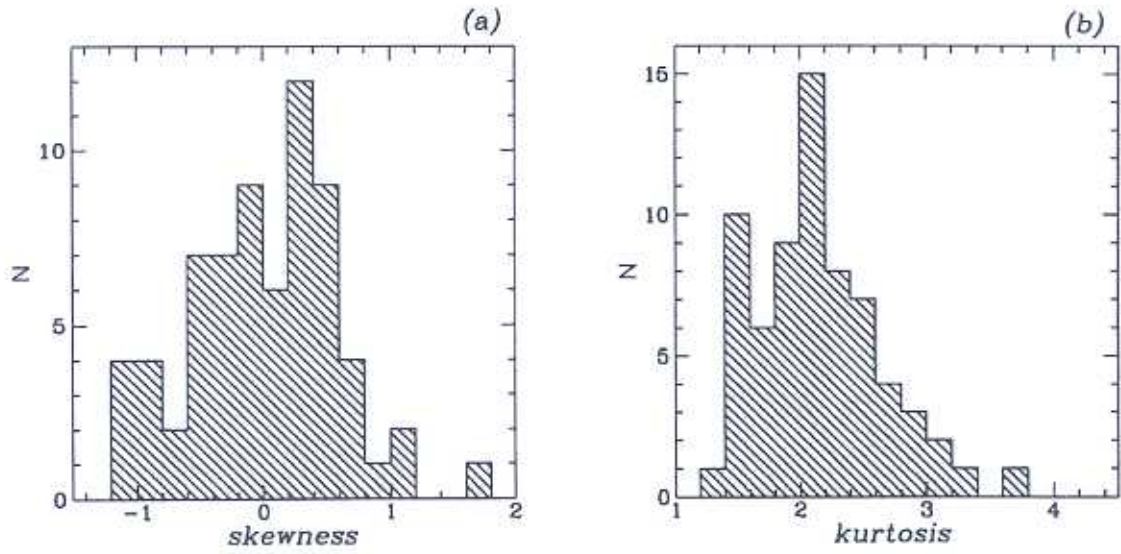


Figura 4.5: Distribuição dos parâmetros de "assimetria" (*skewness*, painel *a*) e "concentração" (*kurtosis*, painel *b*).

pequeno raio tem como principal vantagem o fato de que tais galáxias certamente estão dentro do raio de virialização do aglomerado, constituindo indicadores adequadas da dispersão. Por outro lado, se o raio for muito pequeno, o cálculo da dispersão estará sujeito as variações no perfil de dispersões de velocidades (PDV), que ocorrem principalmente dentro de $0.5 h^{-1}$ Mpc (e.g., den Hartog & Katgert, 1996). O tipo de perfil apresentado por um aglomerado depende da proporção das componentes isotrópica e anisotrópica (radial ou circular) na distribuição das velocidades das galáxias-membros, refletindo, portanto, o estado dinâmico do aglomerado. Normalmente são encontrados 3 tipos de perfis: planos (predominância de órbitas isotrópicas), crescentes (órbitas circulares) e decrescentes (órbitas radiais) (Girardi et al., 1998). Contudo, os perfis tendem a se tornar planos a partir de $0.5 h^{-1}$ Mpc. Nossos dados são insuficientes para permitir a análise dos PDV's dos aglomerados de Aquarius, de forma que os aglomerados com $R_{max} \lesssim 0.5 h_{75}^{-1}$ Mpc podem estar sujeitos a esse efeito.

A figura 4.6 mostra a distribuição das dispersões de velocidades encontradas para os 68 sistemas da tabela 4.3, para os 43 sistemas com mais de 7 galáxias-membros identificadas e para os 29 com $N_{mem} \geq 10$, respectivamente nos 3 histogramas, do menos para o mais hachurado. Há uma tendência já esperada de os sistemas menos amostrados serem também os com menores dispersões de velocidades (grupos), já que não foram diretamente observados mas sim identificados como subproduto da observação de sistemas mais ricos. A comparação de nossos resultados com alguns de levantamentos similares da literatura, nominalmente Mazure et al. (1996), Fadda et al. (1996) e Alonso et al. (1999), é mostrada nas figuras 4.7a a 4.7c. Nessas figuras comparamos apenas os aglomerados de nossa amostra com $N_{mem} \geq 10$, critério que corresponde aos utilizados pelos três trabalhos citados acima. Os dados da literatura foram normalizados para o número de aglomerados de nossa amostra (as três amostras tem originalmente, respectivamente, 80, 160 e 17 aglomerados). Na figura 4.7d, comparamos os mesmos trabalhos com nossos dados para os 68 aglomerados com estimativas robustas. Como era de se esperar, estamos amostrando um intervalo de riquezas bem maior que os citados trabalhos, já que estamos considerando também prováveis aglomerados mais pobres e grupos.

4.2.2 Raios Viriais e Raios Harmônicos

Para estimar a massa dos sistemas, primeiramente é necessário estimar o Raio Harmônico (R_H), que descreve a distribuição projetada das galáxias nesses sistemas (e.g., Maja, da Costa & Latham, 1989):

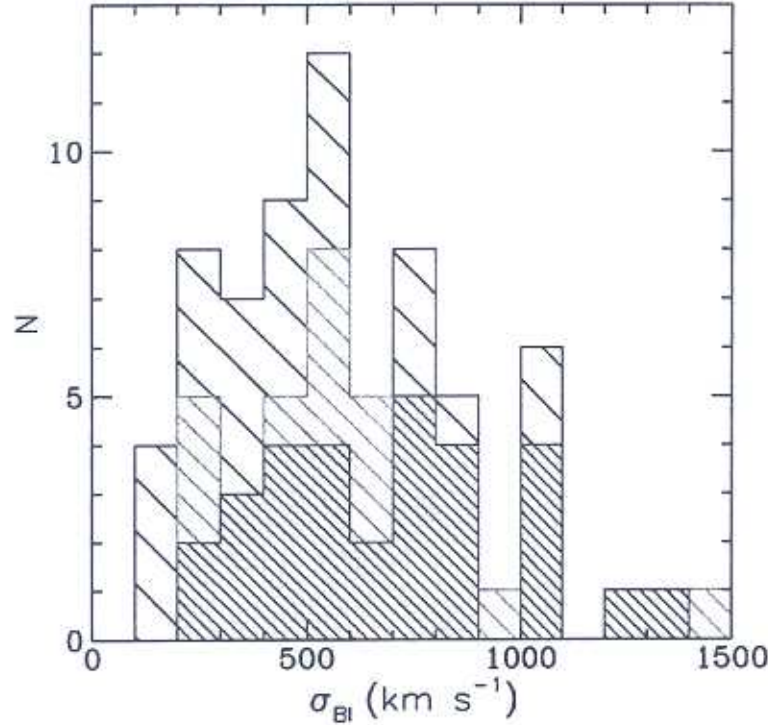


Figura 4.6: Distribuição das dispersões de velocidades para os sistemas de Aquarius, respectivamente, do hachureado mais esparsa para o mais denso, para os 72 sistemas com estimativa robusta, para os 43 sistemas com pelo menos 7 galáxias-membros e para os 29 sistemas com pelo menos 10 galáxias-membros.

$$R_H = \frac{N(N-1)/2}{\sum_i \sum_{j>i} R_{ij}^{-1}} = D_A \frac{N(N-1)}{2} \left(\sum_i \sum_{j>i} \frac{1}{\theta_{ij}} \right)^{-1} \quad (4.1)$$

onde N é o número de galáxias-membros, R_{ij} é a separação espacial entre pares de galáxias-membros, θ_{ij} é a separação angular e D_A a “distância de diâmetro angular”¹:

$$D_A = \frac{c}{H_0} \frac{1}{(1+z)^2} \frac{[q_0 z + (q_0 - 1)(\sqrt{2q_0 z + 1} - 1)]}{q_0^2} \quad (4.2)$$

para utilizar um sistema de coordenadas co-móveis. Um valor de $q_0 = 0.5$ foi utilizado².

¹definida como a razão entre o tamanho físico transversal de um objeto e seu tamanho angular (em raios), equivalente a razão da “distância de luminosidade” por $(1+z)^2$ (e.g., Hogg, 2000).

²Estritamente a relação acima é uma solução analítica da expressão da distância de diâmetro angular obtida para $\Lambda = 0$; caso em que o parâmetro de desaceleração é igual a $\Omega_0/2$.

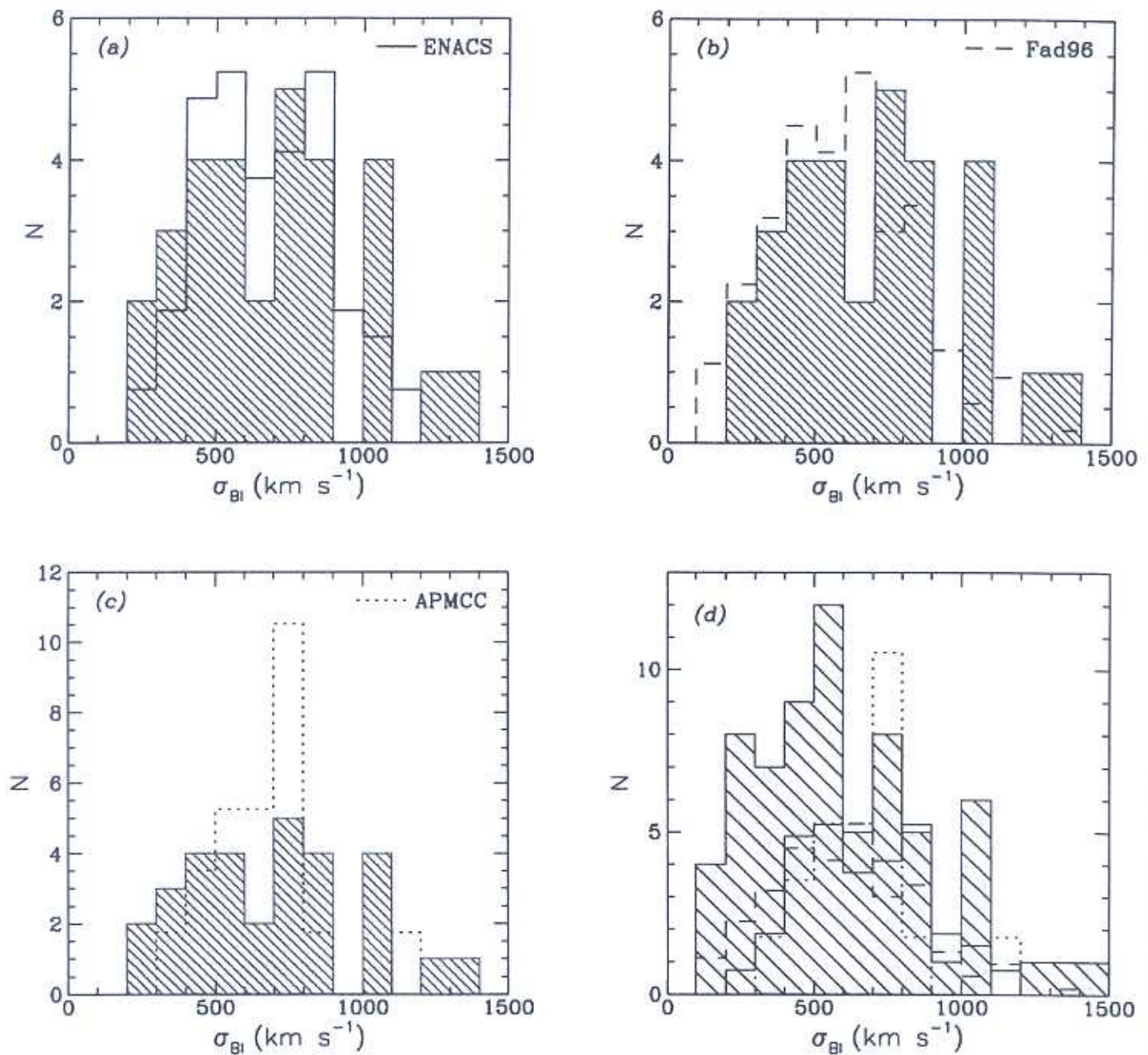


Figura 4.7: Comparação da distribuição das dispersões de velocidade obtidas para os sistemas com $N_{mem} \geq 10$ de Aquarius com distribuições de trabalhos similares da literatura: (a) dados de Mazure et al. (1996) para os aglomerados do ENACS, (b) dados de Fadda et al. (1996) e (c) dados de Alonso et al. (1999) para aglomerados APMCC. (d) Comparação das dispersões de velocidades de todos os sistemas considerados ($N_{mem} \geq 4$) com os mesmos dados da literatura.

Para amostragens incompletas de galáxias de um aglomerado, o que é, com raras exceções, o caso em geral, R_H é fortemente dependente da abertura (área circular que contém o aglomerado) que se considera. Entretanto, como pretendemos inferir a massa pelo Teorema do Virial, o ideal é calcular o R_H para as galáxias que estão dentro de R_V , o raio de virialização do aglomerado (dentro do qual o sistema já deve ter alcançado o equilíbrio dinâmico). Considerando uma relação empírica entre R_H e a abertura (que depende também de R_c , o raio do “caroço”, para o qual utilizaram um valor médio de $0.17h^{-1}$ Mpc), e uma relação entre R_H e R_V , Girardi et al. (1998) e Girardi & Mezzetti (2001) encontraram:

$$R_V \sim 0.0017\sigma_v/(1+z)^{3/2} (h^{-1} \text{ Mpc}) \quad (4.3)$$

que é um resultado similar ao encontrado por Carlberg, Yee & Ellingson (1997):

$$R_{200} = \frac{\sqrt{3}\sigma_v}{10H(z)} \quad (4.4)$$

onde R_{200} é o raio onde a densidade interior se iguala a 200 vezes a densidade crítica, contraste que se considera mínimo para um sistema virializado, e $H^2(z) = H_0^2[\Omega_0(1+z)^3 + \Omega_k(1+z)^2 + \Omega_\Lambda]$.

Utilizando essa relação podemos estimar o R_V diretamente a partir de σ_v . Porém, para então calcular o R_H , teríamos que ter a amostra de galáxias confirmadas no aglomerado (pelo *redshift*) abrangendo até pelo menos esse raio, o que não é o caso para a maioria dos aglomerados de Aquarius. Uma possibilidade é considerar que o efeito de projeção da distribuição de galáxias do fundo é pouco significativo para o cálculo de uma separação média, e que, portanto, podemos calcular R_H utilizando todas as galáxias na distribuição projetada.

Uma alternativa, proposta também por Girardi et al. (1998) e Girardi & Mezzetti (2001), foi estimar R_H a partir de R_c , utilizando a relação :

$$R_H = 1.193R_V \left[\frac{1 + 0.032(R_V/R_c)}{1 + 0.107(R_V/R_c)} \right] \quad (4.5)$$

que foi obtida da relação entre R_H e a abertura, citada acima, substituindo-se a abertura por R_V .

A figura 4.8 mostra a comparação dessas duas estimativas: o R_H **medido** dentro de R_V , por sua vez calculado a partir de σ_v , e o R_H **calculado** a partir de R_V e R_c , para os aglomerados de Aquarius. Os valores de R_c foram obtidos do ajuste dos perfis de densidade radial a serem descritos na próxima seção. Notoriamente 25% dos pontos apresentam

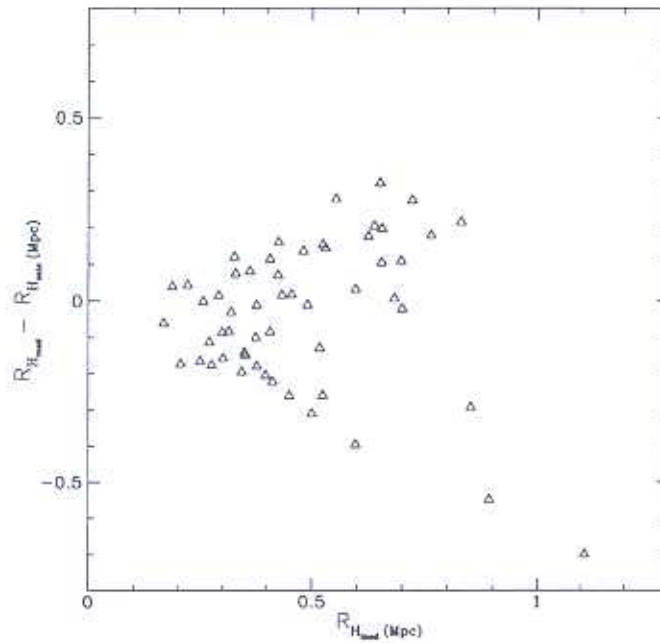


Figura 4.8: Comparação entre os raios harmônicos medidos dentro de R_V e os calculados a partir de R_V e R_c .

uma distribuição indicando valores de $R_{H\text{calc}}$ sistematicamente maiores que os valores de $R_{H\text{med}}$. O restante apresenta diferenças numa relação linear com $R_{H\text{med}}$, sendo a dispersão relativamente grande. Duas podem ser as causas dos pontos com $R_{H\text{calc}}$ maior que $R_{H\text{med}}$: subestimativa de $R_{H\text{med}}$ pela subestimativa de R_V , em consequência da existência de poucos dados de velocidades para estimar σ_v , ou superestimativa de $R_{H\text{calc}}$, a partir da superestimativa de R_c por efeitos de superposição e subestruturas na distribuição projetada de galáxias do aglomerado. Consideraremos os valores de $R_{H\text{med}}$ a partir daqui, conscientes dessa possibilidade de incertezas apresentada acima, algo que só pode ser contornado com a obtenção de um número maior de velocidades para membros de cada aglomerado.

Outro teste que fizemos com os dados de R_H medidos dentro de R_V foi o de compará-los com os determinados dentro de uma abertura fixa, estabelecida como $1 h_{75}^{-1}$ Mpc. Os resultados são mostrados na figura 4.9. Há uma correlação linear muito boa entre os valores, indicando que os efeitos de superposições e subestruturas não são tão críticos para raios entre 0.5 e $1 h_{75}^{-1}$ Mpc.

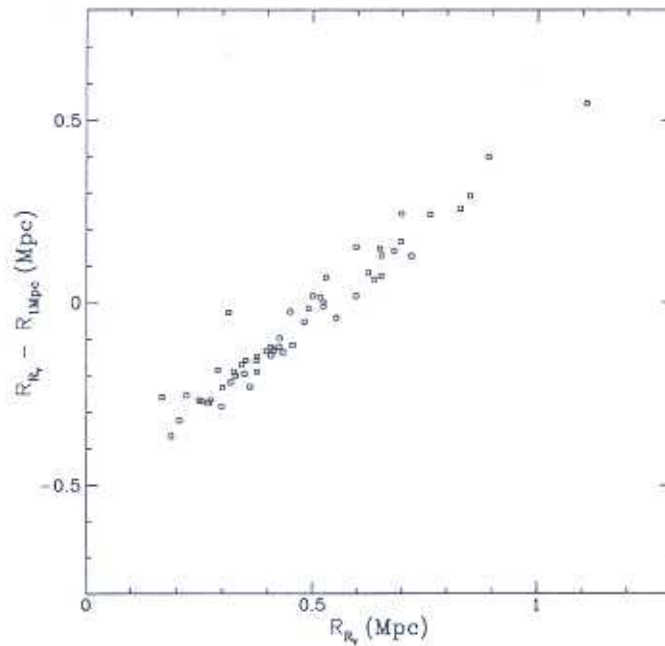


Figura 4.9: Comparação entre os raios harmônicos medidos dentro de R_V e os medidos dentro de uma abertura fixa de $1 h_{75}^{-1}$ Mpc.

4.2.3 Massas dos Aglomerados

Assumindo que os aglomerados tem simetria esférica, não tem rotação significativa e que a sua distribuição de massa segue a das galáxias, podemos inferir as massas desses aglomerados pelo Teorema do Virial:

$$\mathcal{M}_V = \frac{\sigma^2 R}{G} = \frac{3\pi}{2G} \sigma_v^2 R_H \quad (4.6)$$

onde σ_v é a componente de σ na direção radial, equivalente a $\sigma/\sqrt{3}$ para o caso isotrópico, e $\pi/2$ é a correção pelo uso do raio harmônico projetado (R_H), conforme apresentado na sub-seção anterior.

O parâmetro dinâmico mais importante e também mais difícil de ser estimado para um sistema de galáxias é a sua massa. Erros nas medidas de σ_v são propagados nas estimativas de massas, bem como erros no cálculo de R_H . Para as dispersões de velocidades, as 3 fontes mais importantes de erros são:

- a permanência de galáxias intrusas (que não tem ligação física real) na amostra, o que normalmente leva a uma sobre-estimativa de σ_v ;

- como as observações se limitam normalmente apenas às galáxias mais brilhantes dos aglomerados, na existência de segregação de luminosidade (relacionada à segregação de massa), σ_v vai ser sub-estimada;
- a σ_v de um aglomerado varia localmente, de forma que a σ_v global depende da abertura considerada.

No caso do R_H as principais fontes de erros são os efeitos de projeção.

Carlberg et al. (1996) propuseram uma correção da massa pelo fato do sistema não ser compreendido completamente pela amostra observada, a denominada correção pelo termo de superfície. Tal correção depende da componente anisotrópica do aglomerado (Girardi & Mezzetti, 2001), que pode ser medida pelo PDV: decrescente/radial, plana/isotrópica, crescente/circular, com correções medianas respectivamente de 45%, 20% e 14%, ou uma mediana genérica 21%. Carlberg, Yee & Ellingson (1997) encontraram que a razão M/L para R_{200} de um aglomerado equivale, em média, a $0.82 \pm 0.14 M_V/L$, que implica uma correção pelo termo de superfície da mesma ordem, 18%. Não utilizaremos essa correção neste trabalho, considerando-a contida dentro do erro esperado para nossas estimativas de massa por conta da subamostragem e dos efeitos de projeção.

Os parâmetros dinâmicos calculados para 63 aglomerados e 33 grupos de Aquarius são apresentados, respectivamente, nas tabelas 4.4 e 4.5, incluindo os parâmetros provenientes da análise dos perfis radiais a serem apresentados na próxima seção. Dos 56 prováveis aglomerados propostos anteriormente, 4 tiveram a massa calculada menor que $0.25 \times 10^{14} M_\odot$ e foram colocados juntos com os grupos. Outros anteriormente classificados como possíveis aglomerados pobres ou grupos ricos foram incluídos pelo critério da massa. Analogamente, 8 dos 33 grupos da tabela 4.5 apresentam massas maiores que $1 \times 10^{14} M_\odot$, mas a maioria deles parece se tratar de casos com superestimativa de σ_v ou efeitos de projeção e, portanto, foram mantidos na tabela de grupos. Os valores médios de massa para os aglomerados e grupos foram, respectivamente, $(3 \pm 4) \times 10^{14} h_{75}^{-1} M_\odot$ e $(2 \pm 2) \times 10^{13} h_{75}^{-1} M_\odot$.

A distribuição das massas obtidas é mostrada nas figuras 4.10a e 4.10b, sendo que a segunda figura mostra uma distribuição cumulativa do número de sistemas com massa maior que determinado valor. O corte abrupto na distribuição das massas dos aglomerados reflete nossa escolha para separar os aglomerados e grupos.

Tabela 4.4: Parâmetros Dinâmicos dos Aglomerados de Aquarius

Aqr CC	Identif.	dados ^a	R_c^b (Mpc)	γ	perfil ^c tipo	σ_v (km s^{-1})	iso- dens. ^d	R_V^b (Mpc)	N_V	ϵ	PA ^e ($^\circ$)	R_H^b (Mpc)	M_V ($\times 10^{14} M_\odot$)
002	A2509	b	0.07	0.88	2	318	reg	0.40	7	0.26	88	0.16	0.17
005	Aqr005	b	0.02	0.55	2	360	sub	0.52	21	0.39	113	0.22	0.31
009	A2518-B	...	...	...	...	472	sup	0.70	91	0.15	72	0.39	0.94
010	A2521	r	0.40	0.90	1	1270	reg	1.78	234	0.05	178	0.89	15.76
012	A2526	r	0.04	0.50	2	581	reg	0.75	33	0.19	64	0.31	1.13
013	A3964-B	...	...	...	...	644	...	0.83	26	0.21	75	0.32	1.48
014	A2527	b	0.06	0.92	2	637	reg	0.86	24	0.34	93	0.31	1.39
015	A2528	r	0.07	0.20	1	459	sub	0.68	73	0.16	133	0.38	0.87
016	A2531	r	0.09	0.40	1	588	reg	0.79	51	0.08	155	0.41	1.54
017	A2534	r	0.03	0.51	2	1071	sub	1.38	108	0.10	32	0.70	8.76
018	A2536	r	0.19	0.45	1	298	sup	0.39	15	0.10	109	0.20	0.20
018	A2536-B	r	0.04	0.37	2	884	sup	1.18	92	0.14	110	0.65	5.56
020	A2538	b	0.23	0.89	1	896	reg	1.35	182	0.19	114	0.60	5.24
023	A2540	c	0.19	0.81	1	528	reg	0.75	47	0.05	22	0.33	1.00
024	Aqr024	r	0.01	0.32	3	573	sub	0.83	59	0.21	151	0.43	1.53
025	A2541	r	0.27	0.25	4	1070	sup	1.55	251	0.09	108	0.85	10.68
026	A2542	r	0.04	0.10	3	460	sub	0.62	25	0.13	173	0.36	0.84
027	Aqr027-A	...	...	...	...	426	...	0.55	15	0.29	93	0.20	0.40
028	A2546	r	0.02	0.18	3	780	sub	1.13	141	0.18	98	0.64	4.26
029	A2547	r	0.08	0.32	1	1082	dup	1.49	157	0.19	133	0.76	9.78
030	Aqr030-A	r	0.09	0.17	3	706	dup	1.03	136	0.10	167	0.60	3.26
033	A2550	r	0.14	0.47	1	514	reg	0.73	70	0.15	106	0.38	1.09
035	A2554	c	0.21	0.37	1	852	reg	1.24	236	0.09	84	0.68	5.43
036	A2553	r	0.09	0.36	1	519	sub	0.72	60	0.14	6	0.37	1.09
038	A2556	r	0.07	0.26	1	497	reg	0.75	106	0.11	139	0.43	1.17
039	S1099	c	0.08	0.41	1	771	dup	1.12	110	0.04	74	0.65	4.26
041	A2565-A	r	0.03	0.27	3	404	sup	0.61	90	0.33	19	0.33	0.58
041	A2565-B	r	0.15	0.40	1	326	sup	0.46	36	0.30	4	0.25	0.29
042	A3985	c	0.05	0.37	1	1355	sub	1.97	416	0.12	49	1.11	22.28
044	A2566	c	0.11	0.54	1	859	sub	1.30	220	0.12	124	0.72	5.83
046	A2568	r	0.11	0.28	4	341	sub	0.48	19	0.31	47	0.30	0.38
047	ED275	b	0.05	0.73	2	806	sub	1.12	43	0.24	167	0.53	3.77
051	A2576	r	0.08	0.44	1	750	reg	0.99	85	0.17	12	0.49	3.02
052	S1113	c	0.37	0.69	1	513	sub	0.71	39	0.17	160	0.38	1.08
055	A2577	r	0.44	0.44	1	293	dup	0.42	36	0.14	81	0.28	0.26
057	A2579	r	0.06	0.27	1	425	dup	0.62	74	0.08	54	0.32	0.63
059	A3997	r	0.03	0.31	2	694	sub	0.96	73	0.13	8	0.55	2.92
061	A2580	r	0.05	0.29	1	643	reg	0.96	220	0.15	160	0.52	2.37
063	A2583	b	0.17	0.81	1	662	reg	0.96	56	0.05	18	0.45	2.16
065	A2586	b	0.12	0.33	1	758	sub	1.05	40	0.34	147	0.52	3.26
066	A2587	r	0.20	0.55	1	793	sub	1.00	67	0.07	40	0.52	3.61
067	ED291	c	0.22	0.68	1	379	reg	0.54	42	0.15	38	0.30	0.47
068	A4003	r	0.17	0.78	4	506	sub	0.64	32	0.20	90	0.34	0.96
069	A2595	r	0.11	0.41	1	540	dup	0.72	54	0.27	124	0.35	1.12
070	A2596	r	0.18	0.41	1	521	reg	0.78	111	0.07	81	0.41	1.23
071	Aqr071	r	0.03	0.25	3	1021	sub	1.47	234	0.08	174	0.83	9.47
072	APM895	c	0.21	0.78	4	554	sub	0.80	92	0.15	109	0.43	1.43
074	A2599-A	r	0.02	0.15	3	483	sub	0.72	99	0.18	110	0.41	1.04
074	A2599-B	r	0.17	0.36	1	524	reg	0.75	63	0.13	141	0.40	1.20
075	A2600	r	0.02	0.22	1	793	sub	1.14	143	0.05	180	0.62	4.30

Tabela 4.4: Continuação ...

Aqr CC	Identif.	dados ^a	R_c ^b (Mpc)	γ	perfil ^c tipo	σ_v (km s ⁻¹)	iso- dens. ^d	R_V ^b (Mpc)	N_V	ϵ	PA ^e (°)	R_H ^b (Mpc)	M_V ($\times 10^{14} M_\odot$)
076	A2601-A1	r	0.04	0.50	2	767	reg	0.97	59	0.32	49	0.48	3.10
076	A2601-A2	r	0.55	0.44	1	767	sub	0.97	55	0.23	156	0.54	3.48
077	A2603	r	0.05	0.59	2	397	reg	0.51	28	0.24	18	0.29	0.50
078	ED300	c	0.11	0.51	1	581	sub	0.84	65	0.26	170	0.46	1.68
080	A2604	r	0.03	0.49	2	570	sup	0.73	44	0.26	114	0.39	1.38
081	A2605-A	r	0.05	0.49	2	629	sup	0.91	103	0.19	145	0.48	2.09
081	A2605-B		...	...		314	sup	0.47	48	0.09	133	0.27	0.29
082	A2606	r	0.21	0.58	1	744	dup	1.03	138	0.24	96	0.50	3.03
085	A2608	r	0.48	0.50	1	1090	dup	1.49	172	0.05	44	0.79	10.23
088	Aqr088	r	0.11	0.32	1	487	sub	0.67	37	0.25	113	0.35	0.91
094	A2615	r	0.04	0.35	1	580	sup	0.68	39	0.22	29	0.38	1.41
099	A2628	r	0.11	0.40	1	1075	reg	1.41	107	0.05	13	0.70	8.85
101	A2629	r	0.06	0.36	1	963	sub	1.24	97	0.20	37	0.65	6.66

^aCatálogo do qual foram extraídos os dados para o ajuste dos perfis radiais e contornos de isodensidades apresentados nos gráficos do Apêndice C (veja seção 4.4): (r) dados R ; (b) dados b_J e (c) dados do catálogo combinado.

^b $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

^cTipo do perfil radial ajustado (seção 4.4): (1) regular; (2) concentrado; (3) achatado; (4) ajuste insatisfatório.

^dTipo dos contornos do aglomerado (mais detalhes também na seção 4.4): (reg) regulares; (sub) subestruturados; (dup) duas subestruturas igualmente significativas e (sup) sujeito a efeitos de superposição.

^eEm relação à direção Norte, no sentido anti-horário.

4.3 Perfis de Densidade Radial Projetada

Vários modelos já foram propostos para descrever a distribuição radial de galáxias em um aglomerado. Dos modelos mais clássicos destacam-se o de Hubble, o de de Vaucouleurs (1948) e o de King (1962). Tanto a Lei de de Vaucouleurs como a Lei de King foram derivadas originalmente para outros sistemas — a primeira para galáxias elípticas e a outra para aglomerados de estrelas — mas se ajustam também à distribuição de galáxias num aglomerado, especialmente a de King. A Lei de King é também a mais usada, sendo descrita por:

$$\Sigma(r) = \Sigma(0) [1 + (r/R_c)^2]^{-\gamma} \quad (4.7)$$

onde $\Sigma(0)$ é a densidade superficial central de galáxias, R_c é o raio do “caroço”, região onde o perfil é aproximadamente plano na escala logarítmica, e γ é a sua inclinação para $r > R_c$. Na verdade, o perfil de King original era com $\gamma = 1$, sendo os valores encontrados para os aglomerados de galáxias um pouco menores, em geral.

A partir de simulações numéricas de N-corpos incluindo matéria escura, Navarro, Frenk &

Tabela 4.5: Parâmetros Dinâmicos de alguns Grupos de Aquarius

Aqr CC	Identif.	dados ^a	R_c^b (Mpc)	γ	perfil ^c tipo	σ_v (km s ⁻¹)	iso- dens. ^d	R_V^b (Mpc)	N_V	ϵ	PA ^e (°)	R_H^b (Mpc)	M_V ($\times 10^{14} M_\odot$)
002	A2509-B		...	...		155	...	0.23	5	0.17	65	0.19	0.05
002	A2509-C		...	...		120	...	0.17	3	0.43	20	0.09	0.01
004	A3949	b	0.03	0.65	2	189	reg	0.26	8	0.47	91	0.13	0.05
009	A2518-A	c	0.17	0.43	1	288	sup	0.41	26	0.16	162	0.27	0.24
013	A3964-A		...	...		291	...	0.41	21	0.38	65	0.19	0.18
021	A2539-A		...	...		501	...	0.66	26	0.11	10	0.40	1.10
022	Aqr022-A		...	...		152	...	0.23	5	0.59	107	0.12	0.03
022	Aqr022-B		...	...		119	...	0.17	4	0.62	40	0.12	0.02
025	A2541-B		...	...		124	...	0.19	15	0.40	127	0.12	0.02
027	Aqr027-B		...	...		120	...	0.17	6	0.42	67	0.10	0.01
030	Aqr030-B		...	...		898	...	1.35	261	0.11	169	0.76	6.71
030	Aqr030-C		...	...		106	...	0.16	6	0.43	121	0.11	0.01
031	A2548	r	0.02	0.16	3	216	sub	0.31	18	0.22	21	0.19	0.09
037	A2555-B		...	...		215	...	0.30	17	0.22	166	0.18	0.09
037	A2555	c	0.05	0.38	1	272	sub	0.40	30	0.04	138	0.26	0.21
040	Aqr040-A		...	...		135	...	0.20	8	0.07	115	0.15	0.03
040	Aqr040-B		...	...		300	...	0.40	14	0.40	13	0.21	0.20
048	Aqr048-A		...	...		86	...	0.13	2	0.33	155	0.07	0.01
048	Aqr048-B		...	...		316	...	0.47	29	0.09	39	0.26	0.29
057	A2579-C		...	...		198	...	0.30	13	0.35	25	0.16	0.07
058	A3996-A		...	...		1083	...	1.63	443	0.08	108	0.91	11.68
058	A3996-B		...	...		439	...	0.64	50	0.09	172	0.36	0.77
061	A2580-B		...	...		978	...	1.24	114	0.02	35	0.66	6.90
065	A2586-B		...	...		135	...	0.18	4	0.27	66	0.14	0.03
075	A2600-B		...	...		409	...	0.64	144	0.03	34	0.36	0.66
076	A2601-B		...	...		358	...	0.52	22	0.23	133	0.31	0.44
085	A2608-B		...	...		805	...	1.27	690	0.15	127	0.72	5.11
091	A4014	b	0.04	0.63	2	260	reg	0.38	18	0.24	11	0.17	0.12
093	A2614-A		...	...		475	...	0.64	31	0.17	10	0.34	0.84
093	A2614-B		...	...		551	...	0.85	202	0.13	62	0.47	1.57
093	A2614-C		...	...		808	...	1.17	152	0.12	147	0.64	4.59
094	A2615-B		...	...		278	...	0.36	22	0.25	137	0.21	0.18
094	A2615-C		...	...		1482	...	2.33	415	0.07	128	1.29	31.03

^aCatálogo do qual foram extraídos os dados para o ajuste dos perfis radiais e contornos de isodensidades apresentados nos gráficos do Apêndice C (veja seção 4.4): (r) dados R , (b) dados b_j e (c) dados do catálogo combinado.

^b $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

^cTipo do perfil radial ajustado (seção 4.4): (1) regular; (2) concentrado; (3) achatado; (4) ajuste insatisfatório.

^dTipo dos contornos do aglomerado (mais detalhes também na seção 4.4): (reg) regulares; (sub) subestruturados; (dup) duas subestruturas igualmente significativas e (sup) sujeito a efeitos de superposição.

^eEm relação à direção Norte, no sentido anti-horário.

White (1997, NFW) encontraram que o perfil radial dos halos de matéria escura em equilíbrio, em universos com aglomeramento hierárquico, segue um modelo “universal”, que independe da massa do halo, do espectro de perturbações de densidade primordiais e dos valores dos parâmetros cosmológicos. Esse perfil não apresenta um caroço, embora sua inclinação seja menor em pequenos raios. A grandes distâncias do centro do aglomerado o perfil de NFW

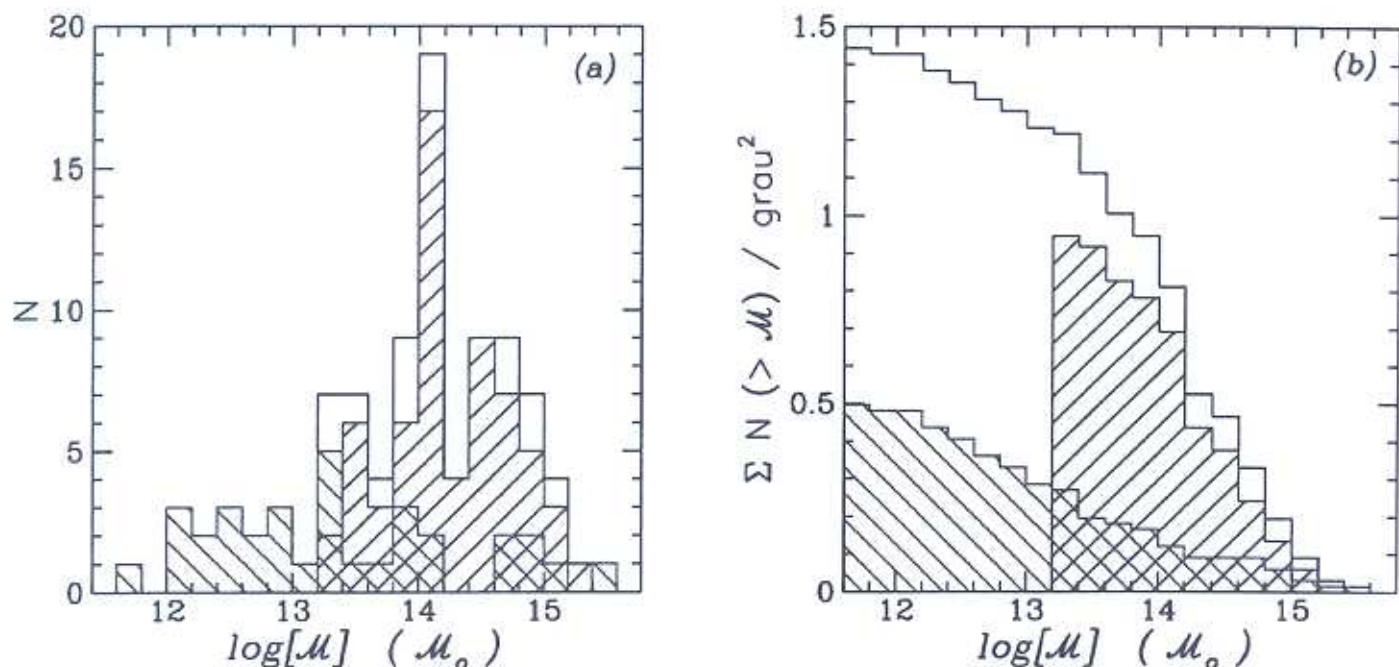


Figura 4.10: (a) Distribuição das massas dos aglomerados (histograma de linhas azuis, hachureado para a direita), dos grupos (histograma de linhas vermelhas, hachureado para a esquerda) e de todos (histograma não hachureado). (b) Distribuição cumulativa dos mesmos dados.

se aproxima do perfil de distribuição de galáxias de Hernquist (1990), outro modelo sem um caroço característico, desenvolvido como uma generalização do modelo proposto por de Vaucouleurs. A existência ou não do caroço nos aglomerados ainda é uma questão em aberto, por um lado NFW argumentam que a presença de arcos gigantes (de lentes gravitacionais) nos aglomerados exige que a distribuição de massa não apresente um caroço, enquanto por outro as observações em raios-X se mostram bastante consistentes com os modelos com caroço (Adami et al., 1998).

Contudo, a distribuição projetada das galáxias dos aglomerados parece ser melhor ajustada pelo perfil de King (e.g., Adami et al., 1998), que é o modelo que usamos neste trabalho.

4.3.1 Ajuste dos Perfís

Como a quantidade de galáxias com *redshift* é pequena, fizemos o ajuste para todas as galáxias da distribuição projetada, utilizando os dados dos 3 catálogos fotométricos. Como nossa

amostra é mais profunda no catálogo R , esses foram os dados preferencialmente utilizados. Para alguns aglomerados na borda da região de Aquarius os dados do catálogo R não permitem uma estimativa acurada de céu, ou mesmo amostram apenas parcialmente esses aglomerados. Nesses casos os dados utilizados foram os do catálogo b_J . Fizemos também estimativas utilizando os dados do catálogo de cores, que é o mais superficial (com uma densidade de objetos apenas um pouco menor que a do catálogo b_J), que no final foram consideradas melhores para alguns aglomerados mais próximos para os quais as estimativas com os dados R incluíam muita contaminação. O catálogo do qual os dados foram utilizados é assinalado com uma das letras: b , r ou c , na terceira coluna das tabelas 4.4 e 4.5, respectivamente para os dados b_J , R e combinados.

Para cada um dos aglomerados, contamos galáxias em anéis circulares regularmente espaçados e com larguras de $0.1 h_{75}^{-1}$ Mpc, centrados na posição determinada como centro do aglomerado (tabela 4.2). Às densidades obtidas das contagens de galáxias nesses anéis, ajustamos o perfil de King (equação 4.7). Para o ajuste foi escolhida a curva cuja combinação de parâmetros $[\Sigma(0), R_c \text{ e } \gamma]$ minimizava a soma dos quadrados dos resíduos (χ^2) entre a curva teórica e os dados experimentais (método dos mínimos quadrados). Esse processo de busca da melhor curva foi feito de forma iterativa, utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt (Press et al., 1988), dentro do pacote gráfico ORIGIN. Normalmente a convergência era alcançada entre a quarta e a décima iteração. Os parâmetros iniciais utilizados foram $\Sigma(0) = 2.0 \text{ gal}/\square'$, $R_c = 0.15 h_{75}^{-1}$ Mpc e $\gamma = 0.8$. Para 35% dos casos, nos quais a amostragem do aglomerado foi pouco profunda — normalmente aglomerados mais distantes — não se conseguiu uma convergência com essa metodologia. O parâmetro que se afasta mais rapidamente da convergência é $\Sigma(0)$, em virtude do pequeno número de intervalos acima do valor de céu. Nesses casos, o processo iterativo é interrompido nas primeiras iterações (frequentemente quinta ou sexta), normalmente na iteração na qual é minimizada a dependência do ajuste nesse parâmetro. O valor do céu local foi calculado pela média das contagens nos anéis de 1.5 a $3 h_{75}^{-1}$ Mpc.

4.4 Resultados

No apêndice C são apresentados os resultados gráficos para cada um dos 64 sistemas submetidos à análise da distribuição radial de galáxias (colunas 3 a 6 e 8 das tabelas 4.4 e 4.5). Para cada aglomerado são mostradas uma imagem e 5 gráficos, conforme descritos abaixo.

- Imagem retirada do *Digitized Sky Survey* (DSS), de $2 \times 2 h_{75}^{-1}$ Mpc, no centro escolhido conforme descrito na seção 4.1.1.
- Distribuição das galáxias identificadas no catálogo fotométrico em questão e das galáxias observadas espectroscopicamente, numa área de $3 \times 3 h_{75}^{-1}$ Mpc. Há 5 tipos de pontos nessas figuras:
 - pontos pretos menores \rightarrow galáxias identificadas no catálogo fotométrico R (maioria) ou b_J (9 casos, conforme explicado acima),
 - pontos pretos maiores \rightarrow galáxias no catálogo fotométrico de cores (presentes, portanto, nos 2 catálogos anteriores),
 - quadrados verdes \rightarrow galáxias com *redshifts* que foram selecionadas como galáxias-membros do aglomerado — são os mesmos objetos do histograma maior (4^o gráfico),
 - sinais + azuis \rightarrow galáxias com z que se revelaram objetos de *foreground* em relação ao aglomerado em questão,
 - sinais \times vermelhos \rightarrow galáxias com z que se revelaram objetos de *background* em relação ao aglomerado em questão.

Os dois círculos pontilhados representam as regiões compreendidas respectivamente dentro de 0.5 e $1 h_{75}^{-1}$ Mpc.

- Contornos de isodensidades para as galáxias do catálogo R , b_J ou cor, diferenciadas pelas letras r, b ou c nas tabelas 4.4 e 4.5, respectivamente. Foram utilizadas células de lado $0.4 h_{75}^{-1}$ Mpc, com passos de $0.2 h_{75}^{-1}$ Mpc, resultando numa resolução de $0.2 h_{75}^{-1}$ Mpc. A linha pontilhada representa o nível imediatamente acima do patamar do céu (0.5 ou $1\sigma_{fundo}$, dependendo do caso), enquanto as linhas contínuas representam níveis consecutivos de $1\sigma_{fundo}$. Para tais dados, $1\sigma_{fundo}$ representa em torno de 2 galáxias a mais em cada célula. Para os 13 casos em que os aglomerados apresentam emissão em raios-X, também são marcados sinais + verdes para as BCGs e sinais \times vermelhos para o pico da emissão em raios-X.
- Perfil radial da densidade projetada de galáxias do aglomerado (densidade superficial \times distância ao centro do aglomerado), medidas em anéis concêntricos de $0.1 h_{75}^{-1}$ Mpc. As densidades medidas são representadas pelos pontos quadrados abertos e o ajuste pela linha contínua vermelha. Para os dados do catálogo combinado foram marcados 3

valores de céu para cada aglomerado: um valor médio para a região de Aquarius (linha pontilhada), um valor médio para a respectiva placa b_J (linha de tracejado menor) — os dados SSC tem pequenas diferenças residuais que resultaram em diferenças no número de galáxias de fundo — e um valor local (linha de tracejado maior azul). Para os dados R e b_J independentes apenas esse último valor foi delineado.

- Histograma (menor) da distribuição de galáxias no espaço de z 's (os mesmos objetos plotados em cores no primeiro gráfico), entre 0 e 70000 km s^{-1} . Objetos de *foreground* tem seu histograma desenhado em azul e os de *background* em vermelho.
- Histograma (maior) da distribuição de galáxias-membros no espaço de z 's para o aglomerado em questão, num intervalo de $\pm 2500 \text{ km s}^{-1}$ em relação a \bar{z} . Os intervalos do histograma são de 250 km s^{-1} , da ordem de 2.5 vezes a incerteza estimada das velocidades individuais.

A identificação de cada aglomerado/sistema é dada na faixa central entre os gráficos.

4.4.1 Contornos de Isodensidades

Visando facilitar a análise, os aglomerados de nossa amostra foram divididos em 4 classes de acordo com os contornos de isodensidades superficiais: regulares (reg), subestruturados (sub), duplos (dup) e sujeitos a superposição significativa (sup), marcadas na coluna 8 das tabelas 4.4 e 4.5.

- ▷ Regulares → quando apenas um pico se sobressai nos contornos de isodensidades ou quando o maior pico tem pelo menos uma contagem $\geq 3\sigma_{fundo}$ em relação ao segundo pico. Esse critério é similar ao critério proposto por Geller & Beers (1982) para a significância de um pico nos mapas de isodensidades, que consideravam como referência σ_R , o erro associado ao contorno que envolve 2 ou mais picos de interesse. Nossos aglomerados regulares também satisfazem a tal critérios. Aproximadamente 1/3 dos aglomerados de Aquarius foram separados nessa classe. Normalmente, para a maioria desses casos, as isocurvas dos aglomerados tem uma forma aproximadamente elíptica (pelo menos na região central), o que é esperado para aglomerados dinamicamente mais evoluídos.
- ▷ Subestruturados → quando mais de um pico se sobressai, sendo que a diferença de contagens entre eles é $< 3\sigma_{fundo}$. Esse critério é um pouco mais amplo que o critério de

Geller & Beers (1982), que foi definido para aglomerados ricos, o que não é nosso caso geral. Com nosso critério, 41% dos aglomerados de Aquarius apresentam subestruturas, enquanto apenas 20% as apresentam com o critério de Geller & Beers (1982) (que encontraram uma fração de aglomerados subestruturados de 40%). Tais aglomerados podem se tratar tanto de sistemas dinamicamente jovens, em formação, como de sistemas mais evoluídos em processo de fusão com um grupo ou outro aglomerado.

- ▷ Duplos → oito dos aglomerados analisados apresentam 2 estruturas igualmente significativas, e foram classificados como sistemas duplos. Considerando esses casos também como subestruturados, a fração de aglomerados com subestruturas sobe para 53%.
- ▷ Superposição Significativa → quando a presença de superposição impede a classificação em algum dos casos anteriores. Compreendem 15% dos casos.

4.4.2 Perfis Radiais

Quanto às características dos perfis radiais que ajustamos aos aglomerados de Aquarius, novamente dividimos em 4 classes:

- ▷ Perfis Regulares → são os perfis mais bem ajustados, que não apresentaram dificuldades para atingir a convergência e com valores de $R_c \geq 0.05 h_{75}^{-1} \text{Mpc}$ e $0.3 \leq \gamma \leq 0.9$. Compreendem 49% dos casos.
- ▷ Perfis Concentrados → são perfis com o mesmo intervalo de inclinações do caso anterior mas com R_c menores, entre 0.02 e 0.06. Correspondem a aglomerados mais concentrados, alguns provavelmente realmente pequenos e outros apenas subamostrados por estarem no limite de nossa amostra. Para apenas 30% desses casos se conseguiu convergência no ajuste. Compreendem 18% da amostra.
- ▷ Perfis Achatados → são perfis com baixa inclinação ($\gamma \leq 0.3$) e pequenos caroços ($R_c \leq 0.4$). A convergência foi conseguida para apenas 10% desses casos. Isso se deve provavelmente ao pouco contraste desses aglomerados com o fundo de céu, já que se trata de uma região com muita superposição (mais de um superaglomerado), o que faz com que a distribuição de galáxias do céu seja muito acima do céu real. Outros casos são devidos à presença de subestruturas. Também são incluídos nessa classe 18% dos casos.

- ▷ Perfis Indeterminados → para 15% dos aglomerados não foi possível um ajuste de perfil satisfatório, todos casos com subestruturas, irregulares ou com superposição significativa.

A classificação acima foi feita com os resultados a partir dos dados na banda R apenas, para garantir homogeneidade. É notável a frequência de aglomerados do superaglomerado em $z \sim 0.11$ (que será discutido na próxima seção) nas classes de perfis achatados e indeterminados. Como dito acima, isso deve estar relacionado ao pouco contraste com a distribuição das galáxias de fundo. Para a maioria desses casos porém, os dados do catálogo de cores apresentaram ajustes de perfil de melhor qualidade, provavelmente porque, por ser o catálogo de cores mais “raso”, a contaminação com galáxias de fundo foi reduzida, fazendo sobressair mais a sobredensidade do aglomerado. Para esses 10 casos apresentamos no apêndice C os gráficos respectivos a esse ajuste, dos quais foram extraídos os parâmetros listados nas tabelas 4.4 e 4.5.

4.5 Resumo do Capítulo

- Para determinação do centro projetado de cada aglomerado utilizamos normalmente a posição da(s) BCG(s) ou a média das posições das galáxias confirmadas como membros, com incertezas da ordem de $0.1 h_{75}^{-1}$ Mpc.
- As novas determinações de centro para os aglomerados de catálogos da literatura diferem, em média, de $0.2 h_{75}^{-1}$ Mpc das posições originais.
- Para a definição das galáxias que são membros dos aglomerados ou grupos utilizamos o método de *gaps*, com um valor de 1500 km s^{-1} para o intervalo máximo de separação entre membros.
- Foram identificados 107 sistemas a partir das velocidades radiais obtidas para os 72 candidatos a aglomerados observados, compreendendo 78% das galáxias dentro dos “cones observacionais” desses candidatos.
- Utilizando a fração N_{mem}/N_z separamos os candidatos observados em: aglomerados sem superposição (51%), aglomerados com sobreposição de pequenos grupos (21%), superposição de 2 sistemas similarmente significativos (provavelmente aglomerados pobres ou grupos ricos, 11%) e superposição de pequenos grupos (13%), além de 4% dos

casos para os quais nenhum sistema foi identificado.

- Com esses resultados determinamos a contaminação do nosso catálogo de candidatos como sendo de aproximadamente 10%.
- Foram feitas determinações robustas de centro (\bar{v}) e escala (σ_v) para 68 sistemas com pelo menos 4 galáxias-membros.
- Com a medida do raio harmônico da distribuição projetada de galáxias dentro do raio de virialização e com a dispersão das velocidades obtidas para as galáxias-membros obtivemos determinações de massas viriais para 63 aglomerados e 33 grupos da amostra de sistemas de Aquarius.
- Quatro dos 56 sistemas classificados como prováveis aglomerados tiveram a massa calculada inferior a $0.25 \times 10^{14} \mathcal{M}_\odot$ e foram reclassificados como grupos, enquanto aproximadamente metade dos sistemas indeterminados anteriormente foram reclassificados como aglomerados.
- Os sistemas classificados como grupos também tiveram 8 casos com massas calculadas maiores que $1 \times 10^{14} \mathcal{M}_\odot$, mas a maioria deles parece se tratar de sistemas com superestimativa de σ_v ou problemas causados por efeitos de projeção.
- Os valores médios de massa encontrados para os aglomerados e grupos de nossa amostra foram, respectivamente, $(3 \pm 4) \times 10^{14} h_{75}^{-1} \mathcal{M}_\odot$ e $(2 \pm 2) \times 10^{13} h_{75}^{-1} \mathcal{M}_\odot$.
- Perfis radiais do tipo de King foram ajustados à distribuição de galáxias dos aglomerados pelo método de mínimos quadrados. Foram encontrados 4 tipos de perfis: regulares (49%), concentrados (18%), planos (18%) e indeterminados (15%).
- A partir dos contornos de isodensidades calculados para os aglomerados foi encontrada uma fração com subestruturas entre 40 e 50%, sendo que parte desse sistemas foram considerados duplos por apresentarem 2 estruturas igualmente significativas. Outros 15% apresentam problemas por efeitos significativos de superposição e 1/3 apresentam contornos regulares, característicos de sistemas dinamicamente evoluídos (em equilíbrio ou próximo dele).

Capítulo 5

Análise dos Superaglomerados

De posse dos resultados obtidos no último capítulo podemos finalmente analisar a existência de Superaglomerados de Galáxias na região de Aquarius, e calcular algumas das propriedades físicas, como dimensões, massa e estado dinâmico, das estruturas encontradas. Grande parte das propriedades cinemáticas e dinâmicas que se calcula para SA são baseadas na validade do Teorema do Virial, o que provavelmente não corresponde à realidade dada a juventude dinâmica desses sistemas. Contudo, na falta de modelos alternativos adequados, uma estimativa da ordem de grandeza já é vantajosa. Na verdade, resultados teóricos e comparações com simulações de N-corpos (Small et al., 1998) sugerem que as estimativas a partir dessa aproximação para SA são robustas, com incertezas da ordem de 30%. Além disso, como os resultados para outros SA também são obtidos sob essa conjectura, a comparação dos resultados e as propriedades coletivas desses sistemas podem ser adequadamente analisadas com esses resultados. Para facilitar a comparação com os dados da literatura, estaremos usando nesta seção a constante de Hubble parametrizada por $h = H_0/100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

5.1 Distribuição Espacial dos Aglomerados e Grupos

5.1.1 Diagramas em Cunha

A distribuição dos 107 sistemas de galáxias identificados em Aquarius (listados na tabela 4.2) é mostrada na figura 5.1. Os símbolos representam os diferentes tipos de sistemas quanto à sua riqueza estimada pelo nosso critério da fração N_{mem}/N_z . Tanto na distribuição de $z \times \alpha$ quanto na distribuição $z \times \delta$ destacam-se duas concentrações principais em $z \sim 0.08-0.09$ e $z \sim 0.11$, além de filamentos entre $0.12 < z < 0.16$. A região mais próxima que $z \sim 0.08$ não é

muito bem amostrada no nosso levantamento, que, embora inclua as velocidades disponíveis na literatura (NED) até aproximadamente $b_J = 16.5$, começa normalmente por volta de $b_J = 17.5$ para os aglomerados. Mesmo assim é pouco provável que tenhamos deixado de detectar algum aglomerado significativamente rico mais próximo que $z \sim 0.08$ com a metodologia de detecção aplicada, discutida no capítulo 3. Com o levantamento de velocidades radiais encontramos apenas alguns grupos (representados por símbolos \times) por volta de $z \sim 0.05-0.06$, todos distribuídos mais na parte leste da região. Em análises com contagens em células para regiões maiores que a de Aquarius, detectamos uma concentração de galáxias de magnitudes $b_J \sim 17$, justamente por volta de $\alpha = 23.75$ que pode ser um superaglomerado em $z \sim 0.05-0.06$ nessa região, de forma que os grupos próximos em Aquarius podem ser parte dessa estrutura. Essa estrutura aparece também na análise de percolação, a ser discutida nas próximas sub-seções. Para z 's maiores que 0.15 nossa amostragem também é menos completa, mas mesmo assim algumas concentrações de sistemas se destacam, principalmente por volta de $z \sim 0.2$.

Outra característica que se pode notar é que os grupos acompanham a distribuição definida pelos sistemas mais ricos. Além disso, os grupos tem uma distribuição menos profunda que os aglomerados, o que pode ser percebido mais facilmente na figura 5.2, a qual mostra histogramas de z 's separados para as duas classes de sistemas. A distribuição dos sistemas mais pobres é mais uniforme que a dos sistemas mais ricos — para esses últimos um pico em $z \sim 0.11$ é evidente.

Detalhes da figura 5.1 são mostrados nas figuras 5.3 a 5.6.

5.1.2 O Método de Percolação

Para testar a significância das estruturas percebidas visualmente na figura 5.1, e mapear quais aglomerados e grupos devem constituir SA na região, aplicamos o método de percolação ou método do “amigo-do-amigo” (ou ainda do “vizinho-mais-próximo”) à distribuição dos sistemas de Aquarius. Tal método é um dos mais utilizados para a detecção de estruturas da ordem de superaglomerados de galáxias, bem como para a detecção de estruturas menores (Zel'dovich, Einasto & Shandarin, 1982; Huchra & Geller, 1982). Basicamente, o método pode ser descrito da seguinte forma: consideremos a distribuição espacial dos pontos que se deseja estudar (aglomerados no nosso caso) e delimitemos uma esfera de determinado raio, R_{perc} , centrada em cada um dos pontos. Se R_{perc} for muito pequeno, as diversas esferas em nossa distribuição não se tocarão. Se, por outro lado, aumentarmos o tamanho de R_{perc} ,

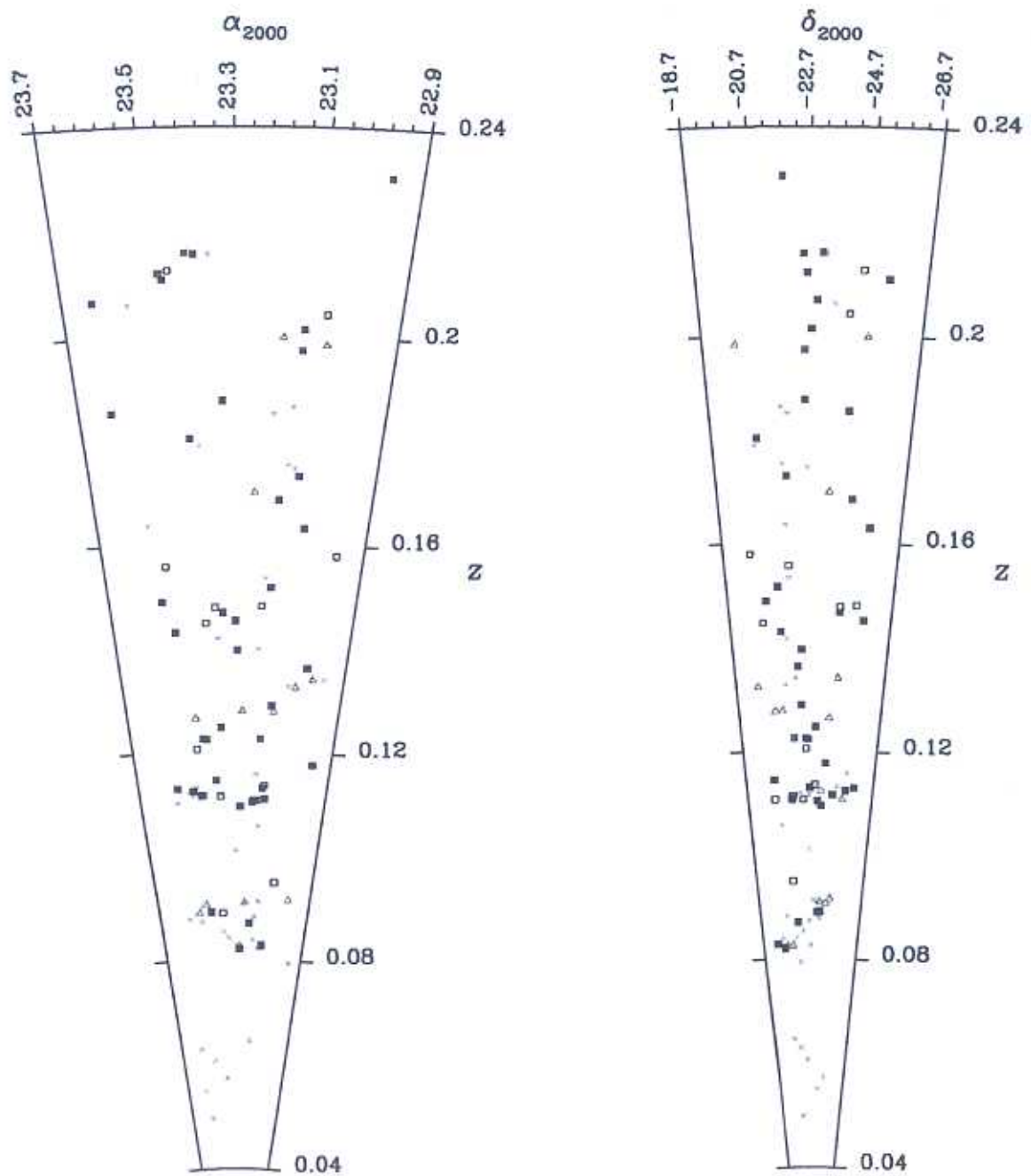


Figura 5.1: Diagramas em cunha dos 107 sistemas identificados em Aquarius, com os símbolos representando a classificação do sistema: (■) aglomerados sem superposição, (□) aglomerados com superposição de grupos, (Δ) sistemas de riqueza similar superpostos, (\times) grupos. As coordenadas angulares foram expandidas na proporção 1.5:1 para facilitar a visualização.

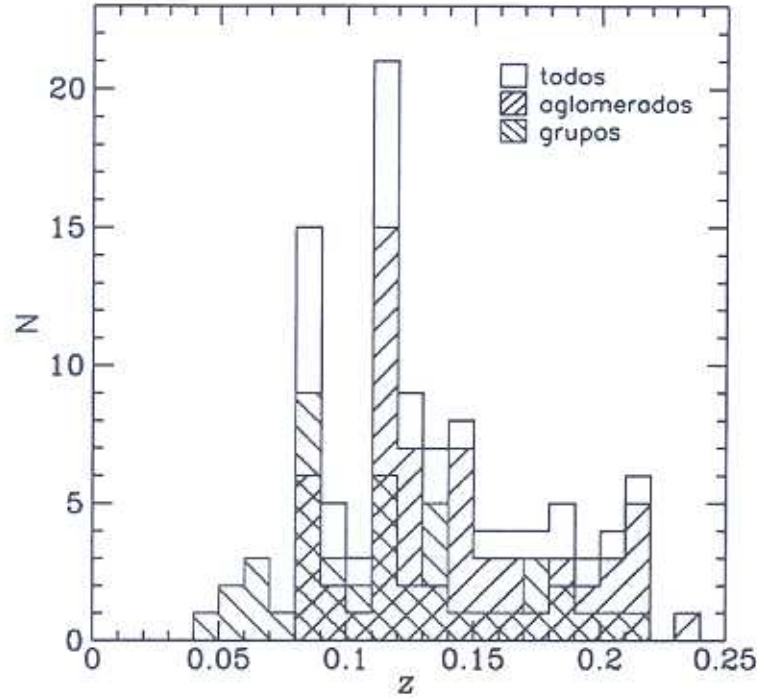


Figura 5.2: Histogramas de *redshifts* para os aglomerados, para os grupos e para os todos os 107 sistemas de Aquarius.

começaremos a ter contatos entre as esferas e, sucessivamente, regiões de intersecção. O conjunto de todas as esferas que se conectam (com regiões de intersecção) para um determinado R_{perc} é considerado um grupo (no caso, um superaglomerado de galáxias). A questão fundamental é relacionar o tamanho de R_{perc} com a realidade física do sistema que se pretende identificar. Em primeira aproximação, R_{perc} pode ser relacionado com a densidade média de objetos na distribuição estudada (\bar{n}). Há um certo $\bar{R} = \bar{n}^{-1/3}$, correspondente à separação média entre os objetos, acima do qual praticamente todos os pontos percolam, normalmente formando um único sistema conectado. No caso dos aglomerados esta superconectividade corresponde à escala onde a homogeneidade é atingida, e todos os SA se conectam formando uma rede. Valores de $R_{perc} < \bar{R}$ correspondem a sobredensidades em relação à densidade média:

$$f = \frac{\bar{n}}{\bar{n}} = \frac{N(r \leq R_{perc})}{4/3\pi R_{perc}^3 \bar{n}} \quad (5.1)$$

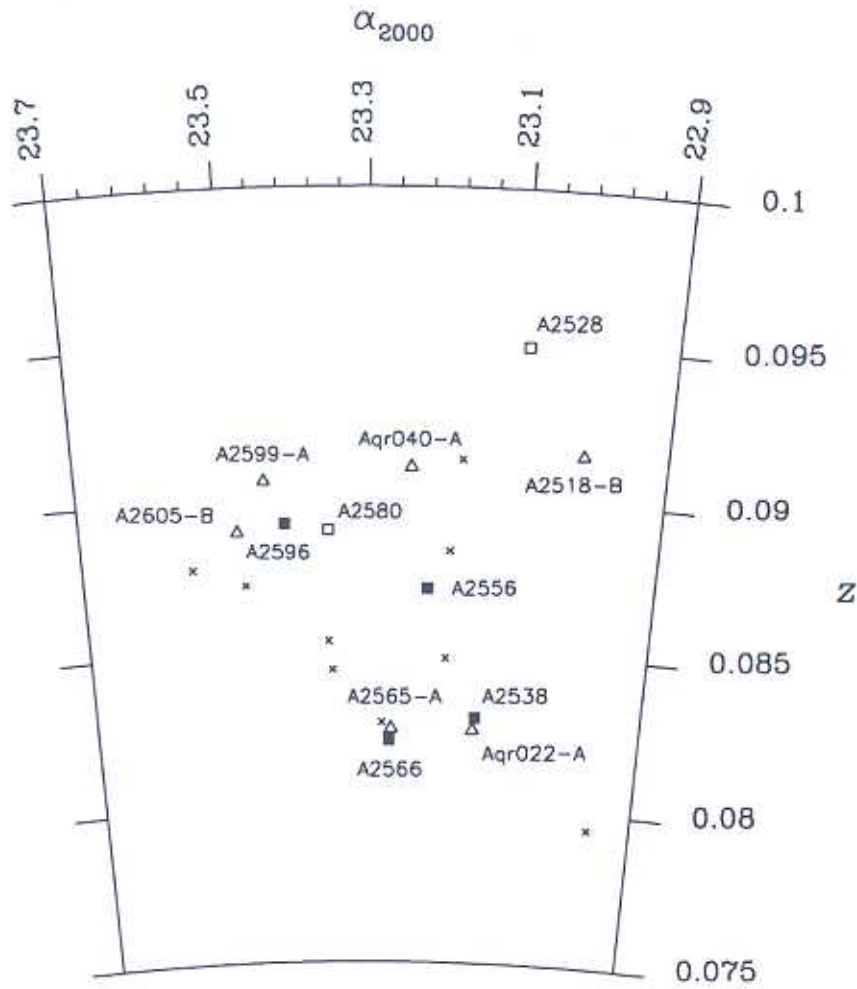


Figura 5.3: Ampliação do intervalo entre $0.075 < z < 0.1$ do diagrama em cunha da figura 5.1.

de onde temos que:

$$R_{perc} = \left(\frac{3}{4\pi f \bar{n}} \right)^{1/3} \quad (5.2)$$

para $N = 1$, ou seja, para contrastes de densidade maiores ou iguais a f .

Assim, com valores pequenos de R_{perc} podemos detectar os núcleos mais densos dos superaglomerados, ao passo que as regiões com menores contrastes de densidade desses superaglomerados vão sendo detectadas com R_{perc} cada vez maiores. Na década de 80, alguns autores (Thuan, 1980; Batuski & Burns, 1985; Tully, 1987) consideravam valores de R_{perc} muito grandes, que levavam a SA imensos (dimensões $\sim 100-200 h^{-1}$ Mpc), mas a realidade física dessas estruturas foi bastante questionada (e.g., West, 1989, e referências citadas por ele). Os catálogos de SA mais recentes normalmente utilizam um R_{perc} próximo do valor que

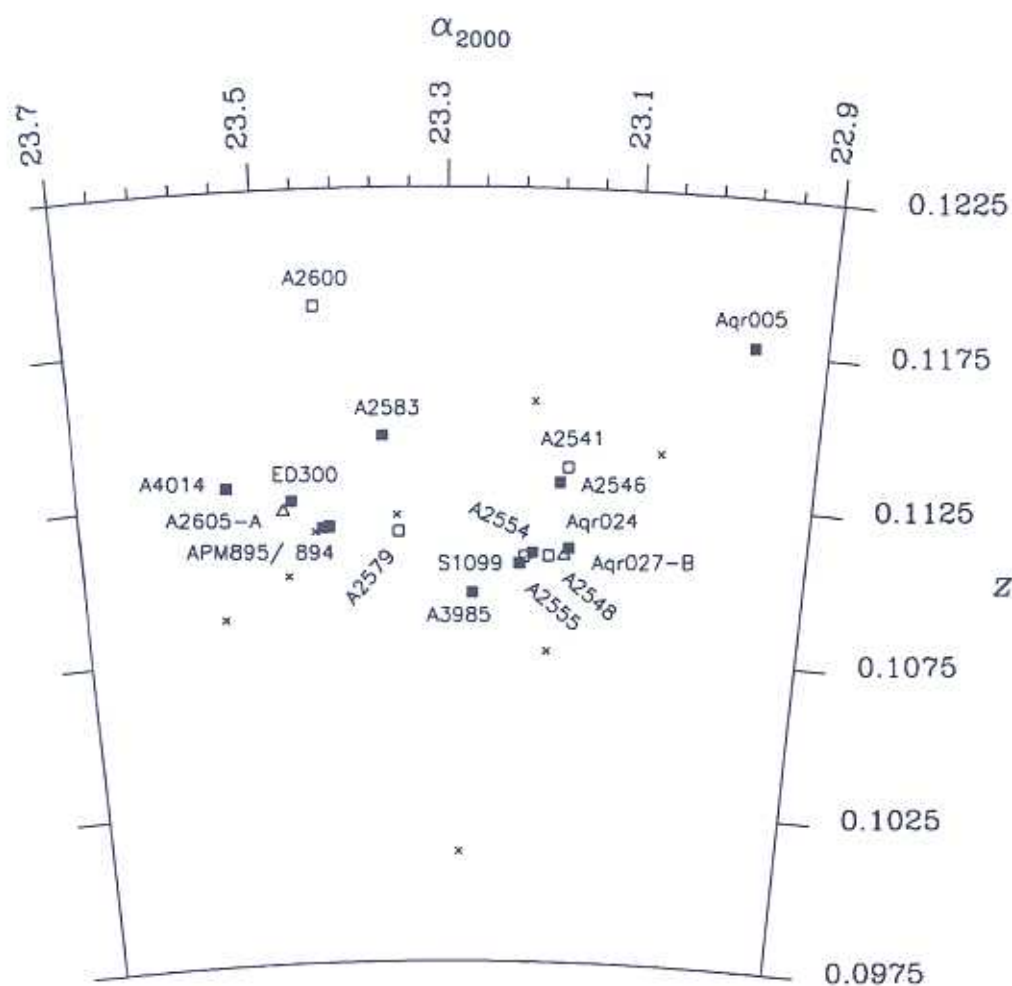


Figura 5.4: Ampliação do intervalo entre $0.1 < z < 0.12$ do diagrama em cunha da figura 5.1.

maximiza o número de SA formados (e.g., Einasto et al., 1994; Kolokotronis et al., 2001).

5.1.3 Aplicação aos Dados de Aquarius

Para a região de Aquarius fizemos cinco testes com o algoritmo de percolação, três para a região propriamente dita e outros dois para uma área maior, de $22^\circ \times 22^\circ$, aproximadamente centrada em Aquarius. Os primeiros 3 incluíram, respectivamente, 68 aglomerados, os 107 sistemas encontrados na região, e uma amostra incluindo os aglomerados não observados espectroscopicamente mas com *redshifts* estimados pelo método de filtros combinados (129 sistemas). Para a região estendida, a primeira amostra incluiu 130 aglomerados Abell/ACO, EDCC e APMCC com *redshifts* medidos — 64 de Aquarius mais 66 obtidos na literatura

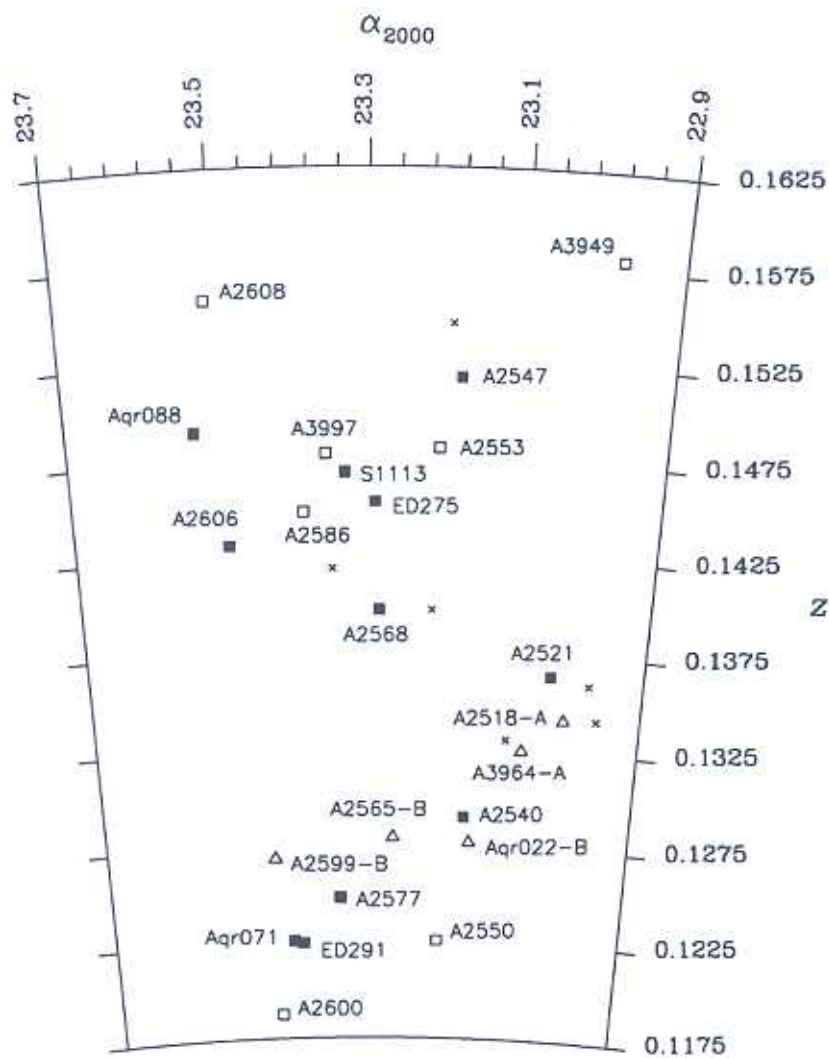


Figura 5.5: Ampliação do intervalo entre $0.12 < z < 0.16$ do diagrama em cunha da figura 5.1.

(NED) — e a segunda incluiu também outros 69 Abell/ACO com *redshifts* estimados a partir de m_{10} .

Em todos os testes, inicialmente os *redshifts* foram convertidos em distâncias co-móveis:

$$D = \frac{c}{H_0} \frac{1}{(1+z)} \frac{[q_0 z + (q_0 - 1)(\sqrt{2q_0 z + 1} - 1)]}{q_0^2} \quad (5.3)$$

onde $D = D_L/(1+z)$, também chamada de “distância co-móvel transversa” (e.g., Hogg, 2000). Em seguida, as coordenadas foram transformadas para um sistema retangular:

$$x = D \cos \delta \sin \alpha$$

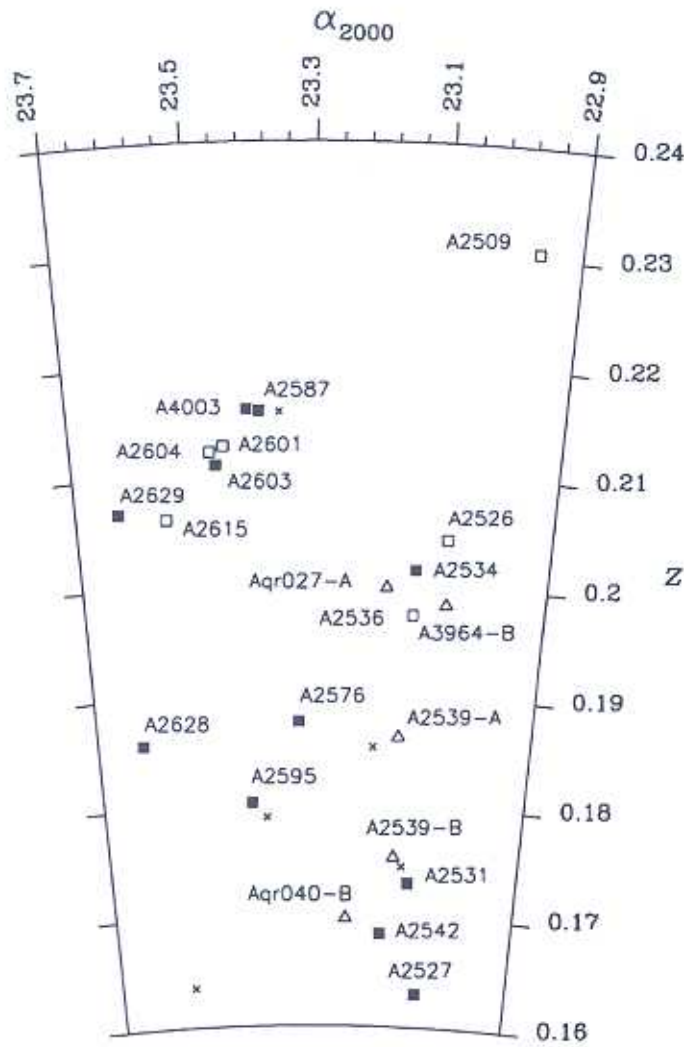


Figura 5.6: Ampliação do intervalo entre $0.16 < z < 0.24$ do diagrama em cunha da figura 5.1.

$$y = D \cos \delta \cos \alpha \quad (5.4)$$

$$z = D \sin \delta$$

Para cada amostra, a percolação foi calculada pelo menos para quatro valores de R_{perc} : 3.5, 5, 10 e 15 h^{-1} Mpc, correspondendo a diferentes valores de f conforme a amostra. Os valores de \bar{n} de cada amostra foram calculados a partir da razão:

$$\bar{n} = \bar{n}_A \frac{N_A^a}{N_A^r} \quad (5.5)$$

onde N_A^a e N_A^r são, respectivamente, o número de aglomerados Abell/ACO na amostra e o número total de aglomerados Abell/ACO na região (sem considerar, em ambos, os aglomera-

dos suplementares). Para a densidade média de aglomerados Abell/ACO, \bar{n}_A , foi considerado um valor médio das estimativas mais recentes encontradas na literatura (Scaramella et al., 1991; Zucca et al., 1993; Einasto et al., 1996; Kolokotronis et al., 2001; De Propris et al., 2001), $(2.66 \pm 0.14) \times 10^{-5} h^3 \text{ Mpc}^{-3}$.

5.1.4 Resultados para a Região de $10.4^\circ \times 6.4^\circ$

Os resultados para as três amostras que compreendem a região de Aquarius estudada neste trabalho são apresentados nos 3 blocos horizontais (separados por linhas contínuas) da tabela 5.1, respectivamente para os 68 prováveis aglomerados ricos, para os 107 sistemas com z 's medidos e para os 129 sistemas incluindo os aglomerados com z 's estimados. As duas primeiras colunas da tabela listam o R_{perc} e o f , enquanto a última lista o número de SA encontrados com o respectivo R_{perc} . Essa última coluna indica quando o aumento do R_{perc} faz com que se comece a atingir a superconectividade. Nos 3 blocos percebe-se que o número máximo de SA é atingido em $R_{perc} = 10$ ou $15h^{-1} \text{ Mpc}$. Como o primeiro valor é também o R_{perc} no qual os SA mais significativos tendem a estabilizar o número de membros, consideramos este valor para a determinação dos SA. Nas colunas intermediárias são listados o número de aglomerados em cada SA, com os respectivos z 's no cabeçalho da coluna. No primeiro bloco pode-se perceber que, com um R_{perc} pequeno, correspondente a uma sobredensidade de ~ 250 , começam a surgir alguns núcleos de SA por volta de $z \sim 0.08-0.09$, $0.11-0.12$ e 0.15 . Aumentando-se o R_{perc} os núcleos crescem rapidamente, principalmente se os grupos são considerados (bloco 2). A concentração em $z \sim 0.086$ tem 2 núcleos que se fundem em $R_{perc} = 10h^{-1} \text{ Mpc}$ ($f \sim 10$), formando um SA com pelo menos 9 aglomerados e 11 grupos. Chamaremos este SA de *Aquarius-1*. A maior estrutura, porém, se encontra por volta de $z \sim 0.112$, com 3 núcleos que também se fundem em $R_{perc} = 10h^{-1} \text{ Mpc}$ formando um SA de pelo menos 14 aglomerados e 5 grupos, que chamaremos de *Aquarius-2*. Entre $0.12 \leq z \leq 0.15$ há um filamento com pelo menos 8 aglomerados e 10 grupos, que se conecta apenas em $R_{perc} = 15h^{-1} \text{ Mpc}$ com os grupos. Quando os sistemas com z_{est} são incluídos (bloco 3), esse filamento se conecta ao SA *Aquarius-2* no mesmo R_{perc} . Vale notar que a significância dessa última conexão é menor porque, além de ocorrer num R_{perc} em que os SA começam naturalmente a se conectar, os valores de z_{est} (na sua maioria provenientes do método de filtros combinados) tem incertezas relativamente grandes. Por outro lado, esse R_{perc} representa um contraste de densidade ainda marginalmente significativo $f \sim 3$.

Tabela 5.1: Resultados da Análise de Percolação Aplicada aos Aglomerados e Grupos de Aquarius

R_{perc} (Mpc)	z													N_{SA}					
	0.060	0.083	0.089	0.111	0.112	0.113	0.123	0.128	0.134	0.142	0.147	0.154	0.172		0.180	0.186	0.201	0.212	0.215
3.5	...	2	3	2+2	2	2	2	...	...	...	2	...	...	...	...	...	...	8
5	...	3	4	2+3	3	2	2	...	...	...	2	...	...	...	...	...	...	8
10	...	9	...	14	...	6	2	4	2	2	4	9
15	3	...	10	...	16	8	5	4	2	2	4	10
3.5	217	...	3	4+2	2+2+2	2	2	...	...	...	2	2	...	...	...	...	...	11
5	74	...	7	2+6+2	8	5	2	2	2	...	2	2	...	...	2	2	...	14
10	9	2+3	20	...	19	6	3	4	5	4	2	2+3	2	2	2	2+2	4	18	
15	3	5	21	...	23	...	20	4	3	5	2	3	4	...	7	...	11		
3.5	213	...	3	4+2	2+2+2	2	2	...	...	...	2	2	...	...	...	...	...	11
5	73	...	7	2+6+2	8	5	2	2	2	2	2	2	...	...	2	2	...	16
10	9	2+3	21	...	20	7	3	5+2	5	4	2+2	2+3	2	2	2	2+2	4	21	
15	3	5	23	...	53	...	4	5	2	3	4	...	...	7	...	...	10	

Outros potenciais SA são encontrados por volta de $z = 0.15, 0.17, 0.2$ e 0.21 , mas os resultados para esses SA são preliminares porque eles provavelmente são subamostrados no nosso levantamento — apenas as suas galáxias mais brilhantes se encontram dentro de nosso limite fotométrico e apenas por volta de 5 galáxias foram observadas espectroscopicamente para cada aglomerado membro. Além disso, se detectou poucos grupos com $z > 0.15$ (apenas 10 de 45) e muito pouco da componente dispersa dos SA. Dessa forma, a análise dinâmica dos SA de Aquarius das próximas seções se restringirá aos SA em 0.086 (*Aquarius-1*), 0.112 (*Aquarius-2*) e o filamento de 0.12 a 0.15 .

A inclusão dos outros possíveis aglomerados com z_{est} (bloco 3) praticamente não alterou os resultados: os SA *Aquarius-1* e *Aquarius-2* apenas ganharam mais um sistema, cada, em $R_{perc} = 10h^{-1}$ Mpc, e, o filamento, mais 4. Também os outros potenciais SA com $z \gtrsim 0.15$ não sofreram modificações significativas com essa inclusão.

Seguindo a classificação utilizada por Einasto et al. (1996), que consideraram como ricos os SA com multiplicidade (número de aglomerados membros) na faixa de 4 a 7 e muito ricos para multiplicidades maiores que 7, os SA *Aquarius-1* e *Aquarius-2* são ambos muito ricos, mesmo considerando apenas os aglomerados Abell/ACO que percolam em $R_{perc} = 10h^{-1}$ Mpc.

Na Figura 5.7 são exibidas as distribuições projetadas dos aglomerados que compõem os SA *Aquarius-1* ($0.07 < z < 0.10$), *Aquarius-2* e filamento ($0.10 < z < 0.14$), e $z > 0.14$, respectivamente nos painéis a, b e c. As linhas contínuas e tracejadas conectando os aglomerados representam a percolação em $R_{perc} = 10h^{-1}$ Mpc, as pontilhadas representam a percolação em $R_{perc} = 15h^{-1}$ Mpc, enquanto os grupos que percolam em $R_{perc} = 10h^{-1}$ Mpc são apenas desenhados (novamente com o símbolo \times).

5.1.5 Resultados para a Região de $22^\circ \times 22^\circ$

Com o intuito de descobrir se os SA de Aquarius são estruturas restritas apenas à região estudada ou se compreendem regiões maiores, e ainda qual sua relação com as regiões no entorno, aplicamos a análise de percolação à região que denominamos estendida. A distribuição de aglomerados Abell/ACO, EDCC e APMCC nessa região é mostrada na Figura 5.8. Os resultados para esta análise são mostrados na tabela 5.2, nos mesmos moldes da tabela 5.1, em dois blocos, respectivamente para os 130 aglomerados com *redshifts* medidos e 199 da amostra que inclui os aglomerados Abell/ACO com *redshifts* estimados. Diferentemente do caso anterior, para essas duas amostras o número máximo de SA é atingido em $R_{perc} = 15h^{-1}$

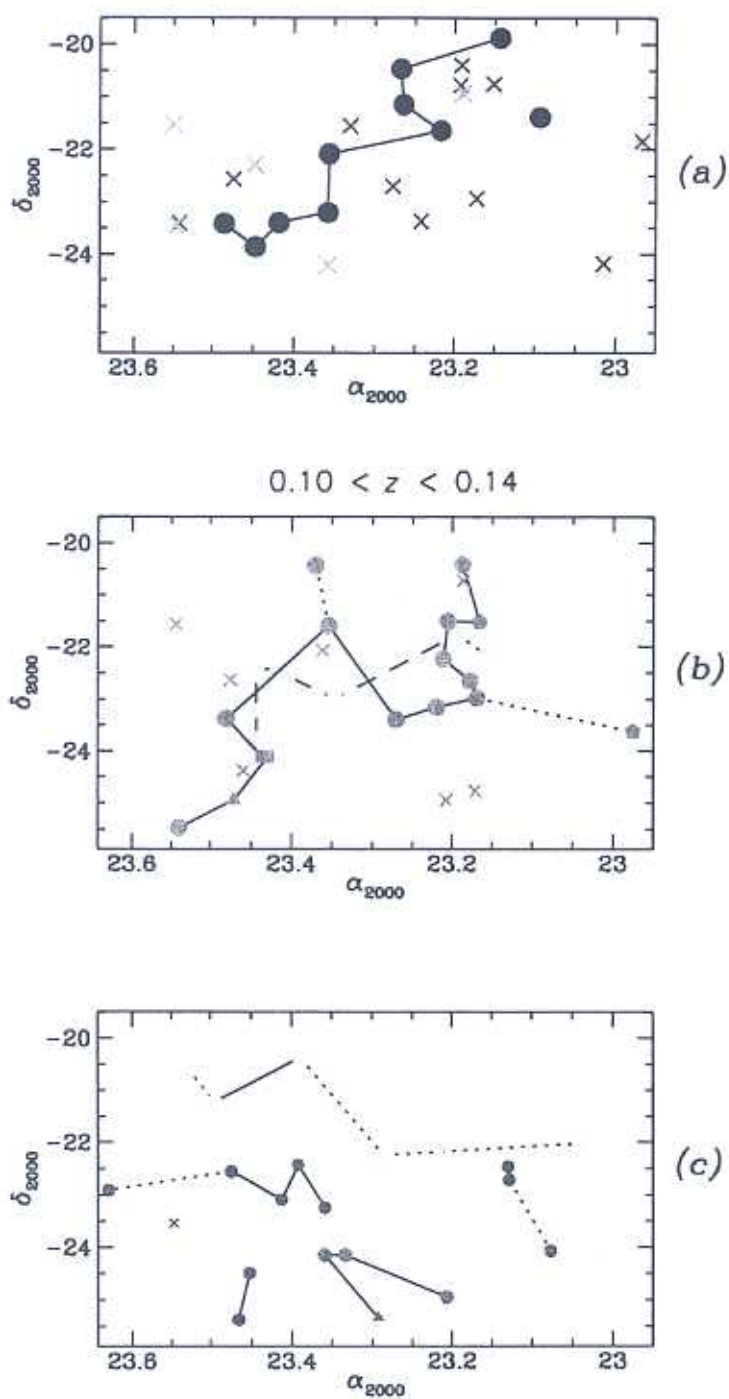


Figura 5.7: Distribuição projetada dos SA identificados na região de $10.4^\circ \times 6.4^\circ$ de Aquarius, em 3 intervalos de *redshifts*: $z < 0.1$ (a), $0.1 < z < 0.14$ (b) e $z > 0.14$ (c). Os círculos representam os aglomerados Abell/ACO, os triângulos, os aglomerados EDCC, os quadrados, os aglomerados APMCC, os pentágonos, os novos aglomerados identificados neste trabalho e os símbolos (\times), os grupos.

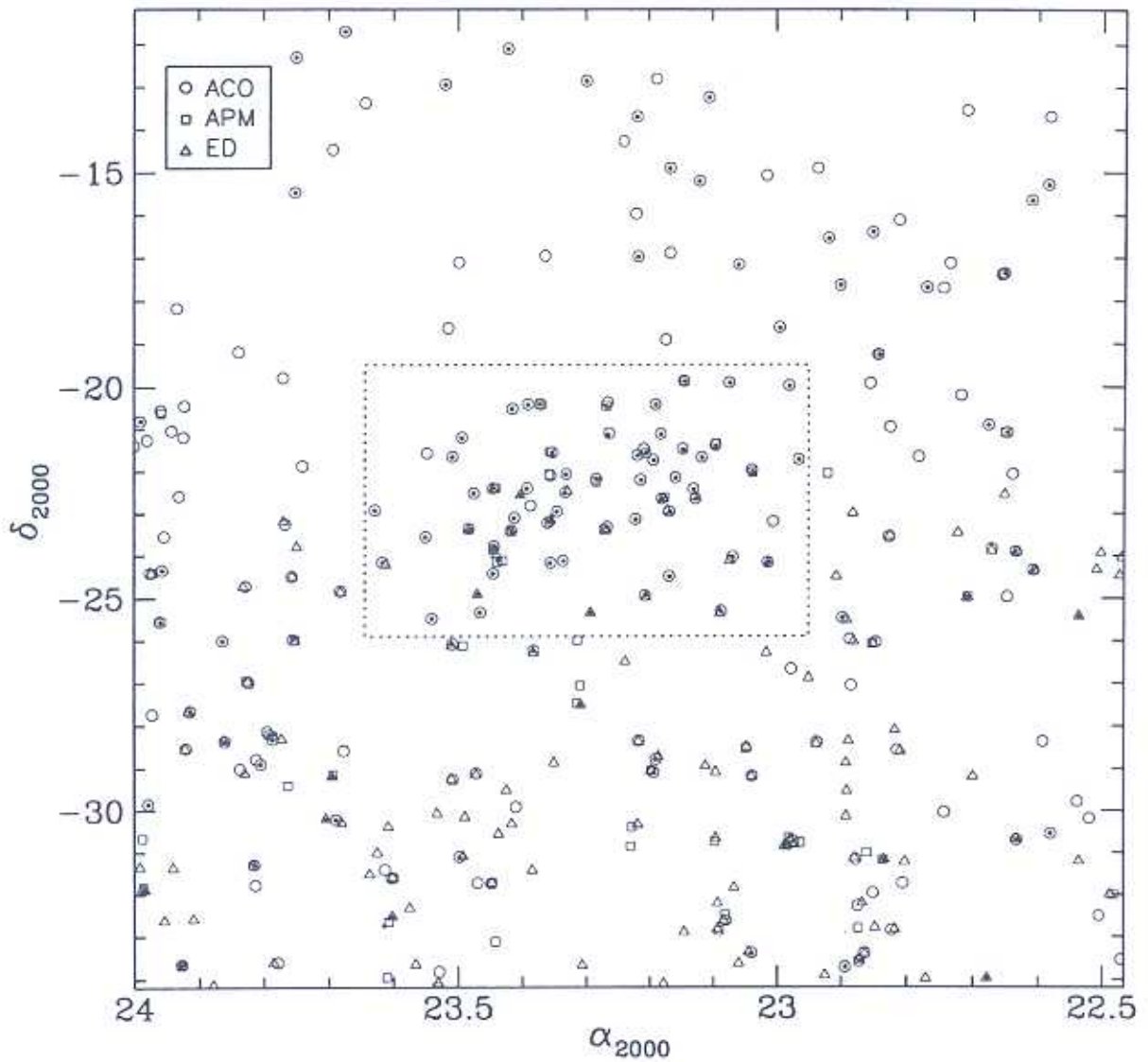


Figura 5.8: Distribuição dos aglomerados Abell/ACO, EDCC e APMCC na região de $22^\circ \times 22^\circ$. O retângulo pontilhado interno marca a região de Aquarius. Aglomerados com *redshifts* medidos estão desenhados com um ponto interno ao símbolo de respectivo catálogo.

Mpc, embora com pouca diferença para $R_{perc} = 10h^{-1}$ Mpc. Isso acontece porque a densidade de objetos é menor, pois deixamos de considerar aglomerados identificados pelos métodos de filtros-combinados e contagens em células para deixar a amostra homogênea. Assim, consideraremos como SA, neste caso, os grupos de aglomerados conectados com $R_{perc} = 15h^{-1}$ Mpc.

Tabela 5.2: Resultados da Análise de Percolação Aplicada aos Aglomerados na Região de $22^\circ \times 22^\circ$

R_{perc} (Mpc)	n/\bar{n}	ξ																N_{SA}^a						
		0.030	0.034	0.052	0.070	0.073	0.082	0.083	0.089	0.110	0.111	0.111	0.112	0.113	0.117	0.123	0.128		0.125	0.144	0.147	0.201	0.212	0.215
3.5	322	4	2	...	2	...	2	3	...	...	2	2	2	...	...	...	...	...	2	...	...	...	9
5	110	4	3	...	2	2+2	2	3	4	...	...	2+3	2	2+2	...	...	...	...	2	...	...	...	15
10	14	4	3	3	2+2	6	4	3	5+2	2	...	12	...	5	2	2	4	2	2	3	21
15	4	4	3	3	4	10	...	10	3	3	3	14	...	7	...	...	...	...	2	5	4	3	22
3.5	209	4	2	...	2	...	...	2	3	...	2	2	2	2	...	...	...	...	2	...	...	...	11
5	72	4	3	...	2	2+2	2	3	4	...	2	2	3	2+2	2	...	...	...	2	...	...	...	18
10	9	4	3	3	3+2+2	6	4	3	5+2	2	2+3+2	12	...	6	2+4	2	2	2	4	2	2	2	3	32
15	3	4	3	3	6	10	...	10	3	9	18	...	12	...	3	6	4	3	7	...	...	...	33

^a Alguns dupletos e tripletos constituídos apenas de aglomerados com *reshifts* estimados foram excluídos da tabela para deixá-la mais clara.

Novamente a inclusão dos aglomerados com *redshifts* estimados (bloco 2) não alterou significativamente os SA encontrados, a não ser pela multiplicidade dos maiores que aumentou em um a três aglomerados. Surgiram também vários dupletos e tripletos constituídos apenas de aglomerados com z_{est} (excluídos da tabela para evitar sobrecarga de informação). Houve um único caso em que o SA passou de pobre para muito rico com os aglomerados incluídos, em $z \sim 0.11$ (colocado na tabela à esquerda da concentração em 0.112 de *Aquarius-2*). Também não houve alteração para os SA com $z > 0.14$, que compreendem praticamente apenas a região de *Aquarius* que é mais profundamente amostrada.

Os resultados da tabela 5.2 são exibidos também de forma ilustrativa (distribuição projetada) na Figura 5.9, por faixas de *redshifts*. A distâncias mais próximas que $z \sim 0.07$, nas quais encontramos apenas alguns grupos em *Aquarius*, aparecem pelo menos 3 SA na região estendida. Um deles, em $z \sim 0.052$, se localiza justamente a leste de *Aquarius* (figura 5.9, painel a, tripleto aproximadamente na linha N-S), o mesmo sentido em que se encontram os 6 grupos entre $z \sim 0.05$ e 0.06. Na faixa entre $0.07 < z < 0.10$, são encontradas 5 concentrações na região estendida para $R_{perc} = 10h^{-1}$ Mpc. Duas delas correspondem ao SA *Aquarius-1*. Outras duas, em $z \sim 0.073$ e 0.082 também formam um SA único em $R_{perc} = 15h^{-1}$ Mpc, igualmente com 10 aglomerados. Na distribuição projetada (figura 5.9, painel b), pode-se perceber que as concentrações em $z \sim 0.089$, 0.083 e 0.073 formam um filamento plano do centro à borda superior direita, com um ângulo de posição de $\sim 120^\circ$. No catálogo de SA de Einasto et al. (1996) a maioria dos aglomerados destas concentrações fazem parte do SA de número 205 (o qual denominaram de SA de *Aquarius*), de multiplicidade 19, o quarto SA mais rico (depois de *Shapley*, *Horologium-Reticulum* e *Sculptor*) desse catálogo e de sua versão posterior (Einasto et al., 2001). Nesses catálogos, os autores utilizaram um $R_{perc} = 24h^{-1}$ Mpc, equivalente a um $n/\bar{n} = 2$ (veja também Einasto et al., 1994). Seis aglomerados desse SA 205 tiveram *redshift* alterado com os nosso levantamento espectroscópico ou com medidas na literatura e revelaram não pertencer a essa estrutura: 4 que tinham apenas z_{est} (A2502, A2523, A2539 e A2600) e 2 cujas galáxias observadas pertenciam a grupos superpostos (A2541 e A2586). Por outro lado, outros 4 foram incluídos: A2518-B (AqrCC.009), A2565-A (AqrCC.041), A2580 (AqrCC.061) e A3951, sem contar com os grupos. As distribuições da $\alpha \times z$ (figura 5.10a) e $\delta \times z$ (figura 5.10b) dos 14 aglomerados dessa estrutura (círculos cheios) mostram um filamento praticamente contínuo, inclinado em relação à linha de visada e levemente torcido nas bordas. Os outros 4 aglomerados em $z \sim 0.082$ que se conectam à parte norte do SA 205 na nossa análise de percolação, e os dois aglomerados

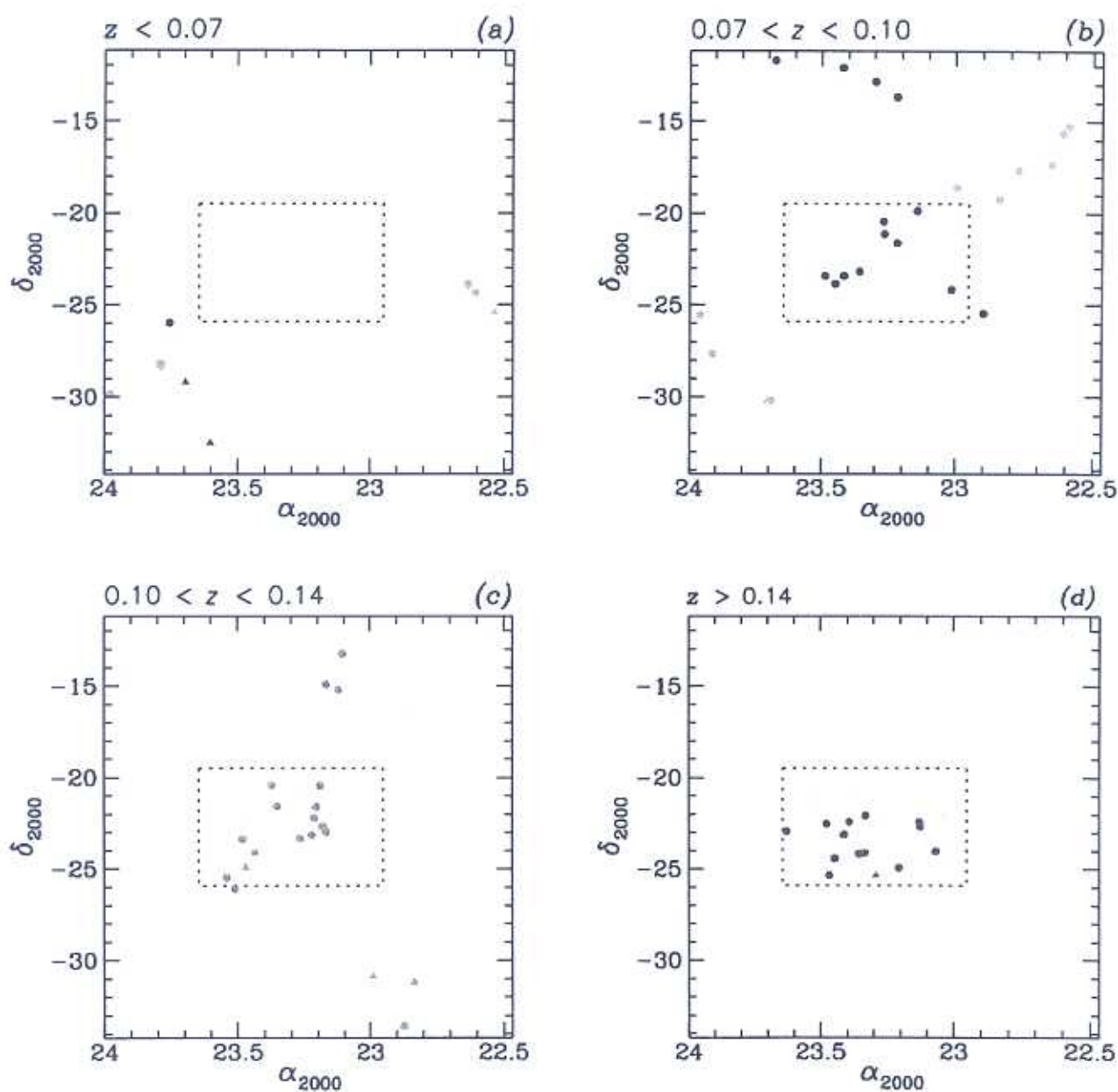


Figura 5.9: Distribuição projetada dos SA identificados na região de $22^\circ \times 22^\circ$, nos 4 intervalos de *redshifts* conforme rotulado no parte superior dos gráficos.

de *Aquarius-1* mais ao sul, também são representados nas duas figuras (quadrados cheios) e formam prolongamentos da estrutura. Os grupos de *Aquarius-1* são representados com o símbolo \times .

O SA *Aquarius-2* também aparece nos catálogos citados acima, com o número 209, mas

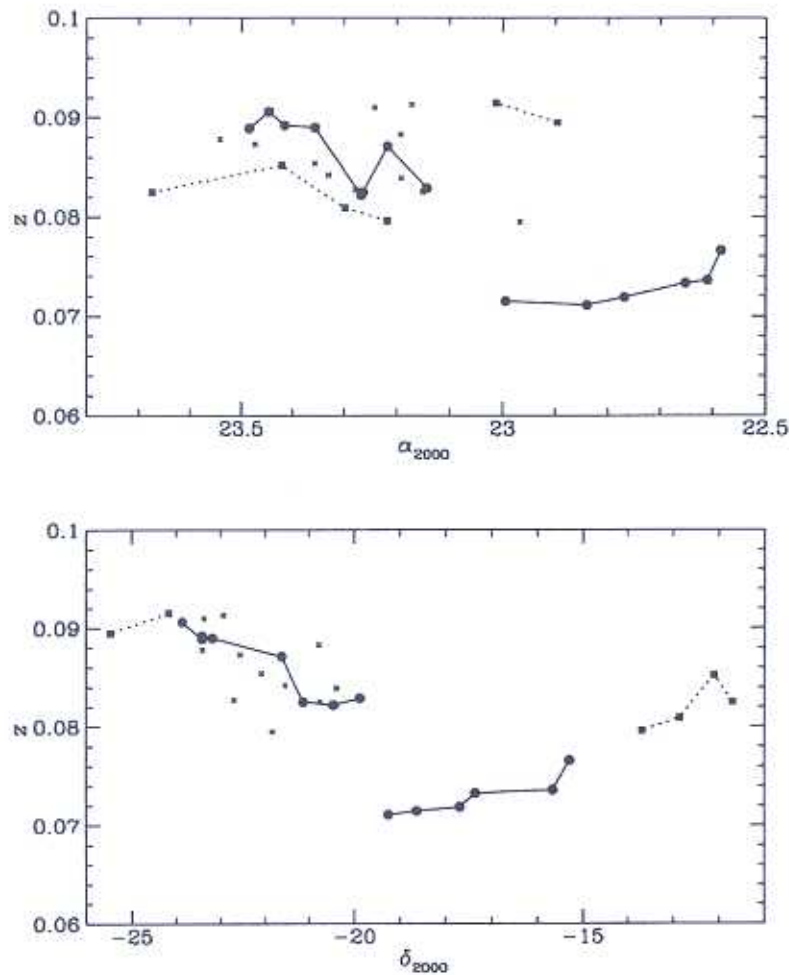


Figura 5.10: Diagramas $z \times \alpha_{2000}$ e $z \times \delta_{2000}$ para os aglomerados e grupos do "SA 205", que inclui *Aquarius-1* e os aglomerados da extensão para norte dessa estrutura. As conexões representam a percolação com $R_{perc} = 10 h^{-1}$ Mpc.

com uma multiplicidade bem menor, 7, porque se encontra no limite de profundidade desses catálogos. Em nossa análise, esse SA se revela tão ou mais significativo que o anterior. Em termos de extensão, ele parece se restringir praticamente à região de Aquarius (figura 5.9, painel c), com a inclusão de apenas um aglomerado adicional de fora da região, A2609 (além de outros quatro possíveis com z_{est} apenas).

Nossos resultados também apresentam diferenças em relação ao trabalho de Batuski et al. (1999). Primeiramente para quatro aglomerados (A2553, A2601, A2608 e A3996) os nossos valores de z diferem significativamente dos valores encontrados por eles. Todos eles são casos em que Batuski et al. (1999) observaram galáxias em uma área bem maior em torno da posição central original dos aglomerados, de forma que grande parte delas estão fora do r_A desses

aglomerados, sendo na sua maioria galáxias das componentes dispersas dos SA mais próximos superpostas ao aglomerado observado. Por outro lado, nossas observações foram basicamente para galáxias dentro do r_A dos aglomerados, tendo portanto, mais chance de constituírem uma amostra representativa do aglomerado em questão. Num caso específico, AqrCC.058 (A3996), nós não encontramos um aglomerado significativo em torno da posição ACO, mas sim a superposição de grupos pertencentes à componente dispersa dos dois maiores SA. No caso de outros 4 aglomerados para os quais B99 utilizaram dados da literatura (todos eles baseados na observação do *redshift* de uma única galáxia), nos também temos nova medida de \bar{z} que difere da anterior. Em consequência dessas reavaliações de \bar{z} , dois aglomerados foram removidos do “nó” em $z \sim 0.11$, AqrCC.058 e AqrCC.036 (A2553), mas outros 10 foram acrescentados: 6 aglomerados Abell/ACO (A2541, A2605-A, A2609, S1099, A3985 e A4014), 2 APMCC (894 e 895), 1 EDCC (300) e uma nova detecção (AqrCC.024). A diferença mais significativa, por outro lado, é que o filamento de $\sim 110 h^{-1}$ Mpc, constituído de 14 aglomerados $\mathcal{R}_A \geq 1$ que eles encontram para um $R_{perc} = 25h^{-1}$ Mpc ($n/\bar{n} = 8$), o qual eles chamaram de SA de Aquarius, foi dividido em 2 estruturas: os SA *Aquarius-1* e *Aquarius-2*. Um dos principais motivos é que um dos aglomerados que fazia a ligação entre as duas estruturas, A2541 (AqrCC.025), é um dos casos de reavaliação dos que tinham apenas 1 galáxia observada. O \bar{z} para as 16 galáxias que foram consideradas membros revelou que o aglomerado se encontra mais distante, na verdade fazendo parte do “nó” em $z \sim 0.11$. Com esse deslocamento, abriu-se um intervalo de mais de 4000 km s^{-1} , de forma que não é possível conectar as estruturas nem com um $f \sim 2$, e nem mesmo considerando os grupos e os possíveis aglomerados com z_{est} .

5.2 Análise dos Superaglomerados *Aquarius-1* e *Aquarius-2*

5.2.1 Distribuição de Galáxias

Para a análise a seguir, assumimos que as galáxias da região de Aquarius no intervalo $0.076 < z < 0.099$ pertencem ao SA *Aquarius-1*, as galáxias entre $0.100 < z < 0.119$ pertencem ao SA *Aquarius-2* e as galáxias entre $0.120 < z < 0.135$ e entre $0.135 < z < 0.160$ com $\delta_{2000} < -23.2$ pertencem ao filamento. Também dividimos as galáxias de cada uma dessas estruturas em “galáxias pertencentes a aglomerados” e “galáxias da componente dispersa”, simplesmente separando as galáxias que foram consideradas anteriormente como membros de aglomerados na primeira amostra, e as galáxias restantes na segunda. A tabela 5.3 mostra as

frações dessas galáxias que pertencem a cada amostra em cada uma das estruturas. Embora tenhamos observado preferencialmente galáxias nos aglomerados, nossa amostra contém uma fração grande de galáxias nas componentes dispersas dos 2 SA, aproximadamente 45%, valor compatível com estimativas da literatura para a proporção dessa componente (e.g, Small et al., 1998). A velocidade média e a dispersão de velocidades de cada componente também são mostradas na Tabela 5.3, ambos calculados pela estimativa robusta (ROSTAT) da seção 4.2.1.

Tabela 5.3: Galáxias em Aglomerados e Galáxias Dispersas nos SA estudados

SA	N_{agl}	$N_{gal/A}$	v_{BI}	σ_{BI}	$N_{gal/D}$	v_{BI}	σ_{BI}	N_{gal}	v_{BI}	σ_{BI}
<i>Aquarius-1</i>	9	142	25804^{+111}_{-94}	1219^{+72}_{-45}	127	26213^{+145}_{-142}	1588^{+86}_{-79}	269	25979^{+73}_{-95}	1413^{+51}_{-57}
<i>Aquarius-2</i>	15	196	33555^{+69}_{-77}	1017^{+72}_{-44}	140	33320^{+120}_{-104}	1344^{+109}_{-91}	336	33479^{+63}_{-60}	1159^{+64}_{-52}
filamento	15	133	39692^{+390}_{-436}	3713^{+196}_{-205}	131	40586^{+377}_{-374}	3875^{+234}_{-171}	264	40190^{+262}_{-317}	3778^{+136}_{-150}

Para os dois SA pode-se perceber que as galáxias na componente “dispersa” tem realmente maior dispersão de velocidades que as galáxias “aglomeradas” (da ordem de 30% maiores). O mesmo acontece para o filamento, mas com uma dispersão de velocidades apenas 5% maior. Também é evidente que o SA *Aquarius-2* tem uma dispersão de velocidades consideravelmente menor que o *Aquarius-1*, embora contenha um número bem maior de aglomerados. Isso acontece porque o *Aquarius-2* é uma estrutura praticamente perpendicular à linha de visada, provavelmente semelhante a “Grande Parede” do Hemisfério Galáctico Norte (Geller & Huchra, 1989) ou ao SA de Pisces-Perseus no Sul (Hanski et al., 2001).

As distribuições das galáxias pertencentes aos SA são mostradas nas Figuras 5.11, 5.12 e 5.13 em diagramas em cunha similares aos das figura 5.3, 5.4 e 5.5. As galáxias “aglomeradas” são representadas por pontos vermelhos, enquanto as “dispersas” são representadas por pontos azuis. Os aglomerados são marcados por círculos abertos.

A figuras 5.14, 5.15 e 5.16 mostram como são distribuídos os parâmetros v , $b_J - R$, elipsidades (ϵ), ângulos de posição (AP) e magnitudes absolutas nas banda b_J (M_{b_J}) e R (M_R) para cada componente de cada SA. Em termos dos parâmetros fotométricos, as galáxias dos aglomerados apresentam-se um pouco mais avermelhadas e mais esféricas que as galáxias dispersas. Nos gráficos de magnitudes absolutas pode-se perceber que as galáxias dos aglomerados foram amostradas, em geral, até pelo menos 0.5 mag a mais que as dispersas. Pode-se notar também que, em geral, conseguimos amostrar até em torno de 1.5 e 1 magnitude além de M^* , respectivamente para *Aquarius-1* e *Aquarius-2*.

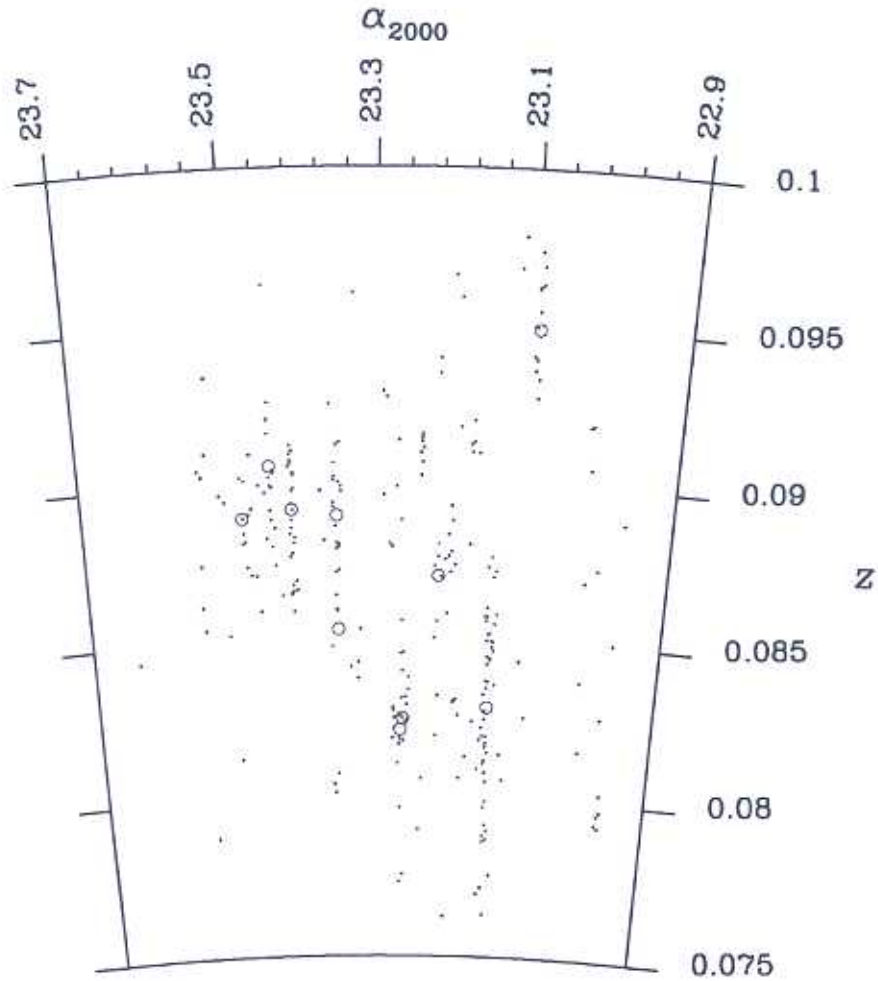


Figura 5.11: Distribuição de galáxias do SA *Aquarius-I* (intervalo entre $0.075 < z < 0.1$) num diagrama em cunha similar ao da figura 5.3. Os pontos vermelhos representam as galáxias em aglomerados e os pontos azuis as galáxias da componente dispersa. Os círculos abertos representam as posições dos aglomerados.

5.2.2 Estimativas de Massa dos Superaglomerados

O passo seguinte no estudo dos SA de Aquarius é a estimativa da massas dessas estruturas. Como comentado no início do capítulo, essa medida é, em geral, incerta para estruturas provavelmente não virializadas como os SA, mas serve para a prospecção de outras propriedades dinâmicas desses SA e para o estudo de propriedades coletivas. As alternativas

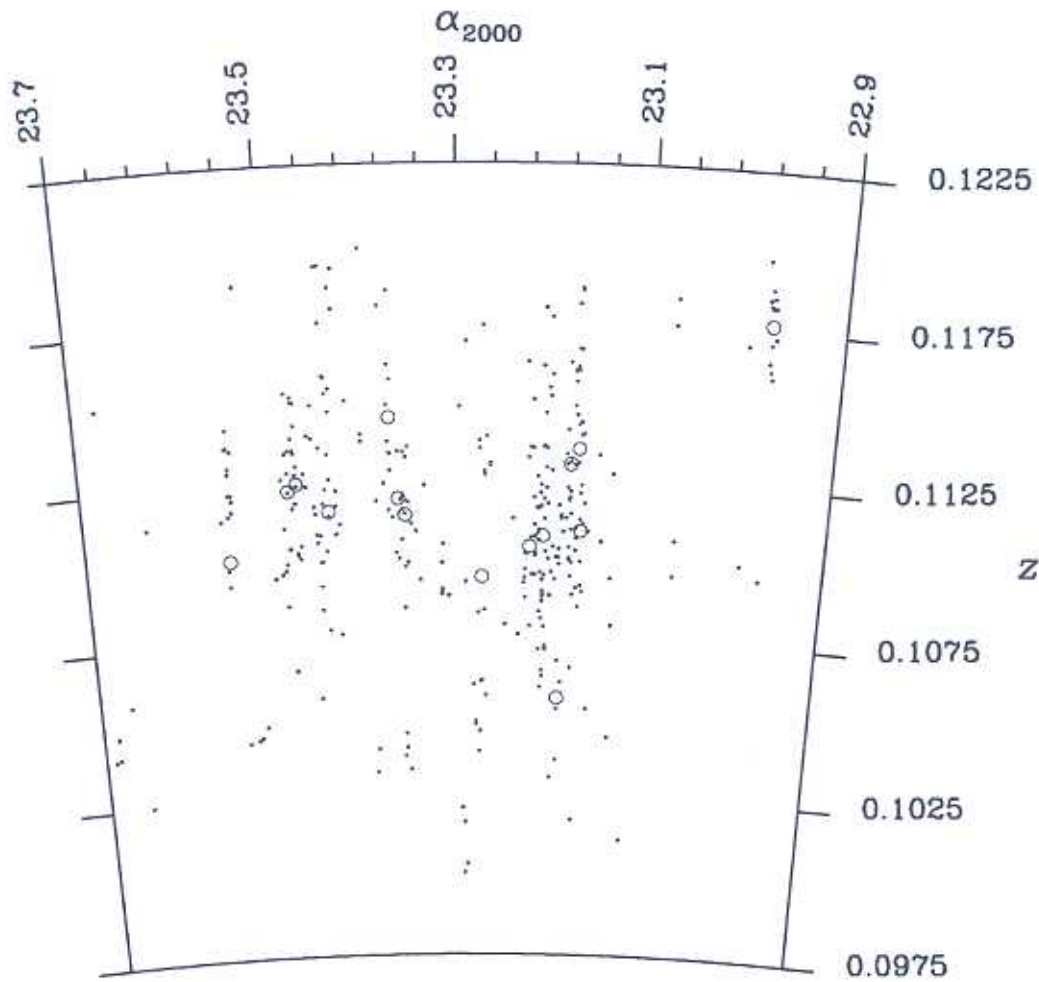


Figura 5.12: Distribuição de galáxias do SA *Aquarius-2* (intervalo entre $0.1 < z < 0.12$) num diagrama em cunha similar ao da figura 5.4. Os símbolos são os mesmos da figura anterior.

para a massa Virial propostas na literatura (Heisler, Tremaine & Bahcall, 1985) também estão sujeitas a essa limitação, além de normalmente fornecerem valores muito próximos para a massa dos sistemas (e.g., Postman, Geller & Huchra, 1988; Quintana et al., 1995). Vale citar também que Small et al. (1998) encontraram, a partir de estimativas da massa virial de SA retirados de simulações de N-corpos, que este estimador geralmente subestima a massa real do sistema com amostragens irregulares (que é nosso caso).

A primeira determinação de massa que consideramos para os SA de Aquarius foi a soma das massas dos aglomerados componentes. Esta estimativa fornece um valor mínimo, já que

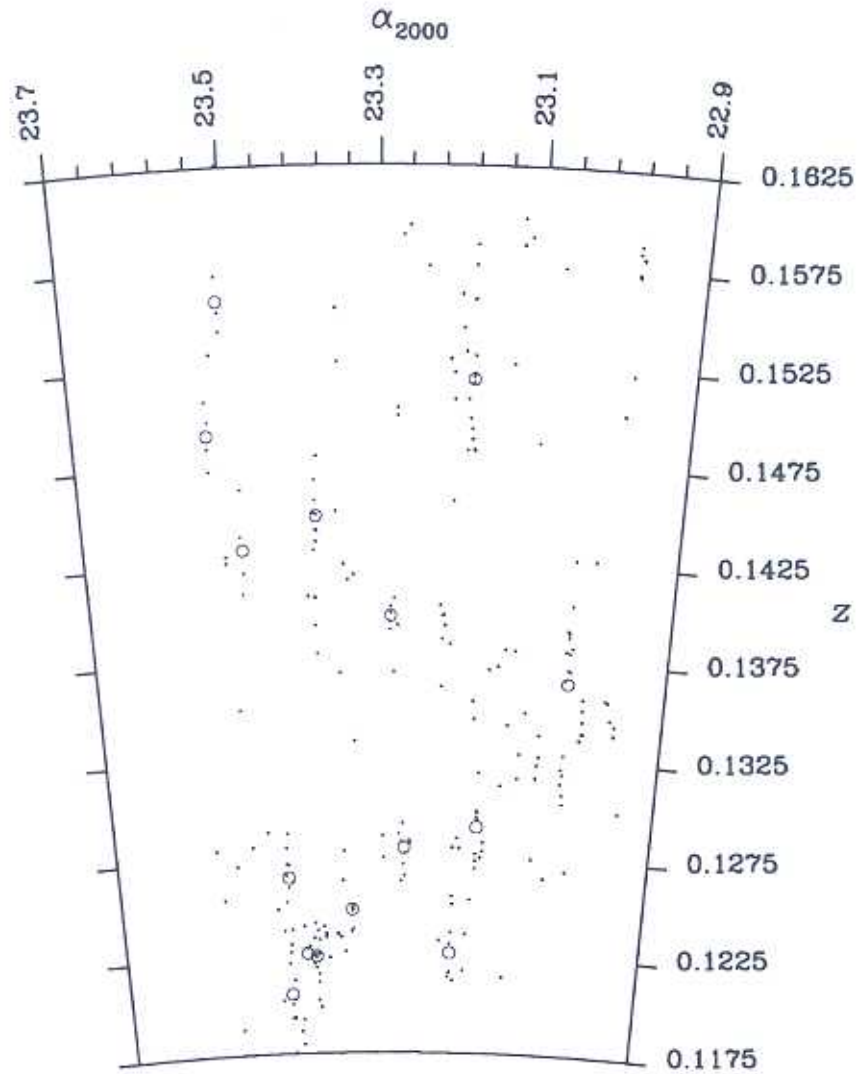


Figura 5.13: Distribuição de galáxias do SA *Aquarius-2* (intervalo entre $0.12 < z < 0.16$) num diagrama em cunha similar ao da figura 5.5. Os símbolos são os mesmos das figuras anteriores.

não se considera com ela a massa contida na componente dispersa do SA nem a presença de matéria escura adicional (além da contida nos halos dos aglomerados), possivelmente existente na escala dessas estruturas. Os valores obtidos são listados na segunda coluna da tabela 5.4. Uma segunda estimativa foi obtida a partir da aplicação do Teorema do Virial às galáxias dos SA: nas componentes “aglomerados” e “dispersa” e para a totalidade das galáxias. Para o *Aquarius-1* a massa obtida para a componente “aglomerados” coincidiu com a massa obtida

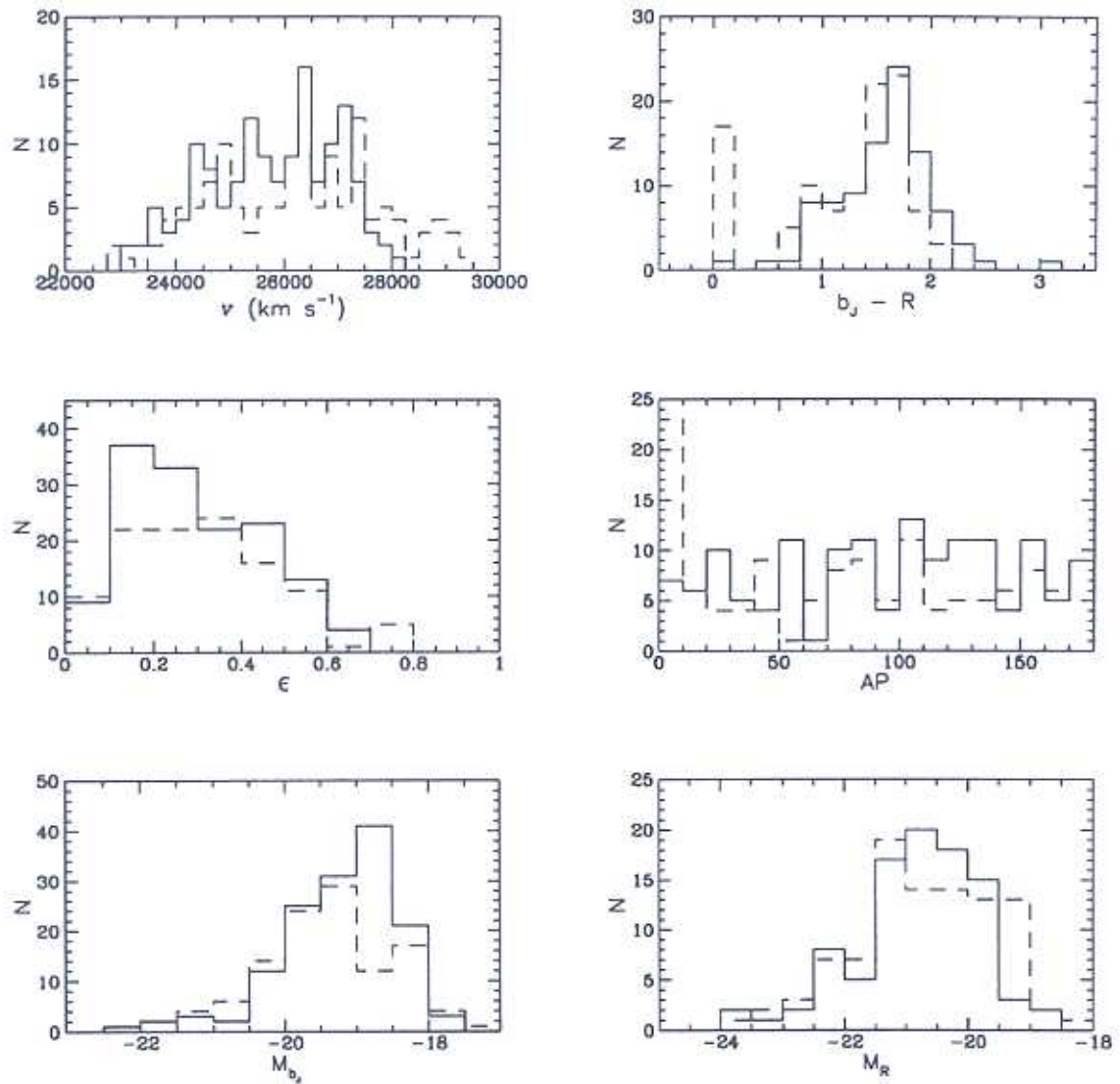


Figura 5.14: Distribuição dos parâmetros v , $b_J - R$, ϵ , AP , M_{b_J} e M_R das galáxias do SA *Aquarius-1*. As linhas contínuas correspondem aos dados das galáxias em aglomerados, enquanto as linhas tracejadas correspondem aos dados das galáxias na componente dispersa.

pela soma das massas dos aglomerados ($2.2 \times 10^{15} h^{-1} M_{\odot}$), como seria de se esperar, enquanto a massa da componente “dispersa” resultou num valor 5 vezes maior. Considerando as duas componentes juntas, a massa Virial resultou num valor 3 vezes maior. Para o *Aquarius-2*, por outro lado, as massas das componentes “aglomerados” e “dispersa” resultaram em valores menores que o valor obtido pela soma das massa dos aglomerados. Como esse SA é muito fino na direção radial, o pequeno valor da dispersão de velocidades leva a uma subestimativa da massa do SA. Mesmo considerando as duas componentes juntas a massa

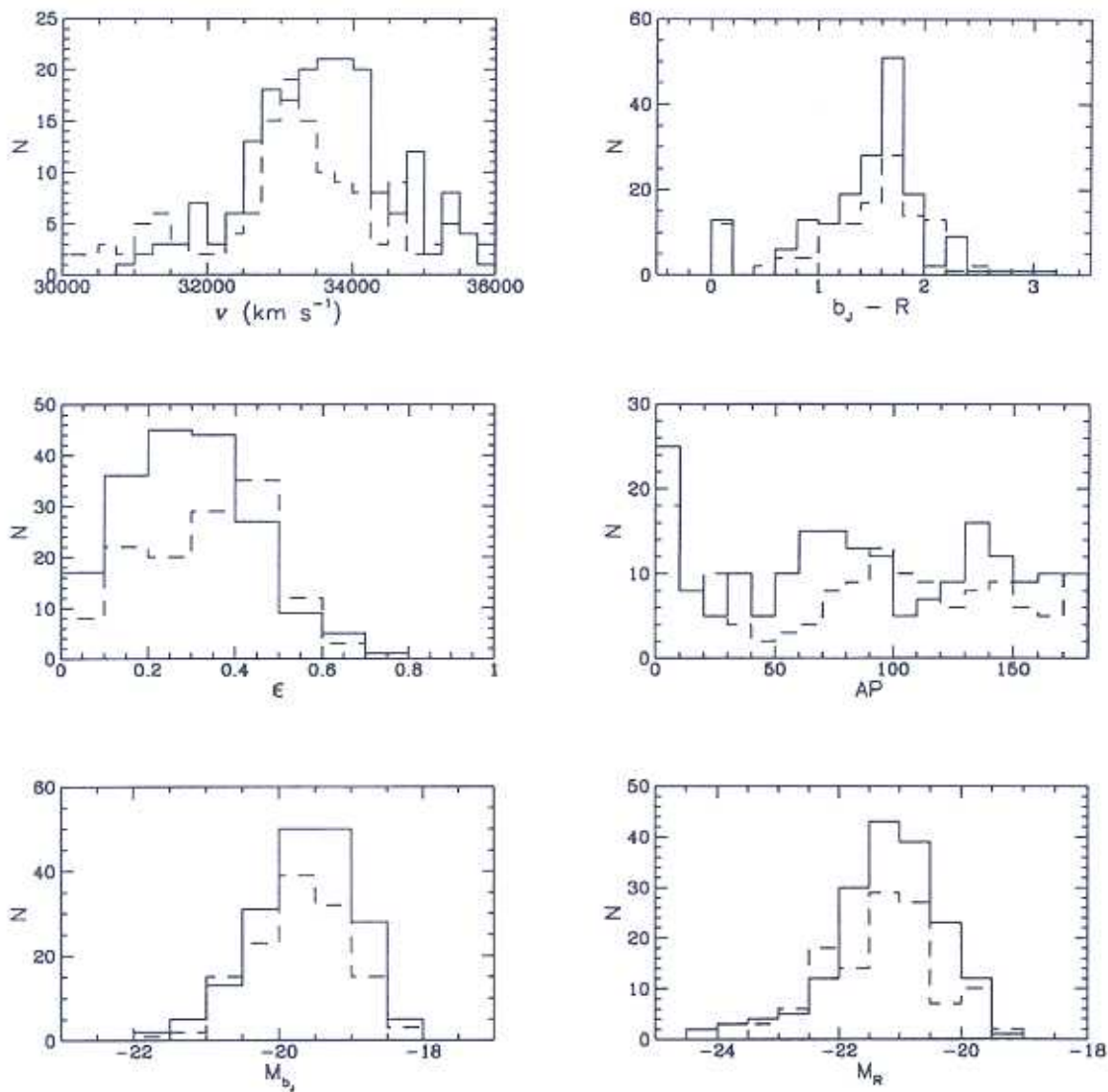


Figura 5.15: Idem à figura anterior para o SA *Aquarius-2*.

encontrada é aproximadamente igual à soma das massas dos aglomerados componentes. A terceira estimativa de massa que fizemos foi considerando os aglomerados (e grupos) membros dos SA como partículas de prova no potencial do SA. Essa estimativa é supostamente mais abrangente, pois deve incluir a componente de matéria escura num possível halo do SA. Para *Aquarius-1* encontramos uma massa da ordem da massa calculada com as galáxias da componente dispersa, $\sim 1.1 \times h^{-1} 10^{16} M_{\odot}$, que parece ser uma boa estimativa para essa parte do SA em Aquarius. O raio harmônico encontrado para esse SA foi de $12.5 h^{-1}$ Mpc (já corrigido da projeção). Para o *Aquarius-2* novamente temos uma subestimativa da massa, já que a dispersão das velocidades dos aglomerados é relativamente pequena (660 km s^{-1}) e

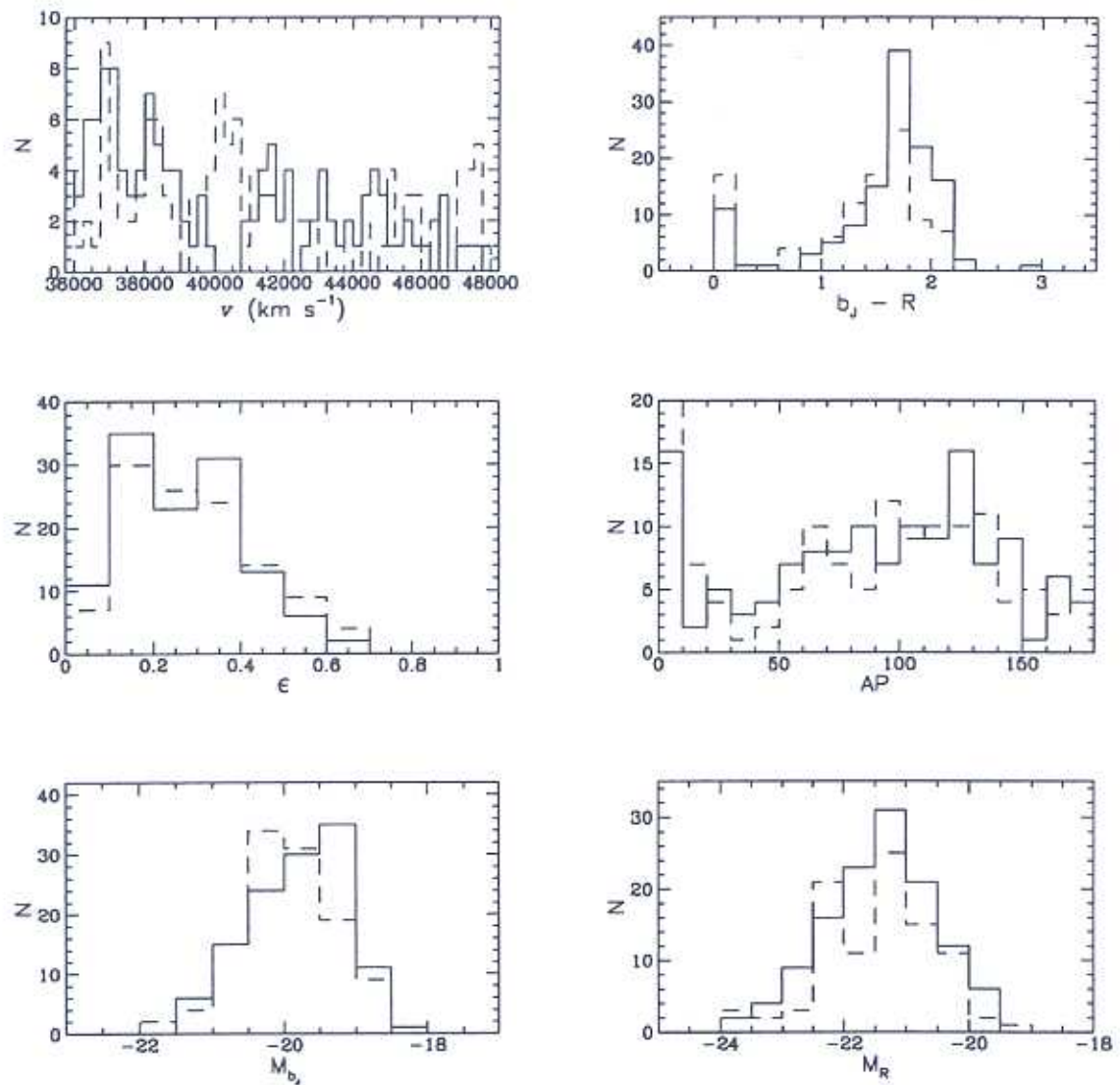


Figura 5.16: Idem às figuras anteriores para as galáxias do filamento.

menor ainda quando incluímos os grupos (560 km s^{-1}). Se este SA tem constituição similar à do *Aquarius-1* (proporção componente “aglomerado”/componente “dispersa” e proporção de matéria escura), e não há nada que indique o contrário, sua massa deve ser da ordem de $2.5 \times 10^{16} h^{-1} M_{\odot}$. O raio harmônico desse sistema é de $16.9 h^{-1} \text{ Mpc}$.

5.2.3 Estado Dinâmico dos Superaglomerados

Uma primeira avaliação do estado dinâmico de um sistema pode ser obtida a partir da estimativa do seu “tempo de travessia” — um sistema virializado normalmente tem um tempo de travessia significativamente menor que a idade do Universo, o que não acontece

Tabela 5.4: Estimativas de Massas Viriais dos SA Estudados

SA	ΣM_{agl}	$M_{gal/\Lambda}$	$M_{gal/D}$	M_{gal}	M_{agl}	M_{agl+gr}
			$(\times 10^{15} h^{-1} M_{\odot})$			
Aquarius-1	2.2	2.2	11.0	6.6	9.0 (9)	12.0 (20)
Aquarius-2	4.9	2.8	2.8	4.7	5.3 (15)	3.6 (23)
filamento	2.6	4.8	3.4	6.5	12.4 (8)	32.0 (14)

para sistemas não ligados (Gott & Turner, 1977). O tempo de travessia virial é dado por:

$$\tau_{travv} = \left(\frac{3}{5}\right)^{3/2} \frac{\pi R_H}{2\sqrt{3} \sigma_v} \quad (5.6)$$

Para os aglomerados de Aquarius, valores típicos de τ_{travv} são da ordem de 0.25 Ga (ou $0.03 \tau_H$, onde τ_H é a idade do Universo para $H_0 = 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$). Para *Aquarius-1*, por outro lado, encontramos $\tau_{travv} = 2.3 \text{ Ga}$, um quarto de τ_H , e para *Aquarius-2*, 3.8 Ga (ou $0.4 \tau_H$), valores já excessivamente altos para sistemas virializados.

Outra escala de tempo procedente é o tempo de virialização para uma massa colapsante esfericamente simétrica (Gunn & Gott, 1972):

$$\tau_V = \frac{2.14}{\sqrt{G\rho}} \quad (5.7)$$

onde ρ é a densidade média do sistema considerado. Para Aquarius consideramos a densidade contida nos respectivos raios harmônicos dos SAs. Dessa forma encontramos, para ambos os SAs, um $\tau_V = 2.5 \tau_H$. Essas duas estimativas indicam que ambos os SAs não são sistemas virializados, corroborando as expectativas iniciais. A próxima questão é tentar determinar se os SAs constituem sistemas ligados, ou pelo menos parte deles, que já tenham ao menos se desprendido do fluxo de expansão.

O estado dinâmico de um sistema das dimensões de um aglomerado ou SA pode ser determinado também por sua geometria no espaço de *redshifts*. Sistemas virializados aparecem alongados ao longo da linha de visada, sistemas em fase de destaque/desprendimento do fluxo de Hubble mas que ainda não sofreram a relaxação violenta aparecem comprimidos nessa direção, e por fim, sistemas nos quais os movimentos ainda são dominados pela expansão apresentam apenas a sua extensão real representada ao longo da linha de visada. Sargent & Turner (1977) propuseram um método para determinar as distorções no espaço de *redshifts* que considera a distribuição, entre os pares de membros do sistema, do ângulo (α) entre o vetor de separação desses pares e o plano do céu. Esse ângulo pode ser medido da seguinte

forma, seja Δ_{12} a separação angular entre os dois membros considerados e z_1 e z_2 ($z_1 \geq z_2$) seus respectivos *redshifts*, as separações retangulares perpendicular (d_{12}) e paralela (l_{12}) ao plano do céu são dadas por:

$$d_{12} = \frac{c}{H_0} [z_2^2 + z_1^2 - 2z_1 z_2 \cos(\Delta_{12})]^{1/2} \quad (5.8)$$

$$l_{12} = \frac{c}{H_0} (z_1 + z_2) \tan\left(\frac{\Delta_{12}}{2}\right) \quad (5.9)$$

enquanto o ângulo entre elas é:

$$\alpha = \arctan\left[\frac{1}{2}\left(\frac{z_1}{z_2} - 1\right) \cot\left(\frac{\Delta_{12}}{2}\right)\right] \quad (5.10)$$

com $0 \leq \alpha \leq \pi/2$. Para um sistema esférico e homogêneo, o valor médio de α se aproximará do valor isotrópico, $\langle \alpha \rangle = 32.7^\circ$, apenas para o caso em que o sistema ainda não se destacou do fluxo de expansão. No caso em que ele se encontra em colapso, $\langle \alpha \rangle$ terá valores menores que o valor isotrópico, enquanto no caso do sistema virializado (alongado), $\langle \alpha \rangle$ será maior. Se, por outro lado, o sistema não é esférico, o seu alongamento/achatamento físico será refletido no valor de $\langle \alpha \rangle$, mas mesmo assim os efeitos devidos ao estado dinâmico continuarão presentes e podem ou não ser percebidos.

O valor médio encontrado para os 9 aglomerados do SA *Aquarius-1* foi de $\langle \alpha \rangle = (40.3 \pm 19.0)^\circ$, e para os 21 sistemas (incluindo os grupos), $\langle \alpha \rangle = (40.9 \pm 20.9)^\circ$, ou seja, ambos com um valor de $\sim 0.4\sigma$ acima do valor isotrópico. Como a possibilidade da estrutura estar virializada foi descartada, sobram duas possibilidades que poderiam gerar esse valor de $\langle \alpha \rangle$: um sistema ainda dominado pela expansão mas relativamente alongado na direção radial ou um sistema em colapso e bastante alongado. O segundo caso parece o mais provável já que o SA *Aquarius-1* tem realmente uma forma filamentar como visto anteriormente. Além disso, o valor encontrado para $\langle \alpha \rangle$ parece corresponder exatamente à inclinação do SA como um todo em relação ao plano do céu.

O mesmo efeito é mais acentuado ainda no caso do SA *Aquarius-2*, para o qual foram encontrados um valor de $\langle \alpha \rangle = (24.8 \pm 17.9)^\circ$ para os 15 aglomerados e $\langle \alpha \rangle = (21.1 \pm 17.3)^\circ$ para os 23 sistemas, correspondendo a $\sim 0.5\sigma$ abaixo de 32.7° . Ao contrário do SA *Aquarius-1*, este SA parece bastante achatado na direção radial, podendo ser parcialmente o efeito do colapso e parcialmente um achatamento real da estrutura. Há ainda um plano interno ao SA constituído por 10 aglomerados que apresenta um $\langle \alpha \rangle = (8.5 \pm 5.6)^\circ$, um valor $\sim 4.3\sigma$

abaixo do valor para o caso isotrópico, o que não deixa dúvida do achatamento do sistema na direção radial. Analogamente ao caso do primeiro SA, esse valor de $\langle \alpha \rangle$ corresponde à inclinação do SA *Aquarius-2* em relação ao plano do céu.

Para efeito de comparação, para o filamento um valor de $\langle \alpha \rangle = (56.4 \pm 22.5)^\circ$ foi encontrado, sendo que o alongamento real da estrutura afeta nitidamente o valor de $\langle \alpha \rangle$.

O ângulo α também pode ser usado para testar a condição Newtoniana de ligação gravitacional (Beers, Geller & Huchra, 1982). Um par de massas pode ser considerado gravitacionalmente ligado se:

$$V_r^2 R_p \leq 2GM \sin^2 \alpha \cos \alpha \quad (5.11)$$

onde $R_p = l_{12}$ é a separação projetada das duas massas e $V_r = H_0 d_{12}$ é a sua velocidade relativa na linha de visada. Aplicando esse teste para cada um dos pares de aglomerados dos SAs encontramos que, no SA *Aquarius-1* apenas dois aglomerados satisfazem a condição de ligação: a dupla A2565-A/A2566. Além disso, alguns grupos também se mostram ligados a alguns aglomerados (Aqr_030-B/A2556, A2579-C/A3996-A e A2548-B/A2538) e a dupla A2596/A2599-A se encontra bem próxima do limite para serem considerados ligados. O número de duplas de aglomerados no SA *Aquarius-2* que satisfazem a condição Newtoniana de ligação é um pouco maior: A2541/A2546, S1099/A3985, APM894/APM894 (esse último já foi inclusive considerado um sistema único, com o APM894 sendo uma subestrutura do APM895, no estudo das propriedades dos aglomerados do capítulo anterior), e A2541/S1099 no limite para serem considerados ligados. A região formada pelos aglomerados A3985/S1099/A2541/A2546 parece constituir como um todo um núcleo ligado do SA *Aquarius-2*. Um outro núcleo desse SA parece ser o constituído pelos aglomerados e grupos ED300/A2601-B/APM895/APM894 que ficam no limite do critério de ligação. O filamento também apresenta um núcleo ligado na sua parte mais próxima, formado pelos aglomerados A2600/Aqr_071/ED291.

Por fim, uma última indicação do estado dinâmico dos SA pode ser obtida pelo cálculo dos contrastes de densidade dos SAs, considerando as densidades compreendidas pelo hexaedro formado pelos aglomerados mais externos de cada SA. Dessa forma, encontramos uma sobredensidade de $85\bar{n}$ para o SA *Aquarius-1*, inscrito numa região de $8 \times 27 \times 18 h^{-1} \text{ Mpc}^3$, e $125\bar{n}$ para o SA *Aquarius-2*, contido num volume de $11 \times 32 \times 8 h^{-1} \text{ Mpc}^3$. Como estima-se que a sobredensidade apresentada por sistemas virializados deve ser superior a $200\bar{n}$, ambos os sistemas encontram-se ainda fora do equilíbrio dinâmico.

5.3 Comparação dos Parâmetros dos SA de Aquarius com os Parâmetros de Outros Superaglomerados

Como dito anteriormente, poucos SA foram efetivamente estudados até o momento. Uma busca na literaturas resultou na tabela 5.5, onde os parâmetros para os SAs de Aquarius também estão listados. Note que os SA de Virgo, Meridional, Coma-A1367 e Hidra-Centaurus não incluídos na tabela por serem SA estudados diretamente a partir de sua distribuição de galáxias.

Mesmo entre as várias estimativas para um único SA há diferenças, conseqüentes do uso de métodos distintos, da definição particular da amostra de aglomerados ou mesmo da abertura que se considerou para a determinação da massa de cada aglomerado. Em termos de parâmetros médios, para os SAs listados na tabelas, a massa pela soma das massas dos aglomerados membros resulta num valor em torno de $3.6 \pm 1.5 \times 10^{15} h^{-1} \mathcal{M}_{\odot}$, enquanto a massa total se encontra entre $5 \times 10^{15} h^{-1} \mathcal{M}_{\odot}$ e $5 \times 10^{16} h^{-1} \mathcal{M}_{\odot}$. O raio harmônico típico é da ordem de $10 h^{-1}$ Mpc e os tempos de travessia entre 0.1 e 0.6 τ_H . A multiplicidade está de acordo com o encontrado nos catálogos de SA, entre 3 e 30 membros, sendo o SA de Shapley o mais rico e, portanto, mais massivo dos já estudados. Ele também é, dentre os estudados, o mais próximo do equilíbrio dinâmico — Bardelli et al. (2000) encontraram que a região compreendida dentro de um raio de $10 h^{-1}$ Mpc, centrada no aglomerado A3558, deve terminar o colapso em 3 Ga.

Os SA de Aquarius parecem estar num estágio menos avançado de evolução, mas ainda se encontram entre os mais massivos da lista. O SA *Aquarius-2* parece ter características semelhantes às do SA de Pisces-Perseus, embora seja provavelmente mais massivo que ele. Ambos tem pouca inclinação em relação ao plano do céu, o que faz com que as estimativas de massa a partir da dispersão das velocidades das galáxias membros dos SA subestime a massa das estruturas. Para ambos, a massa estimada dessa forma tem um valor próximo ao valor da soma das massas dos aglomerados membros, enquanto as estimativas considerando os aglomerados como massas pontuais ou pela razão massa-luminosidade resultam em valores bem maiores.

Mesmo com toda essa diversidade de características, as estimativas da densidade de matéria na escala dos SA tem uma dispersão relativamente pequena (0.1) em torno do valor $\Omega_0 = 0.3$. Esse valor é similar aos valores encontrados pelas medidas da RCF e das SNIa descritas na Introdução. Este valor também indica que não deve haver muita matéria escura

Tabela 5.5: Comparação dos Parâmetros dos SA já Submetidos a Estudo

SA	\bar{z}	N_{opt}	ΣM_{opt} ($^{\circ}$)	N_{gal}	Δv ($km\ s^{-1}$)	M_{gal} ($^{\circ}$) ($h^{-1}\ Mpc$)	$\frac{R_H}{2}$ ($h^{-1}\ Mpc$)	M_{tot} ($^{\circ}$)	$M_{M/L}$ ($^{\circ}$)	τ_{trav} ($^{\circ}$)	τ_H ($^{\circ}$)	$\langle \alpha \rangle$ ($^{\circ}$)	M/L [$h(M/L)_{\odot}$]	Ω_M	Referência
Pisces-Perseus	0.017	4	2-3	1075	3000-7000	2.6	15.0	15.0	4-7				200-600(B)	0.1-0.3	Hanski et al. (2001)
Hercules	0.038	3	2.7	262	8500-14500		3.8	8-6	0.08				530±160(B)	0.34±0.1	Barnby & Huchra (1998)
Shapley	0.050	27	5.5(10)		10000-18000		17.0	50.0							Quintana et al. (1995)
Shapley	0.047	8		(2057)		14.0	10.1		1.3						Bardelli et al. (2000)
Shapley-2 (S300)	0.10	5				51.0	24.8		2.1						Bardelli et al. (2000)
Shapley	0.048	11(31)		5090	9000-20000	13.0	8.0								Reisenegger et al. (2000)
CorBor	0.07	6	2.4	(182)			11.0	26.0	8.2	0.6		56.5±12.7	256±118(B)	0.2±0.1	Postman, Geller & Huchra (1988)
CorBor	0.07	7	5.3	528	18000-27000	33.0	6.4	40.0					564(B)	0.36	Small et al. (1998)
CorBor-2 (A2069)	0.11	3		352	30000-39000	33.0	8.2						726(B)	0.44	Small et al. (1998)
Aquarius-1	0.086	9	2.2	269	22500-30000	6.6	12.5	10.5	0.25	2.5	40.3±19.0				este trabalho
Aquarius-2	0.112	15	4.9	336	30000-36000	4.7	16.9	25.0	0.4	2.5	8.5±5.6				este trabalho

$^{\circ}h^{-1} \times 10^{15} M_{\odot}$

além da presente nos halos dos aglomerados, já que as estimativas de Ω_0 para os aglomerados são próximas do valor encontrado para os SA.

5.4 Resumo do Capítulo

- A distribuição dos sistemas de galáxias de Aquarius, em diagramas em cunha e histogramas de z 's, indica pelo menos duas concentrações de aglomerados e grupos em tal direção, em $z \sim 0.08-0.09$ e $z \sim 0.11$.
- A aplicação do algoritmo de percolação à distribuição espacial desses sistemas permitiu a identificação de dois SA muito ricos na região, o primeiro em $z \sim 0.086$, com pelo menos 9 aglomerados e 11 grupos, o qual denominamos *Aquarius-1*, e outro em $z \sim 0.112$, com pelo menos 14 aglomerados e 5 grupos, denominado *Aquarius-2*. Além disso detectamos também um filamento no intervalo $0.12 < z < 0.15$, com pelo menos 8 aglomerados e 10 grupos, que se conecta ao SA *Aquarius-2* num contraste de densidade $f \sim 3$, e alguns potenciais SA em $z \sim 0.15, 0.17, 0.2$ e 0.21 .
- A inclusão de candidatos a aglomerados sem observações espectrocópicas, mas com z_{est} , não alterou significativamente os resultados acima.
- Aplicando o mesmo algoritmo a uma região mais extensa, de $22^\circ \times 22^\circ$, aproximadamente centrada em Aquarius, encontramos que o SA *Aquarius-1* pode fazer parte de uma estrutura maior, que se estende para noroeste com um AP $\sim 120^\circ$, constituída por 20 aglomerados, identificada originalmente por Einasto et al. (1997) e denominada por eles SA 205. A sobredensidade do SA *Aquarius-1* é de $85\bar{n}$, num volume de $8 \times 27 \times 18 h^{-1} \text{ Mpc}^3$.
- O SA *Aquarius-2*, por outro lado, se restringe praticamente à região de Aquarius, com apenas um aglomerado incluído da amostra extendida, A2609.
- Em relação ao trabalho de Batuski et al. (1999) encontramos que, com a reavaliação do *redshift* de vários aglomerados utilizados na amostra deles, o SA de Aquarius que eles propuseram se divide em dois SA distintos, o *Aquarius-1* e o *Aquarius-2*, separados por 4000 km s^{-1} . Mesmo considerando os grupos, os aglomerados com z_{est} e um f mínimo, esses 2 SA não se conectam.

- O “nó” de 5 aglomerados que eles encontraram em $z \sim 0.11$ é o próprio SA *Aquarius-2*, agora com 15 aglomerados e um contraste de densidade de $125\bar{n}$, num volume de $11 \times 32 \times 8 h^{-1} \text{ Mpc}^3$.
- Pelas nossas amostras de galáxias dos dois SA de Aquarius, encontramos que 45% delas pertencem às componentes dispersas dos SA e que a dispersão de velocidades dessa componente é 30% maior que a dispersão de velocidades das galáxias nos aglomerados.
- Das distribuições dos parâmetros para essas galáxias percebemos uma tendência das galáxias nos aglomerados a serem mais avermelhadas e esféricas que as da componente dispersa dos SA.
- Conseguimos, com nossas observações espectroscópicas, amostrar até 1.5 mag além de M^* para *Aquarius-1* e $M^* + 1$ para *Aquarius-2*.
- Inferimos uma massa Virial de $1.1 \times 10^{16} h^{-1} \mathcal{M}_\odot$ para o SA *Aquarius-1*, sendo $2.2 \times 10^{15} h^{-1} \mathcal{M}_\odot$ contidas nos seus 9 aglomerados membros. Para *Aquarius-2* encontramos $2.5 \times 10^{16} h^{-1} \mathcal{M}_\odot$ e $4.9 \times 10^{15} h^{-1} \mathcal{M}_\odot$ nos 14 aglomerados, respectivamente.
- Os tempos de travessia dos dois SA são da ordem de 0.22 e 0.4 τ_H , respectivamente para *Aquarius-1* e *Aquarius-2*, e os tempos de virialização em torno de 2.5 τ_H para ambos.
- Ambos os SA podem estar em fase de colapso, mas as características geométricas parecem ter grande influência na estimativa do estado dinâmico determinado a partir da média das inclinações das separações entre os aglomerados. As inclinações médias em relação ao plano do céu encontradas foram de 40° e 9° , respectivamente para *Aquarius-1* e *Aquarius-2*.
- Os dois núcleos identificados na análise de percolação para o SA *Aquarius-1* contém, cada um, uma dupla de aglomerados ligados, nominalmente o A2565-A/A2566 e A2596/A2599-A, além de alguns grupos ligados a aglomerados.
- Para o *Aquarius-2* há também 2 núcleos ligados, porém compostos de um número maior de aglomerados e/ou grupos: A3985/S1099/A2541/A2546 e ED300/A2601-B/APM895/APM894.
- Também o filamento apresenta um núcleo de aglomerados ligados na sua extremidade mais próxima do SA *Aquarius-2*, composto pelos aglomerados A2600/Aqr_071/ED291.

- O SA *Aquarius-2* se assemelha ao SA de Pisces-Perseus, ambos com uma geometria aproximadamente plana e praticamente perpendiculares à linha de visada.

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas

Neste trabalho fizemos um estudo de uma das regiões com maior potencial para a presença de estruturas em grande escala, indicado pela conspícua concentração de aglomerados de galáxias. A partir da obtenção de placas fotográficas, digitalização e calibração das magnitudes dos objetos nelas detectados, além de outros dados fotométricos de catálogos de galáxias da literatura, e da aplicação de métodos objetivos de detecção de concentrações superficiais de objetos, compilamos uma lista de potenciais candidatos a aglomerados e grupos de galáxias em tal região. Com a observação espectroscópica de amostras de galáxias selecionadas nas regiões de maior densidade superficial desses objetos nos candidatos e submetidas a outros critérios visando otimizar a detecção de aglomerados e a própria observação dentro do instrumental disponível, identificamos uma centena de sistemas de galáxias, entre aglomerados e grupos, na região. Para a maior parte dos sistemas identificados, analisamos suas propriedades físicas para construir uma base de dados necessária à detecção e ao estudo de superaglomerados de galáxias na região. Procedemos com esse estudo identificando dois SA muito ricos e vários outros potenciais SA, e analisando as características e propriedades físicas dessas duas estruturas. Os resultados desse trabalho mostram que é possível fazer um estudo de tais proporções com instrumentos e material agora na berlinda das tecnologias disponíveis aos astrônomos: placas fotográficas e telescópios da classe de 2m. Obviamente muito mais é possível com novos detectores e telescópios maiores, ambos em franco desenvolvimento, no sentido do aumento da sensibilidade e capacidade, neste início de milênio.

Especificamente, os resultados obtidos da análise dos SA serviram para confirmar o potencial da região para vários estudos não só da estrutura em grande escala mas também da evolução de galáxias e aglomerados nos meios mais densos e dinamicamente ativos represen-

tados pelos SA. Os SA da região, levantados anteriormente em catálogos de SA construídos em grande parte com *redshifts* estimados, foram confirmados como tal, embora, com a quantidade (e qualidade) dos dados utilizados, algumas diferenças tenham surgido do estudo. A mais significativa delas é a separação do filamento de $110 h^{-1}$ Mpc proposto por Batuski et al. (1999) em dois SA distintos, o que reforça as expectativas de que os SA tem escalas características da ordem de $50 h^{-1}$ Mpc e não muito maiores que isso. Outra contribuição relevante deste trabalho foi a confirmação e a determinação de algumas propriedades físicas de vários aglomerados e grupos. Com essas informações podem ser levantadas subamostras de aglomerados da região para estudos mais profundos nas várias escalas, das propriedades dos SA à evolução das galáxias nos aglomerados e no meio inter-aglomerado.

Entre as perspectivas futuras do estudo da região está a análise da presença de orientações preferenciais entre as galáxias e entre elas e as estruturas maiores (aglomerados, SA, filamentos). Um estudo preliminar nesse sentido já foi iniciado e encontramos um sinal significativo de alinhamento ($\sim 4\sigma$) entre galáxias avermelhadas na faixa de magnitudes $16.5 < b_J < 17.5$ (provavelmente as galáxias mais brilhantes que M^* nos dois SA) e as galáxias entre $18.5 < b_J < 19.5$ (que devem definir melhor a estrutura filamentar dos SA), o que nos levou a supor que as galáxias de morfologia esferoidal mais brilhantes conservam uma memória do processo anisotrópico de fusões que levou à formação das estruturas nas quais elas estão embebidas. Também encontramos sinais significativos entre as galáxias de um aglomerado e os aglomerados vizinhos ($\sim 6\sigma$). Agora com a conclusão do processo de identificação e caracterização das estruturas, propostas deste trabalho, podemos selecionar amostras mais objetivas para prosseguir com o estudo dos alinhamentos. Outro desdobramento em planos do presente trabalho é o estudo de movimentos peculiares na região através da obtenção de distâncias de aglomerados utilizando relações do “Plano Fundamental” para galáxias esferoidais (e.g., Kopylov & Kopylova, 2001), a partir de observações CCD para os aglomerados. Devido ao grande número de superposições encontradas na região, tais observações CCD podem também ser usadas para a identificação de possíveis efeitos de lentes gravitacionais produzidos pelo aglomerados mais massivos do SA mais próximos. A evolução das galáxias também pode ser estudada pela obtenção de funções de luminosidade para galáxias de diferentes morfologias para os SA ao longo da linha de visada, incluindo o estudo dos potenciais SA mais distantes que $z \sim 0.15$.

Apêndice A

Avaliação dos Catálogos COSMOS e APM

No artigo a seguir apresentamos os resultados da avaliação preliminar dos dados fotográficos que seriam utilizados no presente estudo. A partir da comparação de tais dados fotográficos com dados CCD estimamos as completezas e contaminações na identificação de galáxias dos catálogos das máquinas COSMOS e APM, além de avaliar a qualidade da fotometria. Entre as principais conclusões obtidas, encontramos que a completeza do catálogo SSC é menor que a estimada anteriormente, com um efeito da designação de uma magnitude significativamente diferente da real para os objetos com classificação incorreta.

A QUANTITATIVE EVALUATION OF THE GALAXY COMPONENT OF THE COSMOS AND APM CATALOGS¹

CÉSAR A. CARETTA, MARCIO A. G. MAIA, AND CHRISTOPHER N. A. WILLMER²

Departamento de Astronomia, Observatório Nacional, CNPq, Rua Gal. José Cristino 77, 20921-400 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Received 1999 January 29; accepted 1999 October 22

ABSTRACT

We have carried out an independent quantitative evaluation of the galaxy component of the COSMOS/UKST southern sky object catalog (SSC) and the APM/UKST J Catalogue (APM). Using CCD observations, our results corroborate the accuracy of the photometry of both catalogs, which have an overall dispersion of about 0.2 mag in the range $17 \leq b_j \leq 21.5$. The SSC presents externally calibrated galaxy magnitudes that follow a linear relation, while the APM instrumental magnitudes of galaxies, calibrated only internally by the use of stellar profiles, require second-order corrections. The completeness of both catalogs in a general field falls rapidly fainter than $b_j = 20.0$, being slightly better for APM. The 90% completeness level of the SSC is reached between $b_j = 19.5$ and 20.0, while for APM this happens between $b_j = 20.5$ and 21.0. Both SSC and APM are found to be less complete in a galaxy cluster field, where completeness reaches 90% in the ranges $b_j = 19.0$ –19.5 and $b_j = 19.5$ –20.0, respectively. Galaxies misclassified as stars in the SSC receive an incorrect magnitude because the stellar ones take saturation into account, besides using a different calibration curve. In both cases, the misclassified galaxies show a large diversity of colors, which range from typical colors of early types to those of blue star-forming galaxies. A possible explanation for this effect is that it results from the combination of low-sampling resolutions with properties of the image classifier for objects with characteristic sizes close to the instrumental resolution. We find that the overall contamination by stars misclassified as galaxies is $< 5\%$ to $b_j = 20.5$, as originally estimated for both catalogs. Although our results come from small areas of the sky, they are extracted from two different plates and are based on the comparison with two independent data sets. We conclude that both the SSC and APM can be a particularly valuable resource for extragalactic studies in the southern hemisphere once their limitations are taken into account.

Key words: catalogs — galaxies: fundamental parameters — techniques: image processing

1. INTRODUCTION

The field of observational cosmology has benefited from the large galaxy catalogs compiled as a result of high-speed machine measurements of photographic plates, such as the catalogs generated using the APM and COSMOS machines. However, the advantage of having large areas of sky is somewhat offset by the limited dynamic range and inhomogeneities of the emulsions and the need for systematic control of the developing process, as well as by the limitations due to the digitization procedure. Metcalfe, Fong, & Shanks (1995), for instance, presented evidence of systematic errors in the photographic photometry performed by COSMOS and APM, which are important for objects with high surface brightness.

In the course of a survey we are carrying out to study the SC-16 and SC-17 superclusters identified by Abell (1961), we found other systematic effects that are present in the COSMOS/UKST southern sky object catalog (SSC; Yentis et al. 1992; Drinkwater, Barnes, & Ellison 1995) and in the APM/UKST J Object Catalogue (hereafter APM; Maddox,

et al. 1990b).³ This effect is a systematic loss of bona fide galaxies at fainter magnitudes when compared with other catalogs derived from photographic photometry using the same plate material and with independent CCD photometry. This paper is divided as follows: in § 2 we describe the data acquisition and catalogs; § 3 shows the results from the comparison between the SSC and APM with catalogs derived from Photometric Data systems (PDS) scans and ESO Imaging Survey, (EIS, e.g., Nonino et al. 1999) data; and §§ 4–5 conclude the text, respectively, with a discussion and a summary.

2. DATA

2.1. COSMOS Catalog

The first catalog we consider in this work is the SSC, derived from the COSMOS scans (MacGillivray & Stobie 1984) of glass copies of the UKST/SERC *J*-band survey plates, which is available on-line from the Anglo-Australian Observatory. The slit size used in these scans was $16 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$, corresponding to $1'.08 \times 1'.08$ on the sky (see Table 1 for a summary of sampling rates and seeing for all catalogs). Object detection and classification were performed with the basic COSMOS algorithms (MacGillivray & Stobie 1984; Thanisch, McNally, & Robin 1984; Heydon-Dumbelton, Collins, & MacGillivray 1989; Beard, MacGillivray, & Thanisch 1990), using a threshold of 2 times the background standard deviation (σ), which corre-

¹ Partly based on observations at Complejo Astronomico El Leoncito (CASLEO), operated under agreement between the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas de la República Argentina and the National Universities of La Plata, Córdoba and San Juan; European Southern Observatory (ESO), under the ESO-ON agreement to operate the 1.52 m telescope; and Observatório do Pico dos Dias, operated by the Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA).

² Current address: UCO/Lick Observatory, University of California, Santa Cruz, 95064.

³ Available, respectively, at <http://www.aao.gov.au/cosmos/yentis.html> and <http://www.ast.cam.ac.uk/~apmcat>.

TABLE 1
CATALOGS USED IN THIS WORK

Catalog	Source	Band	Digitization	Reduction ^a	Sampling Rate	Seeing
SSC.....	UKST/ESO plate	b_j	COSMOS	COSMOS	1'08	<3" ^b
APM.....	UKST/ESO plate	b_j	APM	APM	0'54	<3" ^b
PDS.....	UKST/ESO film	b_j	PDS	FOCAS	0'67	2'3 ^c
EIS.....	NTT CCD	B, V	...	SExtractor	0'27	1'2/0'9
Suppl1.....	OPD CCD	White light	...	FOCAS	0'29	1'0
Suppl2.....	ESO Schmidt plate	R	APM	APM	0'54	1'5

^a Object detection and classification.

^b Typical seeing for UKST survey plates (Heydon-Dumbleton, Collins & MacGillivray 1989).

^c FWHM of stellar profiles in the PDS area.

sponds to a surface brightness limit of about $25.5b_j$ arcsec⁻², and considering an object whenever it contains more than four pixels. The instrumental magnitudes of SSC stars are corrected for saturation using a function that takes into account the area of the object and its position on the plate. The area is considered because it is directly related to the stellar magnitude (e.g., Bunclark & Irwin 1984) and is independent of saturation (except for very bright stars, in which diffraction spikes and ghost halos appear). The object position is also taken into account because the saturation level is subject to field effects, such as geometrical vignetting and intrinsic changes in sensitivity of the emulsion across the plate (Hawkins 1988). As described by Yentis et al. 1992, the SSC had two procedures for the photometric calibration. Stars were directly calibrated from the Guide Star Photometric Catalogue, while galaxies were calibrated using existing CCD photometry in the B and V bands. The uncertainty in the SSC magnitudes is estimated to be ~ 0.3 – 0.5 mag (Unwin, Hunshead, & Piestrzynski 1993) and that is on positions of less than $0'5$ (Drinkwater et al. 1995). Previous estimates for SSC completeness were about 95% at $b_j = 20.0$ (e.g., Heydon-Dumbleton, Collins, & MacGillivray 1989; Lumsden et al. 1997) or $b_j = 20.5$ (e.g., Nichol et al. 1992; Escalera & MacGillivray 1995).

2.2. APM Catalog

The second catalog used in this analysis is the APM, produced from APM machine scans (Kibblewhite et al. 1984) of similar glass copies of the UKST/SERC J -band survey, which is partially available on-line from the Institute of Astronomy, Cambridge, UK. The APM also used a pixel size of $16 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$, although with a sampling interval (steps) of half this size, resulting in a $0'54 \times 0'54$ sampling rate. Objects were detected with the APM image analysis algorithm (Kibblewhite et al. 1984) and classified using the profile technique, which is based on the combination of as many as eight isophotal areas, the peak intensity, and the radius of gyration (Maddox, Efstathiou, & Loveday 1988a; Maddox et al. 1990b). The adopted detection threshold is 2σ above the local sky background intensity, which corresponds to an isophotal limit of about $25b_j$ arcsec⁻², with a minimum area for each object of 16 pixels (Maddox et al. 1988b). The isophotal magnitudes are corrected for position-dependent field effects for each plate (geometrical vignetting and differential desensitization). These corrected instrumental magnitudes are then internally calibrated by the use of the stellar profiles (M. Irwin 1999, private communication). Corrections on a plate-to-plate basis are calculated and added to the instrumental magnitudes so that the final ones are uniform throughout

the survey (Maddox, Efstathiou, & Sutherland 1990a). The internal accuracy of APM magnitudes was estimated to be about 0.1 – 0.2 mag up to $b_j \sim 20.5$ (Maddox et al. 1990b), while externally they were estimated to be accurate to 0.3 mag, becoming worse toward the brighter side.⁴ This is due to the use of the calibration based on stellar profiles, which tends to make galaxy magnitudes artificially brighter. The APM positions have internal uncertainties of $0'1$ and external ones of $0'5$.⁵ Completeness estimates were 90%–95% and contamination estimates were 5%–10% up to $b_j = 20.5$ (Maddox et al. 1990b).

2.3. PDS Catalog

An ESO copy on film of the UKST/SERC IIIa-J plate (field 535) was digitized with the PDS 1010A microdensitometer of the Observatório Nacional using a square pixel size and step of $10 \mu\text{m}$, which corresponds to a sampling rate of $0'67$. The FWHM of stellar objects measured on the film is about $2'3$. The scanned region comprised an area $30' \times 30'$ (0.25 deg^2) centered at $\alpha_{2000} = 23^{\text{h}}07^{\text{m}}33^{\text{s}}$ and $\delta_{2000} = -22^{\circ}33'$, containing two neighboring galaxy clusters, A2534 and A2536. The FOCAS package (Jarvis & Tyson 1981; Valdes 1982) was adopted to perform the object detection and star/galaxy classification. The threshold level was 3σ above the local sky background intensity, corresponding to an isophotal limit of about $25.0b_j$ arcsec⁻². An object was considered only if it comprised a minimum of 12 pixels. The absolute calibration was done using B and V CCD galaxy magnitudes from images obtained at the 1.60 m telescope of the Observatório do Pico dos Dias (OPD), Brasópolis, Brazil. A sequence of 26 galaxies located in the central region of A2534 had aperture magnitudes measured, using the IRAF/DAOPHOT package⁶, spanning from $b_j = 18.0$ to 21.5 . We have chosen a $4''$ radius aperture as a compromise to avoid a significant loss of light for the brighter objects, while minimizing the background noise for the fainter ones. Similar aperture magnitudes were measured in the FOCAS catalog. The final calibration of the scan data (both stars and galaxies) was performed using the color equation obtained by Blair & Gilmore (1982):

$$b_j = B - 0.28(B - V), \quad (1)$$

⁴ See <http://www.ast.cam.ac.uk/~apmcat>.

⁵ See <http://www.ast.cam.ac.uk/~apmcat>.

⁶ IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatories (NOAO) which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under contract to the National Science Foundation.

where our B and V CCD magnitudes are in the standard Johnson-Cousins photoelectric system, the passbands used in our CCD observations being in agreement with those tabulated by Bessell (1990). The uncertainty in our calibrated b_j magnitudes is estimated to be about 0.15 mag. The total magnitudes that were finally used from this catalog were measured with the FOCAS growing area process, which considers the surface brightness inside an object area 20% larger (Jarvis & Tyson 1981). We should note that our stellar magnitudes are not strictly correct if brighter than $b_j = 19.0$, since no saturation correction has been applied and the calibration used for all objects was that determined for galaxies.

To estimate the reliability of the detection and classification of images by FOCAS, we compared part of our PDS catalog with a CCD-derived one that will be described below as the Supplementary Catalog 1. This comparison allowed us to estimate that the FOCAS classification is reliable (completeness $\sim 95\%$) for galaxies with magnitudes up to $b_j = 21.5$.

2.4. EIS Catalog

A fourth catalog, also taken as an external and independent check, is that derived from multicolor CCD imaging for the ESO Imaging Survey. In particular, we used the catalog for Patch B, which is located at the south Galactic pole ($\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}51^{\text{m}}00^{\text{s}}$ and $\delta_{2000} = -28^{\circ}54'00''$, field 411), in B and V bands (Prandoni et al. 1998). The EIS frames have a pixel size of $0''.27$, and the median seeings are $1''.2$ and $0''.9$, respectively, for B and V bands. Patch B is composed of a sequence of 150 overlapping images of $9' \times 8.5'$, from which we selected 32 unintersecting frames. The corresponding area is 0.68 deg^2 . Object detection and classification were performed with SExtractor (Bertin & Arnouts 1996), using a 0.6σ threshold (corresponding to $\sim 26.8 B \text{ arcsec}^{-2}$ and $\sim 26.4 V \text{ arcsec}^{-2}$ surface brightness limits) and a back-propagation neural network, fed with isophotal areas and peak intensity of the profiles, for separating stars and galaxies. EIS data were calibrated directly from Landolt (1992a, 1992b) standard stars, for frames observed in photometric conditions. Both Patch B catalogs are about 95% complete in detection to $B = V = 23.0$ (Prandoni et al. 1998). We adopted a stellarity index of 0.75 to separate stars from galaxies in the EIS catalogs, and the final completeness limit is estimated to be $B = V = 22.0$. The transformation from B and V EIS magnitudes to the b_j system was made using equation (1). The original B and V EIS magnitudes were first converted to the Johnson-Cousins system using the relations presented in Prandoni et al. (1998):

$$B = B_{\text{EIS}} + 0.161(B - V)_{\text{EIS}}, \quad (2)$$

and

$$V = V_{\text{EIS}} - 0.057(B - V)_{\text{EIS}}. \quad (3)$$

Down to $b_j = 21.5$, about 90% of the B -band objects had a corresponding match in the V -band data, while the classification was coincident in more than 95% of the cases.

2.5. Supplementary Catalogs

Two other catalogs were used as supplementary ones, each comprising only the PDS area. The first Supplementary Catalog was generated from a set of three CCD images obtained with the OPD 1.60 m telescope, exposed with no filters (aiming to get more light in less time) under an $\sim 1''$

seeing. These images targeted the central parts of the clusters A2534 and A2536. Each image covers an area of $3'.9 \times 5'.6$, while the pixel size of these frames corresponds to $0''.29$. This catalog was obtained using FOCAS, and was used in this work only as an additional and better-quality source for the classification of objects in the area measured with the PDS.

The second Supplementary Catalog is in the R band, derived from an ESO Schmidt Telescope plate, which was digitized and processed with the APM. This catalog was calibrated using 14 galaxies that have CCD R magnitudes, five measured at the OPD 1.60 m telescope and nine from Cunow & Wargau (1994). This catalog was used to obtain the $b_j - R$ color index for objects in the PDS region.

3. COMPARISON BETWEEN CATALOGS

3.1. Number Counts of Galaxies in the PDS Area (Field 535)

The number counts of galaxies in the PDS area, in the three b_j -band catalogs (PDS, SSC, and APM), are shown in Table 2 and Figure 1a. Table 2 also shows the number counts for stars and the total numbers of detected objects, including objects classified as faint (on SSC) and merged (on APM). Because SSC objects fainter than $b_j \sim 21.5$ are no longer separated into galaxies and stars, being simply classi-

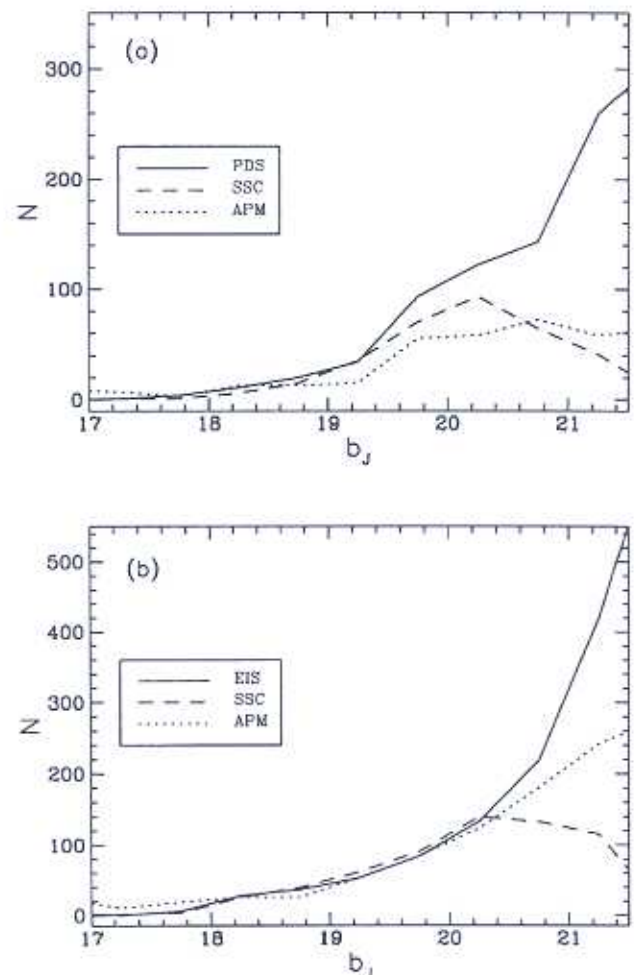


FIG. 1.— Number counts for galaxies in (a) the three catalogs of the PDS area and (b) the three catalogs of the EIS area.

TABLE 2
NUMBER COUNTS FOR PDS AREA (FIELD 535: 0.25 deg²)

RANGE OF b_j MAGNITUDES ^a	PDS			SSC			APM ^b		
	Gals.	Stars	Total ^c	Gals.	Stars	Total ^{c,d}	Gals.	Stars	Total ^{c,e}
<17.0	0	23	23	0	128	128	9	81	90
17.0-17.5	1	34	58	1	27	156	7	19	128
17.5-18.0	4	40	102	1	39	196	3	24	158
18.0-18.5	11	50	163	6	37	239	13	20	195
18.5-19.0	20	55	238	15	40	294	13	32	242
19.0-19.5	34	41	313	35	69	398	15	35	300
19.5-20.0	93	47	453	70	84	552	55	36	399
20.0-20.5	122	59	634	93	115	760	58	79	546
20.5-21.0	143	67	844	64	135	959	72	77	700
21.0-21.5	260	99	1203	41	177	1177	58	139	900
21.5-22.0	308	146	1657	8	0	1356	65	168	1137
TOTALS	996	661	1657	334	851	1356	368	710	1137

^a Each catalog is considered in its original magnitude system.

^b Extracted from field 604.

^c The totals are cumulative.

^d Including objects classified as faint.

^e Including objects classified as merged.

fied as faint, the number counts of galaxies and stars are small in the last magnitude bin in the table ($21.5 \leq b_j < 22.0$).

Considering the total counts to $b_j = 21.5$, the PDS and SSC show about the same number of objects, indicating that they achieve a similar efficiency in detection. The APM, however, has lower counts, but this is a consequence of a zero-point difference, which will be described in more detail in § 3.3. By correcting the magnitudes of the APM catalog for this offset (this means taking the counts up to $b_j = 22.0$), all the three catalogs show roughly the same total counts. However, the behavior of the galaxy and star counts are quite different in each catalog. For the PDS, the total number of galaxies is more than twice that of the SSC and APM. Also, the galaxy differential counts increase approximately exponentially for this catalog until the limit considered, as expected from its estimated completeness (see Fig. 1). For the SSC, on the other hand, the differential galaxy counts reach a maximum in the bin $20.0 \leq b_j < 20.5$, which may indicate that the successful classification of objects does not reach much beyond this limit. The most intriguing counts are those of APM: they are flatter than the others, having a larger number of galaxies in the brighter bins and a smaller number in the fainter ones, as compared with the other two catalogs. This effect may be explained, for the brighter side, by the use of the magnitude calibration for stars as mentioned in § 2.2, where galaxy magnitudes are made artificially brighter. Another possible contribution, more effective for the fainter side, may be due to the fact that the APM catalog that we use for this region was not derived from scans of field 535 but from the adjacent field 604, since the original plate was not available at the time this work was being carried out. In this northern plate, the PDS region is located close to its edge, and some photometric and/or classification effects might still be present, despite the corrections applied to APM objects⁷ as described in § 2.2.

3.2. Number Counts of Galaxies in the EIS Area (Field 411)

To ensure that the differing number counts found in the previous section are not an effect unique to the PDS Catalog, we made an independent check on the SSC and APM, using the EIS Catalog, which probes a different part of the sky, reaches a fainter magnitude limit, and has overall a better classification than the other catalogs because of the quality and sampling rate of the CCD data. The number counts for the EIS field are listed in Table 3 and illustrated in Figure 1b, which shows, at the faint end, that they are well reproduced by a straight line of slope 0.49 on a logarithmic scale, as expected for field galaxies in this magnitude range (see, e.g., Metcalfe et al. 1991). Again, SSC counts have a maximum in the bin $20.0 \leq b_j < 20.5$, while APM has flatter counts in the bright end. From the figure, one can see that APM also presents lower counts for b_j fainter than 20.0. This effect is unlikely to be caused by the overestimation of magnitudes described above, because the stellar saturation correction becomes very small at these magnitudes.

3.3. Distribution of Magnitudes

The comparison between magnitudes derived from the SSC and APM catalogs with those of the EIS are displayed, respectively, in Figure 2a-2b. Objects classified in both catalogs as galaxies are represented by solid circles, those classified as stars, by points, and those for which the classifications disagree, by crosses. The figure shows that each object type occupies a different locus according to its match.

Polynomial fits to the distributions in Figure 2a are displayed in Figure 2c, as well as the median values and rms of the distributions for each magnitude bin. The overall rms are 0.19, 0.22, and 0.28, respectively, for galaxies in both (solid line), stars in both (dotted line), and EIS galaxies classified as stars in SSC (dashed line). Because of the correction applied to stellar magnitudes in SSC, described on § 2.1, the distribution of magnitudes for stars was expected to be linear, meanwhile it is best represented by a second-order polynomial fit, implying that the saturation correction is not entirely effective. The distribution of galaxy magnitudes,

⁷ See <http://www.ast.cam.ac.uk/~apmcat>.

TABLE 3
NUMBER COUNTS FOR EIS AREA (FIELD 411: 0.68 deg²)

RANGE OF b_J MAGNITUDES ^a	EIS			SSC			APM		
	Gals.	Stars	Total ^{b,c}	Gals.	Stars	Total ^{b,d}	Gals.	Stars	Total ^{b,e}
< 17.0	2	202	205	2	252	254	25	152	200
17.0-17.5	0	50	256	1	55	310	10	47	262
17.5-18.0	6	49	311	4	69	383	19	52	339
18.0-18.5	28	57	397	25	74	482	26	47	420
18.5-19.0	36	69	505	39	85	606	26	72	527
19.0-19.5	53	81	643	61	111	778	53	98	690
19.5-20.0	84	112	842	90	142	1010	84	130	922
20.0-20.5	133	128	1113	139	165	1314	123	176	1243
20.5-21.0	218	146	1499	132	192	1638	180	204	1631
21.0-21.5	419	157	2128	115	240	1993	242	313	2198
21.5-22.0	688	135	3069	14	37	2535	276	515	3006
TOTALS	1667	1186	3069	622	1422	2535	1064	1806	3006

^a Each catalog is considered in its original magnitude system.

^b The totals are cumulative.

^c Including objects with noncoincident classification on the two EIS bands.

^d Including objects classified as faint.

^e Including objects classified as merged.

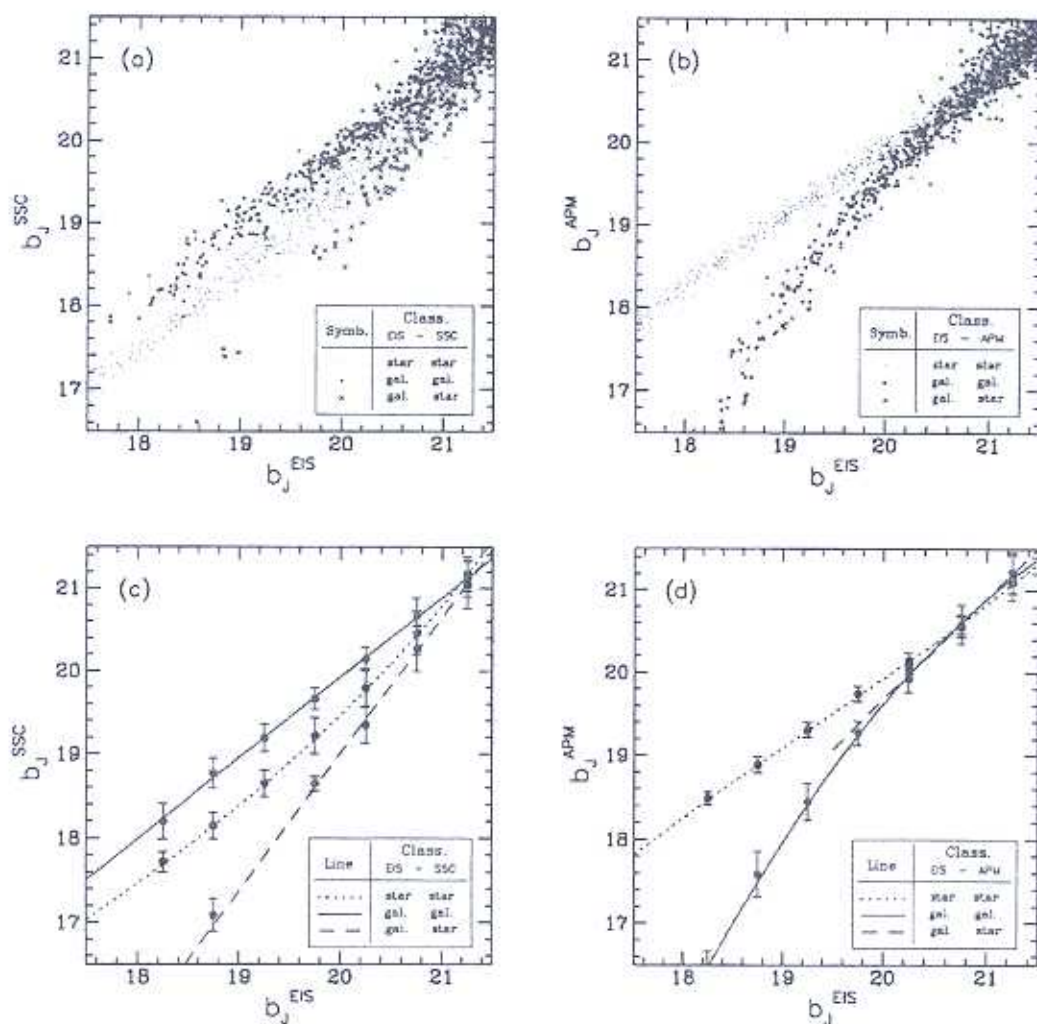


FIG. 2.— Comparison between (a) EIS and SSC magnitudes, and (b) EIS and APM magnitudes. The symbols denote the match in classification in each pair of catalogs. (c-d): Polynomial fits to the three types of objects with different symbols in (a) and (b), respectively. Error bars represent the dispersion estimates of each distribution.

on the other hand, is very well represented by a linear relation. The relation between the SSC and CCD galaxy magnitudes, in the range $17.0 \leq b_j \leq 21.5$, is

$$b_j^{\text{EIS}} = -0.43 + 1.027b_j^{\text{SSC}}. \quad (4)$$

The different inclinations and zero points between both distributions may be explained by the presence or absence of the saturation correction and the distinct calibration procedures. The behavior of the magnitude distribution of EIS galaxies classified as stars in SSC is completely distinct from the other two. This effect may be explained by the fact that galaxies have larger areas than a star of the same magnitude, yet receive the area-dependent magnitude correction as stars, so that the correction they are subjected to is excessively large in spite of the fact that they practically do not have saturated pixels.

Figure 2b shows the comparison between EIS and APM. As for the SSC, the APM magnitudes also received a correction to linearize stellar magnitudes based on their profiles. However, the correction was applied to the instrumental magnitudes of all objects, including galaxies. A direct consequence of this is that the galaxies do not follow a linear relation, with their locus bending toward the brighter APM magnitudes. The EIS galaxies classified as stars in APM follow the same distribution above but, as they appear at fainter magnitudes, it is not as evident as with the SSC. We also show in Figure 2d of the polynomial fits to these three distributions. The overall dispersions are 0.24, 0.13, and 0.22, respectively, for galaxies in both, stars in both, and EIS galaxies classified as stars in APM. The relation of APM and EIS galaxy magnitudes, obtained in the range $17.0 \leq b_j \leq 21.5$, is given by the expression

$$b_j^{\text{EIS}} = 27.21 - 1.476b_j^{\text{APM}} + 0.0566[b_j^{\text{APM}}]^2. \quad (5)$$

When compared with PDS, the SSC and APM magnitudes show similar behavior, except that the stars in PDS are not corrected for saturation and so their distribution is curved in the same way as the one for the galaxies in Figure 2b, but with a shallower inclination. Another effect found in this last comparison is that the APM magnitudes for the PDS area (extracted from the edge of field 604 instead of field 535) have a shift of about 0.5 mag near $b_j = 21.5$. So, returning to Table 2, the number counts that should be considered for the comparison with PDS and SSC is the one at $b_j = 22.0$.

3.4. Completeness Estimates

Since we have mapped the magnitude differences between catalogs and defined the zero points, we are able to estimate the real completeness and contaminations of SSC and APM in the areas we studied, based on the comparison of these catalogs with EIS and PDS. These estimates are shown in Table 4 and Figure 3. The ~5% of EIS objects with non-coincident *B* and *V* classification were excluded to guarantee reliability in the EIS catalog classification. In addition, we should note that slightly less than 5% of the objects in the other two catalogs may have been lost in the matching procedure. From the table and figure, we note that both SSC and APM start to loose galaxies in the brighter bins, although completeness estimates for $b_j < 19.0$ do not have enough statistical weight because of the small number of objects. Fainter than $b_j = 19.5$, the SSC completeness drops quickly, reaching a level of 90% in the bin $19.5 \leq b_j < 20.0$, and 65% around $b_j = 21.5$. The APM

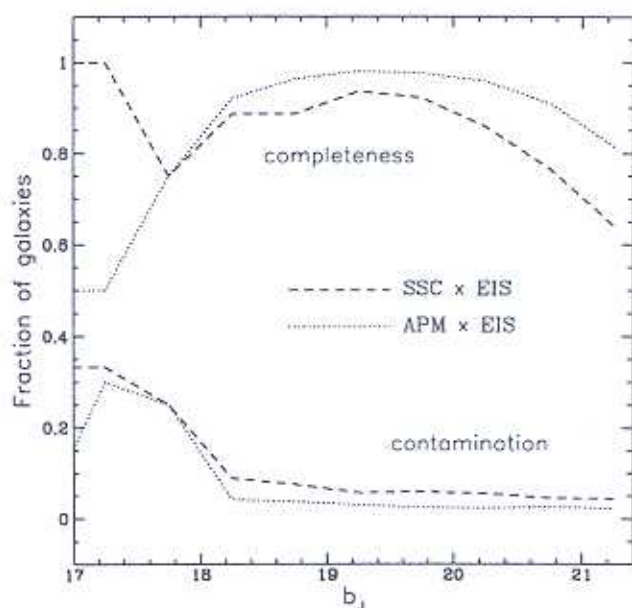


FIG. 3.—Integrated completeness and contamination levels for SSC and APM as compared with EIS data. The features near $b_j = 17.5$ –18.0 may be an artifact of small-number statistics.

TABLE 4
COMPLETENESS OF THE SSC AND APM ACCORDING TO THE PDS AND EIS CATALOGS

RANGE OF b_j MAGNITUDES	SSC				APM			
	× PDS		× EIS		× PDS		× EIS	
	Diff.	Integr.	Diff.	Integr.	Diff.	Integr.	Diff.	Integr.
< 17.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0	50.0
17.0–17.5	0.0	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0
17.5–18.0	88.9	80.0	66.7	75.0	100.0	100.0	100.0	75.0
18.0–18.5	100.0	88.9	92.6	88.6	100.0	100.0	95.2	92.0
18.5–19.0	100.0	94.9	88.6	88.6	100.0	100.0	100.0	96.3
19.0–19.5	87.5	91.1	100.0	93.5	90.3	95.2	100.0	98.0
19.5–20.0	80.0	84.8	90.4	92.2	84.6	89.0	97.2	97.6
20.0–20.5	61.8	75.6	75.9	85.8	72.3	82.0	93.0	95.8
20.5–21.0	34.4	61.8	61.6	76.5	51.0	70.7	83.9	90.9
21.0–21.5	11.8	48.3	40.5	64.0	31.5	56.4	69.5	81.4

completeness is less steep, reaching the 90% level at least 0.5 mag deeper than SSC.

Although the area used in the comparison with EIS is almost twice as large as that used with the PDS, the latter contains two clusters at $z \approx 0.2$, therefore a higher galaxy density (see also the bump on galaxy counts in Fig. 1a). Because of this, the completenesses of the SSC and APM relative to PDS are smaller than when considered relative to the EIS. The 90% completeness level is reached by the SSC in the range $b_J = 19.0-19.5$, and $b_J = 19.5-20.0$ by the APM. As clusters tend to concentrate more early-type galaxies than the general field does and because this type of galaxy may be more easily confused with stars, this implies that the efficiency of image classification by SSC and APM could be less successful in such fields.

Our results show that, as far as the contamination by misclassified objects is concerned, both catalogs have small fractions of stars classified as galaxies, <3% up to the adopted magnitude limit. However, as the regions we examined are located at high galactic latitudes, where the star density is small, it is possible that this contamination rate may increase as one goes toward lower galactic latitudes.

3.5. What Are the Misclassified SSC and APM Objects?

We present in Table 5 and Figure 4 a subsample of the brightest objects with conflicting classifications that are contained in both the PDS and SSC catalogs. The images displayed in Figure 4 are from the PDS digitization of the copy on film of the UKST plate and contained in a small SSC magnitude range ($18.4 < b_J < 18.7$). The objects in the table and figure are organized according to their classification in the catalogs as follows: those classified as galaxies in both (objects 1-5), those classified as galaxies in PDS and as stars in SSC (6-10), and finally, those which are stars in both (11-15). Concerning the classification, objects 1-5 (Fig. 4; *left column*) are obviously galaxies, while 11-15

(*right column*) actually look like stars. The objects 6-10 (*middle column*) cannot be readily classified by eye, although they show a flatter surface brightness profile, more typical of galaxies. Some of the objects in this table were observed spectroscopically, and measured redshifts are listed in Table 5. Details about these observations and the remaining data will be presented elsewhere. For two of the SSC "stars," which were classified as galaxies in the PDS catalog, the spectra reveal that the PDS classification is correct. The spectra for these galaxies are displayed in Figure 5.

To characterize further properties of the galaxies misclassified as stars in SSC and APM, we separated objects with conflicting classifications into three groups: those classified as stars only in SSC; those classified as stars only in APM; and those classified as stars in both. In principle, this last group may have some contamination from real stars misclassified as galaxies by PDS. The results can be seen in Figure 6, where b_J magnitudes are plotted against FOCAS core magnitudes, measured from the brightness of the nine central pixels: PDS against SSC in Figure 6a and PDS against APM in Figure 6b. The PDS galaxies classified as stars in both SSC and APM (*open squares*) occupy a region slightly above the stellar locus (*dots*) in both panels. On the other hand, PDS galaxies classified as stars in only one of the catalogs (*crosses*) occupy the locus of real galaxies (*filled circles*).

The b_J-R color distribution for the five subgroups (galaxies in all catalogs, stars in all, PDS galaxies classified as stars in both APM and SSC, and PDS galaxies classified as stars in either APM or SSC) is presented in Figure 7. The magnitude interval is restricted to $19 \leq b_J \leq 21$ to minimize effects of saturation and detection incompleteness. The probability of each subgroup pair being derived from the same parent distribution (P_{KS}) was calculated through the Kolmogorov-Smirnov (KS) test, and the results are summarized in Table 6, which identifies the samples, the

TABLE 5
EXAMPLES OF OBJECTS IN PDS AREA

OBJECT	COORDINATES		CLASSIFICATION*		b_J MAGNITUDE		$a \times b^b$	z	Obs. ^c
	α_{2000}	δ_{2000}	PDS	SSC	PDS	SSC			
1.....	23 06 41.25	-22 53 10.2	g	1	18.06	18.48	8.3×3.7	...	...
2.....	23 07 44.59	-22 31 08.9	g	1	18.09	18.52	7.3×4.2	0.1080	1
3.....	23 07 53.68	-22 38 23.9	g	1	18.53	18.61	9.5×4.4	0.1706	2
4.....	23 07 46.68	-22 27 30.7	g	1	18.65	18.40	8.2×6.8	0.1971	3,1 ^d
5.....	23 07 25.43	-22 27 26.6	g	1	18.69	18.65	5.6×5.1	...	...
6.....	23 07 19.23	-22 52 52.0	g	2	19.67	18.56	3.7×2.9	0.1689	4
7.....	23 08 31.98	-22 42 30.7	g	2	19.68	18.42	4.0×2.5	...	...
8.....	23 07 26.27	-22 25 01.5	g	2	19.71	18.42	3.4×3.0	...	...
9.....	23 06 40.80	-22 17 13.8	g	2	19.84	18.58	3.5×3.0	0.1377	4
10.....	23 06 37.02	-22 43 47.5	g	2	19.96	18.62	3.3×2.9	...	...
11.....	23 07 52.12	-22 49 33.9	s	2	19.07	18.48	3.4×2.8	...	...
12.....	23 07 22.41	-22 15 20.9	s	2	19.19	18.56	3.2×2.6	...	...
13.....	23 06 37.73	-22 49 38.8	s	2	19.35	18.42	3.4×3.0	...	...
14.....	23 06 52.30	-22 49 56.9	s	2	19.48	18.53	3.3×2.9	...	...
15.....	23 06 59.64	-22 25 51.1	s	2	19.48	18.63	3.7×2.6	...	...

NOTE.—Units of right ascension are hours, minutes, and seconds, and units of declination are degrees, arcminutes, and arcseconds.

* Code g or 1 means galaxy; s or 2 means star.

^b Major (a) and minor (b) axes in arcseconds.

^c Site of observation or reference; 1 means CASLEO, Argentina; 2 means OPD, Brazil; 3 means Ciardullo, Ford, & Harms 1985; 4 means ESO, Chile.

^d Mean velocity; difference of only 9 km s^{-1} between the two measurements.

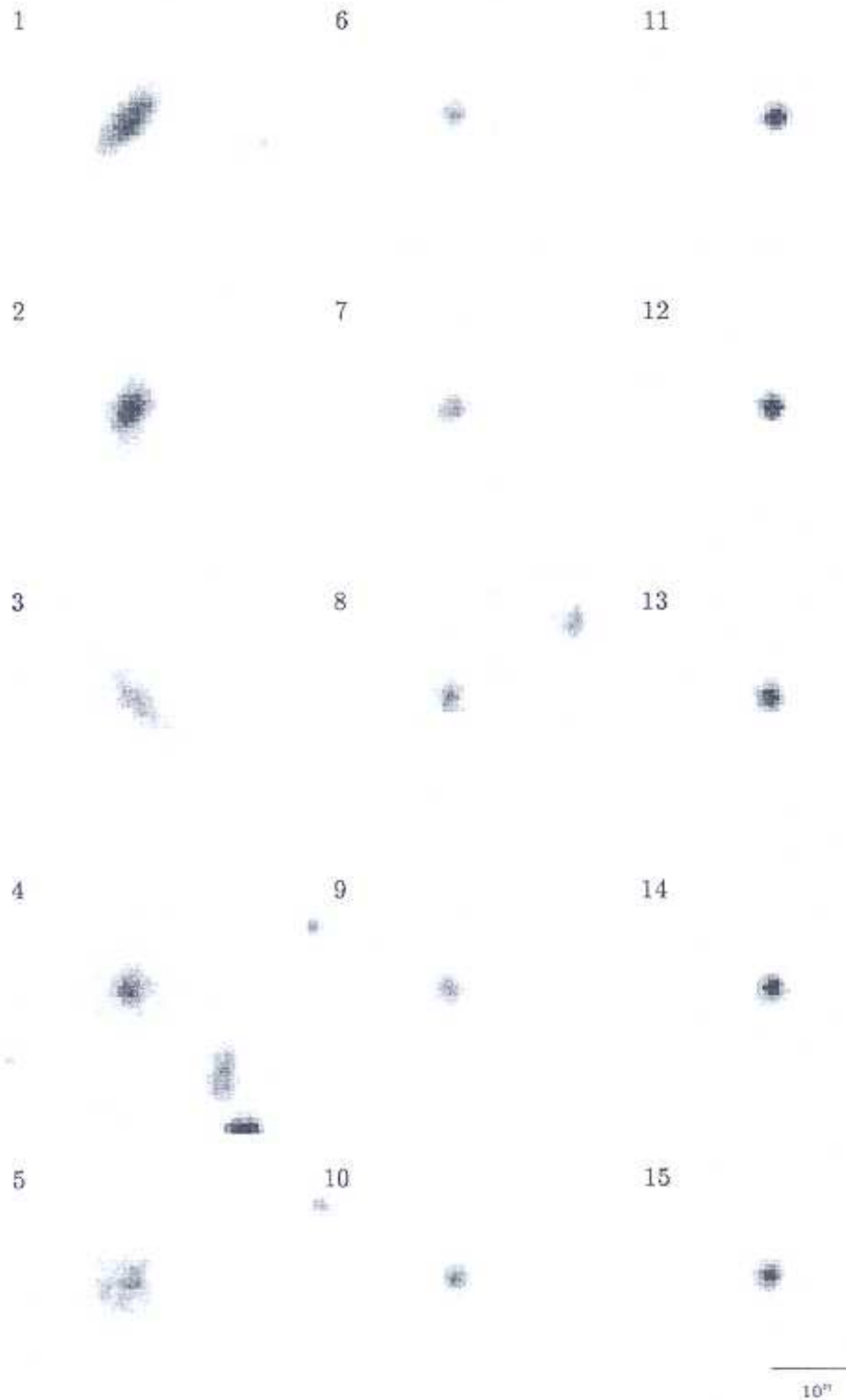


FIG. 4.—Digitized images of the sample of objects belonging to both the PDS and the SSC catalogs listed on Table 5. *Left*: Objects classified as galaxies in both catalogs. *Middle*: Objects classified as galaxies in PDS and stars in SSC. *Right*: Objects classified as stars in both catalogs.

number of members in each sample, the KS coefficient and P_{KS} values. PDS galaxies classified as stars only by the SSC or the APM catalogs, have a good chance of being galaxies. The PDS galaxies classified as stars by both SSC and APM have a 21% probability level of being actual stars.

For some of the PDS galaxies that were misclassified as stars by the SSC and/or APM, we have CCD images. A representative subsample of these is presented in Figure 8, while the parameters are presented in Table 7. The left column of Figure 8 shows the PDS image while the right

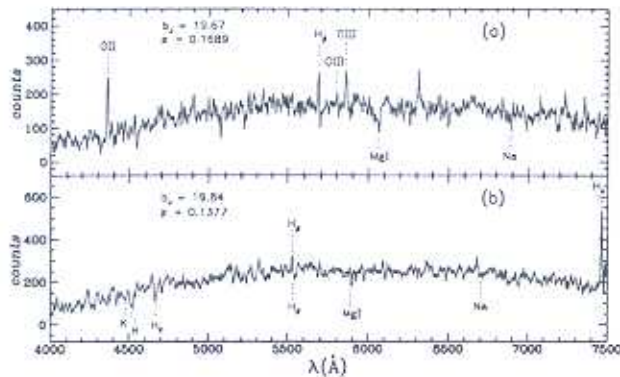


FIG. 5.—Spectra obtained for two of the galaxies misclassified in SSC: (a) number 6 and (b) number 9 of Table 5.

column shows the white-light CCD image for the same object. Also shown are the FOCAS isophotes which, because of a plotting artifact, are shifted 1 pixel upward relative to the object images. The visual inspection shows that up to $b_j = 21$, all PDS galaxies classified as stars in either SSC or APM seem to be real galaxies. A similar analysis for PDS galaxies classified as stars in both SSC and APM shows that about 70% are indeed real galaxies in CCD frames, while the remaining 30% resemble stars.

By obtaining spectra for all objects in the range $16.5 < b_j < 20.2$ in an area containing the Fornax cluster field, Drinkwater et al. (1999) identified some compact galaxies that were classified as stars in the APM catalog. Drinkwater et al. (1999) also showed that these galaxies tend to have blue colors, high luminosities, and strong emission lines. In the case of galaxies misclassified as stars in the SSC, although some may be indeed this kind of object, compact galaxies cannot account for all. The two objects for which we have spectra do indeed present emission lines (Fig. 6), but cannot be considered being particularly strong. The luminosities of these galaxies are in general smaller than the Drinkwater et al. (1999) compacts. The galaxies misclassified in the SSC have colors that are spread over the range $0.5 \leq b_j - R \leq 2.5$, while the Drinkwater et al. (1999) galaxies are, in general, bluer ($0.2 \leq b_j - R \leq 1.4$).

4. DISCUSSION

From the analyses presented in the previous section, we conclude that the success rate for the classification of faint objects by the high-speed machines COSMOS and APM is smaller than that in catalogs derived from CCD photometry and from PDS scans. Both the SSC and the APM begin to loose galaxies around $b_j = 19.5$.

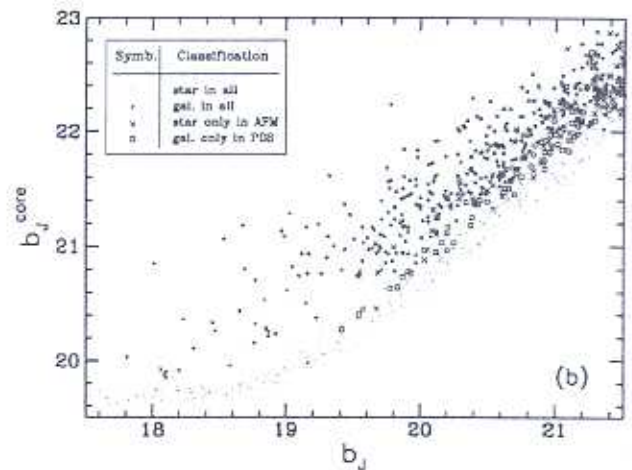
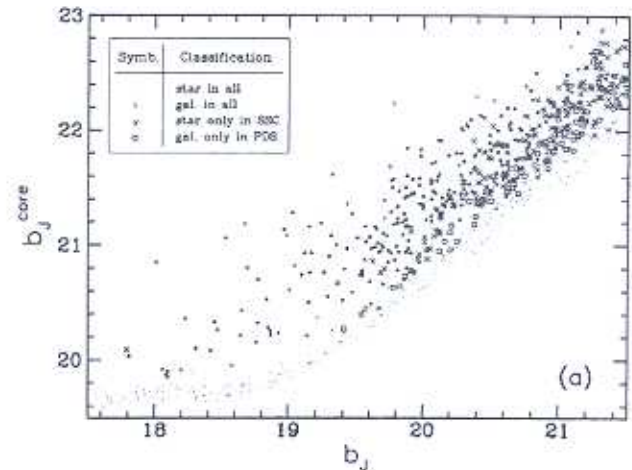


FIG. 6.—Distribution of core magnitudes (relative to the brightness of the nine central pixels in the object's image) against total magnitudes: (a) comparison between SSC and PDS and (b) comparison between APM and PDS.

As the PDS data are extracted from the same material (the facts that SSC and APM come from glass copies of the original plates and that the PDS catalog comes from a film one does not affect the instrumental resolution significantly), we are led to suppose that the discrepancy in efficiency may be related to the digitization process and/or the classification algorithms and procedures. Concerning digitization, the different resolutions may partially explain the lower efficiency of SSC, since the effective resolution (pixel size combined with sampling rate) used for this

TABLE 6
RESULTS OF KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST FOR THE COLOR INDEX DISTRIBUTIONS*

PDS GALAXIES	NUMBER	× GALAXIES IN ALL (139)		× STARS IN ALL (177)	
		KS	P_{KS}	KS	P_{KS}
Stars in SSC only	91	0.091	75.5	0.158	10.1
Stars in APM only	53	0.082	95.8	0.132	47.9
Stars in both SSC and APM	45	0.225	6.4	0.178	20.7
Galaxies in all	139	0.029	100.0	0.187	0.9

* The numbers in parentheses refer to the size of each sample.

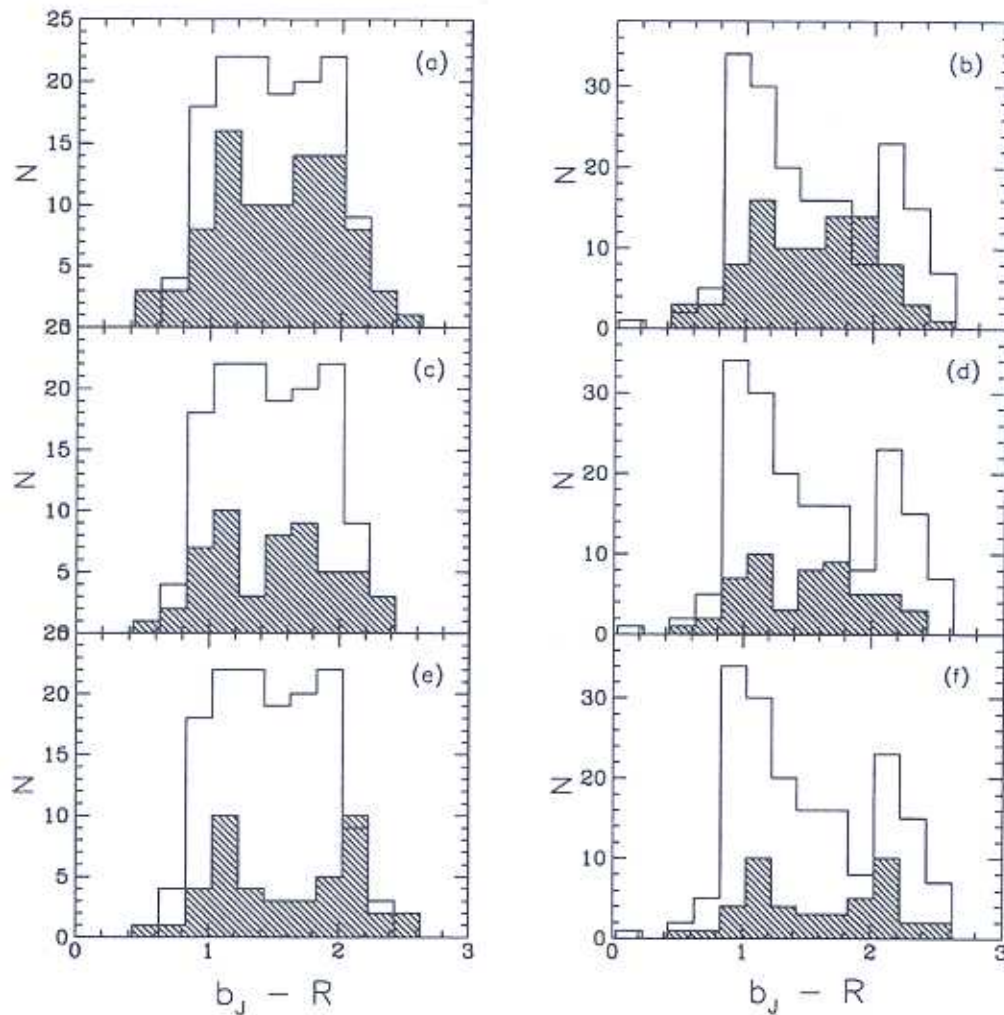


FIG. 7.—Color index histograms for the three groups of misclassified PDS galaxies (shaded) compared with those of galaxies in all catalogs (blank left) and stars in all catalogs (blank right). (a–b) Stars in SSC only. (c–d) Stars in APM only. (e–f) Stars in both.

catalog is 1.5 times lower than that of the PDS and 2 times lower than the APM. Another effect that could explain the misclassified galaxies may be related to the classification procedures. The SSC, for example, uses the so-called parametric classifier, which takes into account the scatter of certain combinations of parameters, such as the area and the maximum intensity, with the magnitude. On the other hand, the classifications of the PDS catalog come from

FOCAS, which uses the “resolution” classifier of Valdes (1982). This classifier is based on the point-spread function (PSF) of stellar profiles in the image, and, in the case of the PDS scans, the PSF was optimized specifically for this region of the plate. Our results are thus in accordance with those of Weir & Picard (1992), who found that the “resolution” approach achieves a better performance than the “parametric” approach used by the SSC (and

TABLE 7
EXAMPLES OF PDS AREA OBJECTS THAT ARE IN THE CCD IMAGES

OBJECT	COORDINATES		CLASSIFICATION ^a		b_J MAGNITUDE		$a \times b$ ^b
	α_{2000}	δ_{2000}	PDS	SSC	PDS	SSC	
1.....	23 07 44.23	-22 26 31.8	g	2	20.23	19.37	3.3×2.3
2.....	23 07 43.51	-22 33 32.5	g	2	20.37	19.72	3.4×2.2
3.....	23 07 41.46	-22 43 19.5	g	2	20.38	19.58	2.8×2.5
4.....	23 07 48.31	-22 28 16.1	g	2	20.39	19.82	3.3×2.2
5.....	23 07 34.71	-22 42 07.3	g	2	20.46	19.51	3.9×2.1

NOTE.—Units of right ascension are hours, minutes, and seconds, and units of declination are degrees, arcminutes, and arcseconds.

^a Code g or 1 means galaxy; s or 2 means star.

^b Major (a) and minor (b) axes in arcseconds.

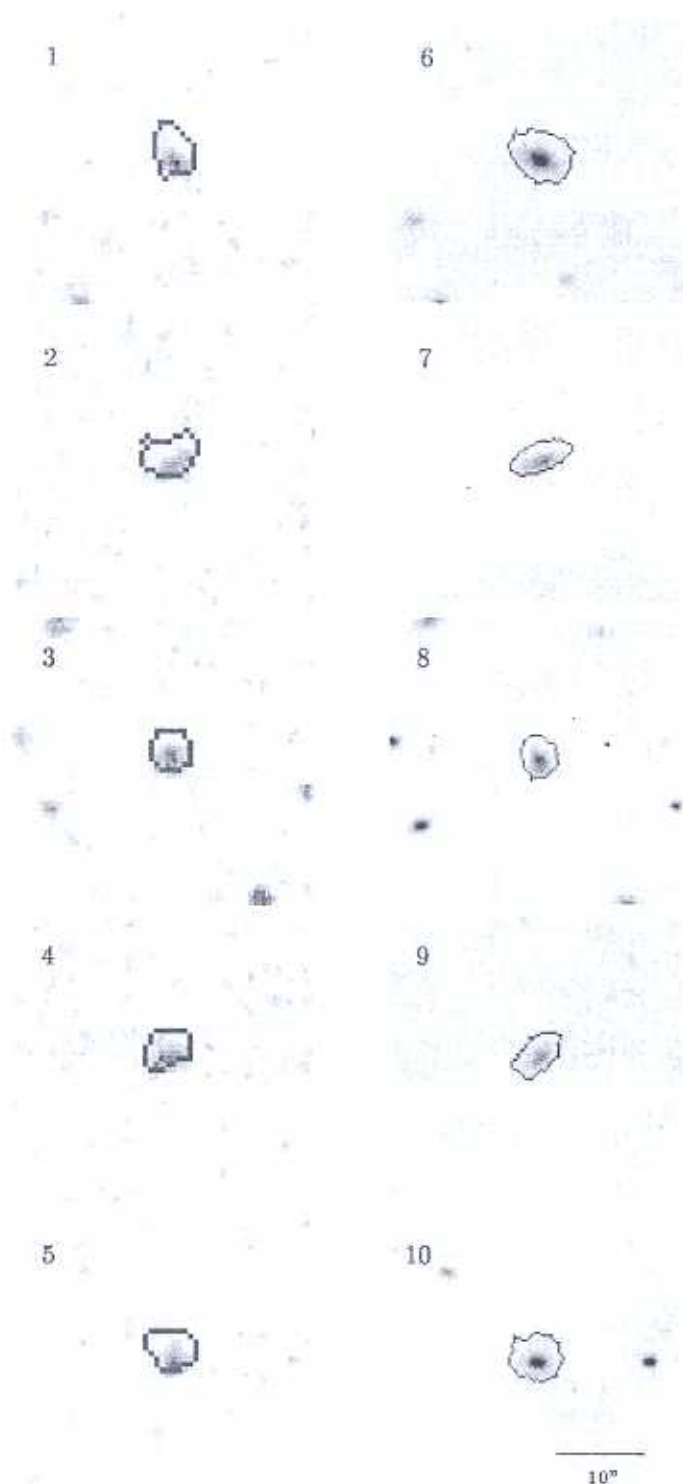


FIG. 8.—PDS and CCD images for galaxies misclassified as stars in SSC only. The contours are FOCAS isophotes (displaced one pixel up).

COSMOS). The profile classification of APM may also be considered a "parametric" procedure.

Even though the digitization resolution seems to be the dominant factor to jeopardize the classification efficiency, we are not able to produce a controlled experiment, involving all the processes on the same data, to determine the

relevance of the instrumental resolution and the classification algorithms.

5. SUMMARY

We have compared high-speed machine-based catalogs that are available on-line, SSC and APM, with catalogs

generated from a slow machine, PDS, and from CCD data (EIS). Each of the catalogs used independent algorithms for detection and classification of object images.

The comparison with the PDS catalog gave the qualitative results: the scanning resolution and/or the nature of the classification algorithm may determine the efficiency of the machine to separate galaxies and stars. With the same photographic material, the PDS 0.7 sampling rate and FOCAS "resolution" classifier achieved a better performance than the SSC 1.1 sampling rate and the "parametric" classifier. APM, although not tested for the same plate material, with a 0.5 sampling rate and a classifier similar to the "parametric" one achieved intermediate results.

The comparison with EIS is the most robust and gives us some quantitative results. Concerning the galaxy photometry, we find that calibrated data from the SSC have a linear magnitude system and a small dispersion, about 0.2 mag. The APM data also present this small dispersion but, because they are not calibrated photometrically and have had a stellar source correction applied, they cannot be taken at face value. We find that APM galaxy magnitudes do not follow a linear relation and require second-order corrections. The SSC catalog is 90% complete for galaxies down to $b_j = 19.5-20.0$, beyond which the completeness drops rapidly. The APM catalog is 90% complete for galaxies down to $b_j = 20.5-21.0$. These completenesses become slightly lower when a cluster field is considered due to the higher proportion of early-type galaxies, which, because of their steeper profiles, are more likely to be misclassified as stars. The misclassified galaxies encompass a large color

range ($0.5 \leq B_j - R \leq 2.5$), which includes typical colors of blue high-luminosity star-forming compacts to those of normal early-type galaxies. Our results also show that for the high galactic latitude fields we considered, the proportion of stars misclassified as galaxies is less than 3% up to the adopted magnitude limit.

Although these results were obtained in two small areas of the sky, they demonstrate that both the SSC and APM catalogs are valuable resources for extragalactic research once their limitations are taken into account.

We would like to thank the staff and night assistants of OPD/LNA, CASLEO, and ESO; the AAO for providing the SSC and the IoA/Cambridge for providing the APM. We are also grateful to G. Pizzaro for taking our ESO plates; M. Irwin for providing the digitization; P.S.S. Pellegrini for valuable suggestions and discussions; and H.T. MacGillivray for helpful comments. We also acknowledge the anonymous referee whose comments and suggestions improved a previous version of this paper. This research has made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED), which is operated by the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with NASA. The authors acknowledge use of the CCD and data acquisition system supported through US National Science Foundation grant AST 90-15827 to R. M. Rich. C. A. C. acknowledges financial support from CNPq and CAPES scholarships, M. A. G. M. to CNPq grant 301366/86-1, and C.N.A.W. to CNPq grant 301364/86-9 and NSF AST 95-29028.

REFERENCES

- Abell, G. O. 1961, *AJ*, 66, 607
 Beard, S. M., MacGillivray, H. T., & Thanisch, P. F. 1990, *MNRAS*, 247, 311
 Bertin, E., & Arnouts, S. 1996, *A&AS*, 117, 393
 Bessell, M. S. 1990, *PASP*, 102, 1181
 Blair, M., & Gilmore, G. 1982, *PASP*, 94, 742
 Bunclark, P. S., & Irwin, M. J. 1984, In *Astronomy with Schmidt-Type Telescopes*, ed. M. Capaccioli (Reidel: Dordrecht), 147
 Ciardullo, R., Ford, H., & Harms, R. 1985, *ApJ*, 293, 69
 Cunow, B., & Wargau, W. F. 1994, *A&AS*, 107, 277
 Drinkwater, M. J., Barnes, D. G., & Ellison, S. L. 1995, *Proc. Astron. Soc. Australia*, 12, 248
 Drinkwater, M. J., Phillipps, S., Gregg, M. D., Parker, Q. A., Smith, R. M., Davies, J. I., Jones, J. B., & Sadler, E. M. 1999, *ApJ*, 511, 97
 Escalera, F., & MacGillivray, H. T. 1995, *A&A*, 298, 1
 Hawkins, M. R. S. 1988, In *Lecture Notes in Physics*, 310, Large Scale Structures in the Universe: Observational and Analytical Methods, ed. W. C. Seitter, H. W. Duebeck, & M. Tacke (Berlin: Springer), 285
 Heydon-Dumbleton, N. H., Collins, C. A., & MacGillivray, H. T. 1989, *MNRAS*, 238, 379
 Jarvis, J. F., & Tyson, J. A. 1981, *AJ*, 86, 476
 Kibblewhite, E. J., Bridgeland, M. T., Bunclark, P., & Irwin, M. J. 1984, In *Astronomical Microdensitometry*, ed. D. A. Kinglesmith (NASA CP-2317), 277A
 Landolt, A. U. 1992a, *AJ*, 104, 340
 Landolt, A. U. 1992b, *AJ*, 104, 372
 Lumsden, S. L., Collins, C. A., Nichol, R. C., Eke, V. R., & Guzzo, L. 1997, *MNRAS*, 290, 119
 MacGillivray, H. T., & Stobie, R. S. 1984, *Vistas Astron.*, 27, 433
 Maddox, S. J., Efstathiou, G., & Loveday, J. 1988a, In *IAU Symp. 130, Large Scale Structures of the Universe*, ed. J. Audouze, M.-C. Peletan, & A. Szalay (Dordrecht: Kluwer), 151
 Maddox, S. J., Efstathiou, G., & Sutherland, W. J. 1990a, *MNRAS*, 246, 433
 Maddox, S. J., Loveday, J., Sutherland, W. J., Efstathiou, G. 1988b, In *Lecture Notes in Physics*, 310, Large Scale Structures in the Universe: Observational and Analytical Methods, ed. W. C. Seitter, H. W. Duebeck, & M. Tacke (Berlin: Springer), 90
 Maddox, S. J., Sutherland, W. J., Efstathiou, G., & Loveday, J. 1990b, *MNRAS*, 243, 692
 Metcalfe, N., Fong, R., & Shanks, T. 1995, *MNRAS*, 274, 769
 Metcalfe, N., Shanks, T., Fong, R., & Jones, L. R. 1991, *MNRAS*, 249, 498
 Nichol, R. C., Collins, C. A., Guzzo, L., & Lumsden, S. L. 1992, In *Digitised Optical Sky Surveys*, ed. H. T. MacGillivray & E. B. Thomson (Dordrecht: Kluwer), 335
 Nonino, M., et al. 1999, *A&AS*, 137, 51
 Prandoni, I., et al. 1998, *A&A*, 345, 448
 Thanisch, P. F., McNally, B. V., & Robin, A. 1984, *Image and Vision Comp.*, 2, 191
 Unewisse, A. M., Hunstead, R. W., & Piestrzynski, B. 1993, *Proc. Astron. Soc. Australia*, 10, 229
 Valdes, F. 1982, *Proc. SPIE*, 331, 465
 Weir, N., & Picard, A. 1992, In *Digitised Optical Sky Surveys*, ed. H. T. MacGillivray & E. B. Thomson (Dordrecht: Kluwer), 225
 Yentis, D. J., Cruddace, R. G., Gursky, H., Stuart, B. V., Wallin, J. F., MacGillivray, H. T., & Collins, C. A. 1992, In *Digitised Optical Sky Surveys*, ed. H. T. MacGillivray & E. B. Thomson (Dordrecht: Kluwer), 67

Note added in proof.—(1) In a paper of G. A. Mamon (astro-ph/9908163), in which he compares the SSC data with that of the DENIS *IJK* Survey, in the range $13 < b_j < 17.5$, he finds that the completeness of SSC is less than 80% at $b_j = 17.5$ and even worse for magnitudes brighter than this. These results corroborate ours and are complementary for the brighter magnitudes.

(2) Recent spectroscopic observations for the other three misclassified galaxies in Table 5 (objects 7, 8, and 10) confirmed their galactic nature, with redshifts 0.0772, 0.1599, and 0.1214, respectively, all obtained at the ESO 1.52 m telescope, Chile.

Apêndice B

Os Superaglomerados de Aquarius I

Nesse artigo apresentamos os primeiros resultados da análise da região de Aquarius, incluindo a detecção de aglomerados pelos métodos apresentados no Capítulo 4, a lista de candidatos a aglomerados e a identificação dos superaglomerados pela técnica de percolação.

THE AQUARIUS SUPERCLUSTERS. I. IDENTIFICATION OF CLUSTERS AND SUPERCLUSTERS¹

CÉSAR A. CARETTA,² MARCIO A. G. MAIA,² WATARU KAWASAKI,^{3,4} AND CHRISTOPHER N. A. WILLMER^{2,5}

Received 2001 August 1; accepted 2001 November 26

ABSTRACT

We study the distribution of galaxies and galaxy clusters in a $10^\circ \times 6^\circ$ field in the Aquarius region. In addition to 63 clusters in the literature, we have found 39 new candidate clusters using a matched-filter technique and a counts-in-cells analysis. From redshift measurements of galaxies in the direction of these cluster candidates, we present new mean redshifts for 31 previously unobserved clusters, while improved mean redshifts are presented for 35 other systems. About 45% of the projected density enhancements are due to the superposition of clusters and/or groups of galaxies along the line of sight, but we could confirm for 72% of the cases that the candidates are real physical associations similar to the ones classified as rich galaxy clusters. On the other hand, the contamination due to galaxies not belonging to any concentration or located only in small groups along the line of sight is $\sim 10\%$. Using a percolation radius of $10 h^{-1}$ Mpc (spatial density contrast of about 10), we detect two superclusters of galaxies in Aquarius, at $z \sim 0.086$ and 0.112 , respectively, with five and 14 clusters. The latter supercluster may represent a space overdensity of about 160 times the average cluster density as measured from the Abell et al. cluster catalog and is possibly connected to a $40 h^{-1}$ Mpc filament from $z \sim 0.11$ to 0.14 .

Key words: galaxies: clusters: general — large-scale structure of universe — surveys

1. INTRODUCTION

Superclusters of galaxies are the largest known systems of galaxies and are representative of the largest expected fluctuations in the primordial spectrum. Furthermore, since perturbations on supercluster scales are likely still in a linear growth regime, they have not reached a state of equilibrium and are probably in the phase of condensing out of the Hubble flow, so they may have imprints of the processes that occurred during their formation (West 1989). Thus, their study may ultimately give some clues about the nature of density fluctuations and also of the formation and evolution of galaxies and clusters. The orientation of galaxies relative to other galaxies as well as the system within which they are embedded also produce estimates of the amount of dark matter inside larger volumes. By characterizing the observed supercluster properties, it is possible to place constraints that must be satisfied by any successful theory that explains the formation and evolution of galaxies and the large-scale structures they are embedded in.

So far there have been two approaches used in the identification of superclusters. One searches for significant density enhancements in the spatial distribution of galaxies (e.g., Tully 1982; Basilakos, Plionis, & Rowan-Robinson 2001), which requires a relatively high redshift sampling rate, while

the other uses clusters of galaxies (or even of quasars) to delineate these structures. In either case, because of the large-scale sizes of superclusters, as well as the difficulty of defining supercluster membership, the characteristic properties of these systems are very uncertain and thus somewhat inconclusive. For instance, it is not clear whether superclusters have already reached their maximum expansion phase and are now collapsing. Supercluster masses are also highly uncertain, with estimates ranging from 10^{15} to $10^{17} h^{-1} M_\odot$ ($h = H_0/100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$; e.g., Small et al. 1998; Barmby & Huchra 1998; Bardelli et al. 2000). The derived estimates for mass-to-light ratios imply Ω_M of about 0.2–0.4 of the critical value (Postman, Geller, & Huchra 1988; Quintana et al. 1995; Small et al. 1998; Barmby & Huchra 1998).

In this paper we analyze the distribution of galaxy clusters in a region of $10^\circ \times 6^\circ$ located in the direction of the Aquarius constellation. This region contains two large concentrations of such systems identified by Abell (1961), named SC 16 and SC 17, which are among the richest superclusters in that catalog. This concentration of galaxies has also been identified by more recent works using objective criteria applied to catalogs of clusters (e.g., West 1989; Einasto et al. 1997; Einasto et al. 2001a, 2001b). In general, these works have used cluster catalogs for which the redshifts are based on either the 10th brightest galaxy (m_{10} -distance relation) or a very small number of spectroscopic measures per cluster.

The first targeted study of clusters in the Aquarius region was carried out by Ciardullo, Ford, & Harms (1985), who, by using spectroscopic redshifts of the brightest cluster galaxies, claimed that SC 16 was a superposition of 22 clusters with $0.08 < z < 0.24$. A more extensive study of the distribution of galaxies in this region was carried out by Batuski et al. (1999, hereafter B99), who obtained redshifts for a sample of clusters in a $10^\circ \times 45^\circ$ strip of sky, including Aquarius and Eridanus supercluster candidate regions. In the region of Aquarius that we are considering in this work B99 measured about 200 redshifts around 11 clusters.

¹ Partly based on observations at the European Southern Observatory (ESO), under the ESO-ON agreement to operate the 1.52 m telescope, Observatório do Pico dos Dias, operated by the Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA); and Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), operated under agreement between the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas de la República Argentina and the National Universities of La Plata, Córdoba and San Juan.

² Departamento de Astronomia, Observatório Nacional/MCT, Rua General José Cristino 77, 20921-400 Rio de Janeiro, Brazil; caretta@on.br, maia@on.br, cnaw@ucolick.org.

³ Department of Astronomy, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan; kawasaki@astron.s.u-tokyo.ac.jp.

⁴ JSPS Postdoctoral Fellow

⁵ UCO/Lick Observatory, University of California, Santa Cruz, Santa Cruz, CA 95064.

TABLE 1
PHOTOMETRIC CATALOGS

Catalog	Source	Band	Digitization ^a	Sampling Rate (arcsec)	Seeing (arcsec)
SSC.....	UKST/ESO plates	b_J	COSMOS	1.08	<3 ^b
AqrR.....	ESO Schmidt films	R	APM	0.54	1.5

^a Including object detection and classification.

^b Typical seeing for UKST survey plates (Heydon-Dumbleton, Collins, & MacGillivray 1989).

Using the cluster redshifts available at that time, B99 found a filamentary supercluster made up of 14 $\mathcal{R} \geq 1$ Abell clusters (where \mathcal{R} is the richness class, as defined by Abell 1958), with an estimated extension of about $110 h^{-1}$ Mpc, oriented almost along the line of sight. They also find a "knot" of five clusters at $z \sim 0.11$ that represents an overdensity about 150 times greater than the mean spatial density for $\mathcal{R} \geq 1$ clusters. Until now, effectively, only the richest Abell clusters were used to study this region. Our goal in this work is to study the distribution of galaxies in this region, by considering systems not only in rich clusters but also in lower density contrast candidate systems, identified using objective criteria.

2. PHOTOMETRIC DATA

In this paper we analyze the galaxy distribution in the region enclosed by the limits in right ascension of $22^{\text{h}}57^{\text{m}}0 < \alpha_{2000.0} < 23^{\text{h}}38^{\text{m}}6$ and declination of $-25^{\circ}54' < \delta_{2000.0} < -19^{\circ}29'$, located in the Aquarius constellation, containing SC 16 and SC 17. The catalog is derived from APM scans of R-band films taken with the ESO Schmidt telescope, supplemented by b_J data from the COSMOS/UKST Southern Sky Object Catalog (SSC; Yentis et al. 1992; Drinkwater, Barnes, & Ellison 1995), which was obtained on-line from the Anglo-Australian Observatory⁶ and the Naval Research Laboratory/Royal Observatory of Edinburgh.⁷ Catalog characteristics are summarized in Table 1.

⁶ See <http://www.aao.gov.au/index.html>.

⁷ See http://xip.nrl.navy.mil/www_rsearch/RS_form.html.

The R magnitudes are defined from the combination of the 4415 Tech-Pan emulsion plus RG630 filter. Prior to the photometric calibration, the plates were placed on a uniform instrumental system following Maddox, Efstathiou, & Sutherland (1990) and then corrected to a common zero point. The uncertainty in the zero-point determination is ~ 0.13 mag. The instrumental magnitudes were then calibrated with CCD data for a sequence of 18 galaxies, five measured at the 1.60 m telescope of the Observatório do Pico dos Dias (OPD, Brasópolis, Brazil) and 13 from Cunow & Wargau (1994). The five galaxies measured at OPD are listed in Table 2. The (2OG570+3KG3) filters reproduce the Cousins R_C magnitude system (Bessell 1990). The Cunow & Wargau (1994) galaxies are also in this system. The rms in the calibration relation is of about 0.1 mag, for the magnitude range $15.9 \leq R \leq 19.3$, as can be seen in Figure 1. As an independent check on the photometric calibration, in Figure 2 we plot the number counts in the Aquarius region and those of Jones et al. (1991), Bertin & Dennefeld (1997), Kümmel & Wagner (2001), and Yasuda et al. (2001). The completeness of this catalog (i.e., unambiguous identification of objects as galaxies) is estimated to be of 90% around $R = 18.5$ and 80% around 19.0. Most of the misclassified galaxies at these limits are objects classified by the APM algorithm as "merged." The detection limit is around $R = 19.5$, while the estimated optimal range of magnitudes for these data is $17 < R < 19$. The figure suggests that there might be a lack of galaxies at magnitudes brighter than $R = 17.5$. This is partly due to the misclassification of brighter galaxies as merged objects, as well as to a low space density of nearby galaxies. On the other hand, for magnitudes fainter than this limit the counts are higher than

TABLE 2
GALAXIES OBSERVED AT THE OPD 1.6 m TELESCOPE USED FOR CALIBRATION OF ESO/APM R
PHOTOGRAPHIC DATA

OBJECT	COORDINATES (J2000.0)		$R_{26.5}^a$	b_J	$b_J - R$	z	OBSERVATION ^b
	α	δ					
1.....	23 07 41.46	-22 42 39.0	16.27	18.20	1.96	0.1998	1, 2
2.....	23 07 37.93	-22 43 05.2	16.81	18.12	1.18	0.1916	1, 3
3.....	23 07 42.49	-22 43 49.9	16.97	18.86	1.81	0.1698	3
4.....	23 07 37.78	-22 42 15.3	17.92	19.64	1.69	0.1999	4
5.....	23 07 41.29	-22 44 05.9	18.06	19.89	1.94	0.2009	4

NOTE.—Units of right ascension are hours, minutes, and seconds, and units of declination are degrees, arcminutes, and arcseconds.

^a Considered total isophote: $26.5R$ mag arcsec⁻².

^b Site of spectroscopic observation or reference: (1) Steiner, Grindlay, & Maccacaro 1982; (2) CASLEO 2.15 m telescope, Argentina; (3) Ciardullo et al. 1985; (4) ESO 1.52 m telescope, Chile.

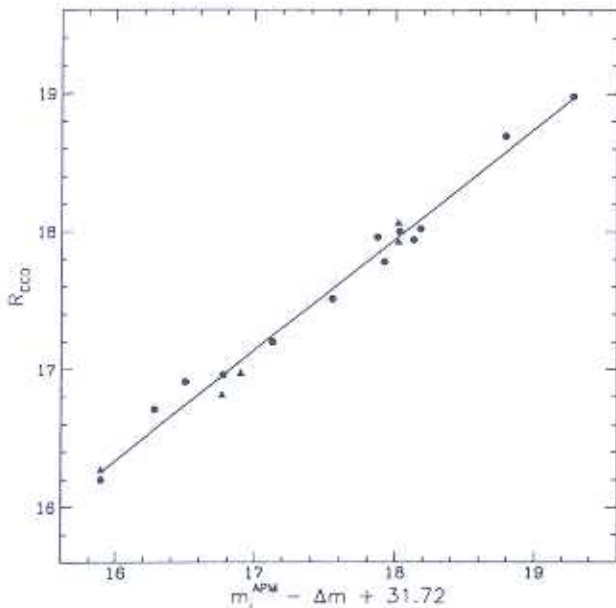


FIG. 1.— R magnitude calibration: filled triangles are magnitudes from the OPD 1.60 m telescope, and filled circles are from Cunow & Wargau (1994). Magnitudes in the ordinate are instrumental APM magnitudes corrected for plate-to-plate zero-point offsets.

expected, which may indicate the presence of large-scale structures.

The b_J magnitudes result from the combination of IIIa-J emulsion with the GG395 filter used in the UKST Survey. The calibration of galaxy magnitudes was done using existing CCD photometry in B and V (Yentis et al. 1992). By

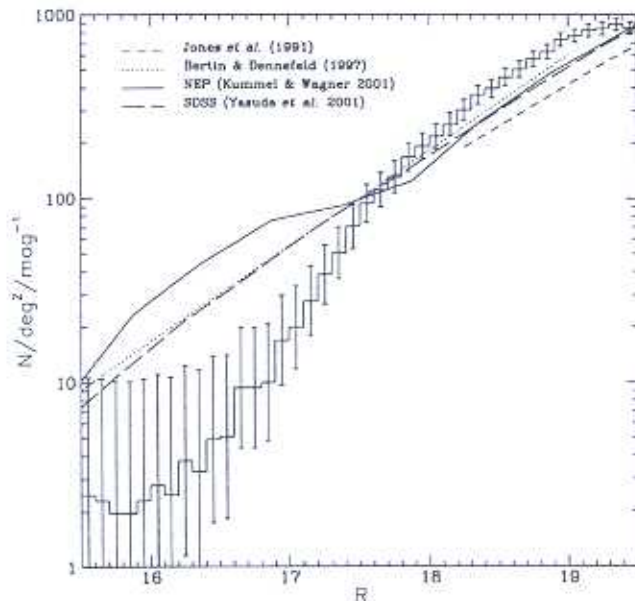


FIG. 2.—Galaxy number counts in R for the Aquarius region considered in this work. The detection limit is around $R = 19.5$, but last bins are underestimated as a result of misclassification. The curves show the measured number counts for different sources as noted in the figure. The overdensity in the NEP counts below $R = 17.5$ is an artifact of original data.

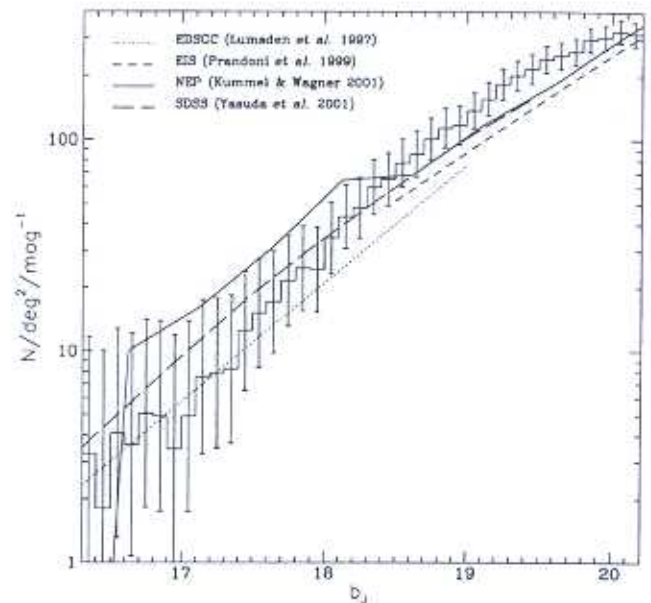


FIG. 3.—Distribution of galaxy b_J magnitudes. The curves show the counts measured in the EIS/south Galactic pole catalog (EDSGC), the north ecliptic pole (NEP) survey, and the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) commissioning data. The loss of galaxies due to incorrect classification is responsible for the shortening of last bins, since the detection limit of SSC is deeper (around $b_J = 21.5$).

comparing such magnitudes with ESO Imaging Survey (EIS; Prandoni et al. 1999) data, Caretta, Maia, & Willmer (2000) find that they have an rms error of 0.2 mag in the range $17.0 < b_J < 21.5$. The completeness level varies from about 90% at $b_J = 19.5$ – 20.0 to $\sim 80\%$ at 20.0 – 20.5 . Hence, we consider in this work only SSC galaxies brighter than $b_J = 20.2$, limiting the loss of galaxies at about 15%. The distribution of the galaxy b_J magnitudes is shown in Figure 3. Also plotted are the expected galaxy number counts as estimated for the Edinburgh-Durham Southern Galaxy Catalogue (EDSGC; Lumsden et al. 1997), covering the south Galactic cap; for the EIS, covering the south Galactic pole region; for the north ecliptic pole (NEP) region (Kummel & Wagner 2001); and for the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) commissioning data (Yasuda et al. 2001). The same conclusion taken from Figure 2 can be drawn from Figure 3, since the excess in the distribution for galaxies fainter than $b_J = 18.5$ is also present.

We matched the b_J galaxies with all objects in the R catalog using a search radius of $5''$, which is an optimal tolerance given the density of the catalogs, which simultaneously increased the match success and almost eliminated the possibility of double matches. Astrometric uncertainties in both catalogs are smaller than $1''$, while systematic deviations between them are not larger than $0''.4$ in α and $0''.1$ in δ . About 90% of the SSC galaxies had counterparts in the R catalog. From these, about 70% were also classified as galaxies in the R catalog and 25% as merged. The distribution of color indexes, $b_J - R$, for Aquarius galaxies⁸ is shown in Figure 4.

⁸ The complete photometric catalog of Aquarius is available on request to the authors.

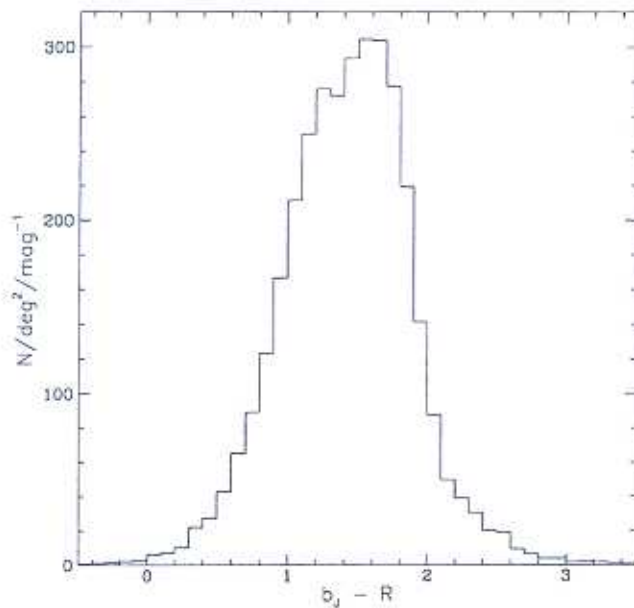


FIG. 4.—Distribution of color indexes for Aquarius. Mean color is 1.43, with a standard deviation of 0.46.

3. SELECTION OF SPECTROSCOPIC TARGETS

Given the large number of potential candidates for spectroscopic observations, we narrowed down the sample of galaxies to objects that are likely members of groups and clusters. This was done by using catalogs of clusters presented in the literature, as well as by applying two different algorithms to the projected distribution of galaxies, in order to detect slightly lower density enhancements from which potential poor clusters and groups of galaxies might be identified. For each identified aggregate of galaxies (cluster/group) we have searched for surface density peaks inside the estimated Abell radius. From a $10' \times 10'$ field centered on each peak, we selected about the 15 brightest galaxies as spectroscopic targets.

3.1. Catalogs of Clusters from the Literature

The Aquarius region contains 48 clusters originally identified by Abell (1958), comprising systems from all richness (\mathcal{R}) and distance classes. From the Abell, Corwin, & Olowin (1989) (ACO) catalog, seven additional rich southern clusters and three supplementary ones are found.

Two other catalogs, both machine based, have clusters in the Aquarius region: the Edinburgh-Durham Cluster Catalog (EDCC; Lumsden et al. 1992) and the Automatic Plate Measuring machine Cluster Catalog (APMCC; Dalton et al. 1997). The former covers only about half of the Aquarius region (35 deg^2), with 18 cataloged clusters, most of them (15) corresponding to Abell/ACO clusters. The APMCC, on the other hand, fully covers the Aquarius region, where 17 clusters are found, 15 of which are also in the Abell/ACO catalogs.

Although X-rays are one of the most efficient means of detecting rich clusters of galaxies, there are still few cluster candidates in the Aquarius region with confirmed X-ray emission. X-rays have been detected in 13 Abell/ACO clusters by the *ROSAT* All-Sky Survey (RASS; Ebeling et al. 1996, 1998), *HEAO 1* (Ulmer et al. 1981; Wood et al. 1984),

and the *Einstein Observatory* (*HEAO 2*; Abramopoulos & Ku 1983; Gioia et al. 1990; Elvis et al. 1992; Oppenheimer, Helfand, & Gaidos 1997). In general, these X-ray detections may be considered as corroborative to the reality of such galaxy clusters.

3.2. Clusters from the Matched-Filter Algorithm

In order to identify new significant galaxy density enhancements, we applied the matched-filter technique described by Kawasaki et al. (1998) to the galaxy catalogs discussed in § 2. The matched filter is a maximum likelihood-based method that objectively identifies two-dimensional density enhancements by considering projected positions and apparent magnitudes. Basically it uses a filter that suppresses galaxy fluctuations that are not due to galaxy clusters. As discussed by Postman et al. (1996), this method is optimized to detect weak signals in a noise-dominated background and has a good dynamic range, besides being able to suppress false detections. The price that is paid for this is that one must assume a parametric form for both the cluster luminosity function and its radial profile.

In the case of the galaxy distribution in Aquarius, the filter assumes a spherically symmetric King (1966) model with core (r_c) and tidal (r_{tidal}) radii such that $\log(r_{\text{tidal}}/r_c) = 2.25$ (Kawasaki et al. 1998). The Schechter function parameters were fixed as follows: $\alpha = -1.25$, $M_{b_J}^* = -19.85 + 5 \log h$, and $M_R^* = -21.3 + 5 \log h$, these values being typical of poor clusters of galaxies (Valoto et al. 1997). For the K -corrections, the fitting formulae for E/S0 galaxies defined by Shanks et al. (1984) were used. Other parameters that are considered by the matched filter are the cluster redshift, z_{fil} , and its richness, \mathcal{N}_{MF} . The \mathcal{N}_{MF} is defined as the number of member galaxies with magnitudes brighter than ($m^* + 5$) and within the central $1.5 h^{-1}$ Mpc. In the present analyses, all parameters except z_{fil} , \mathcal{N}_{MF} , and r_c are basically fixed.

When computing the likelihood for the Aquarius region, the models of the spatial and luminosity distributions of the filter were compared to the actual galaxy distribution considering only those galaxies within a circular region with 0.2 radius and in the magnitude range of $16.0 < b_J \leq 20.2$ and $17.0 < R \leq 19.5$ for the b_J and R data, respectively. In the first step of the procedure, we fix (z_{fil}, r_c) at $(0.2, 50 h^{-1} \text{ kpc})$ and tune only \mathcal{N}_{MF} in order to maximize the likelihood at each given point and to simplify the calculation. The likelihood and corresponding \mathcal{N}_{MF} were computed at all lattice points separated by 0.02 to make a "likelihood map" and a "richness map." Because of the simpler appearance of clusters in the richness map, we use the latter to detect clusters (see Fig. 2 of Kawasaki et al. 1998). Next, we smooth the raw richness map with a Gaussian filter with $\sigma = 0.1$ (Fig. 5). Cluster candidates are then detected as local peaks with $\mathcal{N}_{\text{MF}} > 200$ ($\mathcal{R} \sim 0$) in the smoothed richness map. Then z_{fil} and r_c were surveyed in the range of $0.04 \leq z_{\text{fil}} \leq 0.28$ and $10 \leq r_c \leq 400$ for b_J data and $0.06 \leq z_{\text{fil}} \leq 0.3$ and $15 \leq r_c \leq 600$ for R data to estimate the redshift and richness for each candidate. An Abell-like richness, \mathcal{C}_{MF} , was calculated from \mathcal{N}_{MF} , using the relationship between them obtained from Monte Carlo simulations. Uncertainties in these estimated quantities, also obtained from Monte Carlo simulations, are of 0.03 in redshifts and 20% for both \mathcal{N}_{MF} and \mathcal{C}_{MF} .

A total of 57 cluster candidates were identified in the b_J -band galaxy catalog. Two of these were discarded, having

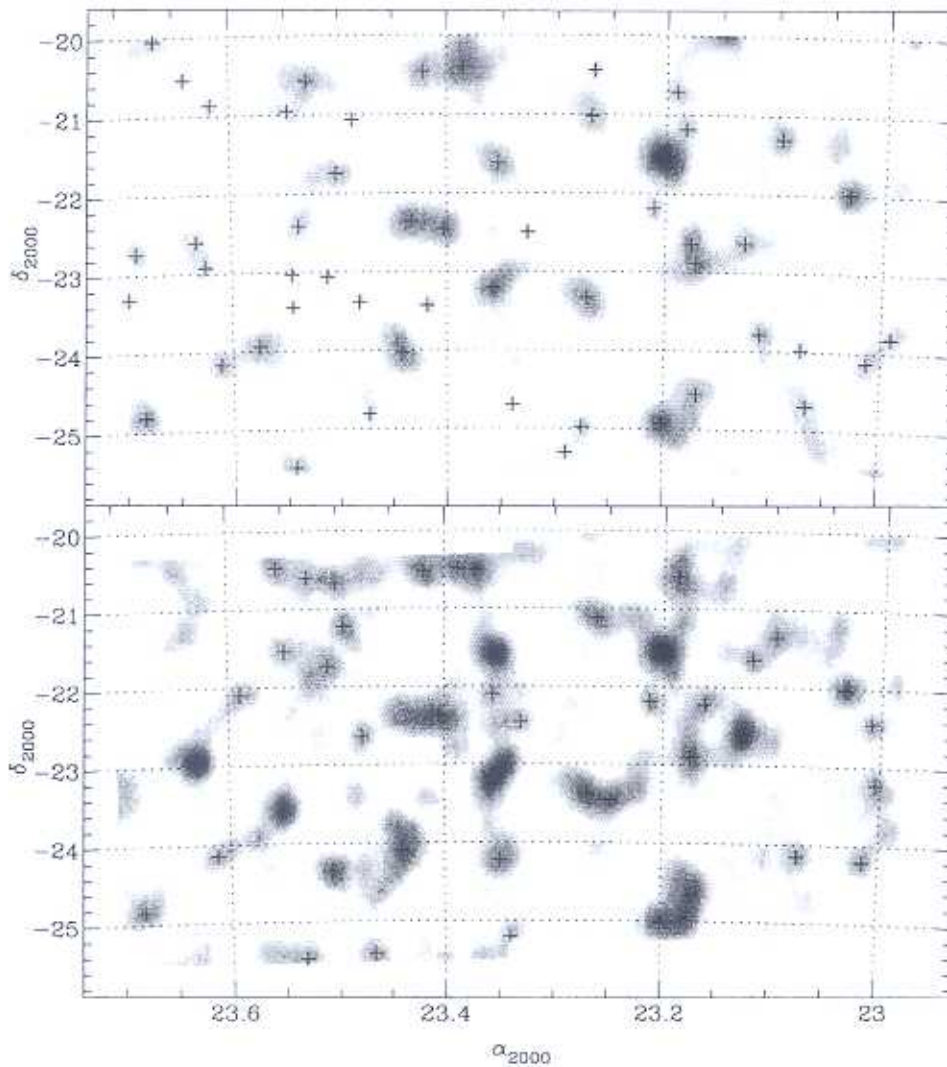


FIG. 5.—Matched-filter “richness maps” for b_J (top) and R (bottom) data. The plus signs denote cluster candidates with $\mathcal{N}_{MF} > 200$.

resulted from obvious contamination caused by bright stars. Of the remaining 55 cluster candidates, 18 are new identifications, though one is outside the region considered in this work. The richness map of this sample is shown in the top panel of Figure 5. Selected peaks, those with $\mathcal{N}_{MF} > 200$, are marked in the figure with plus signs. Since for the b_J -band galaxy catalog the optimal magnitude range covers $16.0 < b_J < 20.2$, redshifts of clusters at $0.04 \leq z \leq 0.16$ should have the best estimation.

The R -band galaxy catalog shows 44 detections, of which 26 are in common with the b_J -band matched-filter catalog. Of these, only one has not been previously detected in Abell, ACO, EDCC, and APMCC. The number of new detections in the R catalog is of nine clusters. The bottom panel of Figure 5 shows the richness map of this catalog, where again peaks above $\mathcal{N}_{MF} > 200$ are marked with plus signs. Although the matched filter does provide an estimate of the cluster redshift, given the somewhat low z of the objects in Aquarius, the measured uncertainty ($\delta z/z \sim 0.25$) is too large to provide a meaningful estimate of the cluster distance.

3.3. Clusters from Galaxy Surface Overdensities (Counts-in-Cells)

As the catalogs and methods presented above were designed to search mainly for rich clusters of galaxies, we tried an additional technique to identify smaller potential aggregates of galaxies, such as poor clusters and groups. The idea is that these structures may trace lower density contrast structures such as filaments and walls, as observed in the Great Wall (Ramella, Pisani, & Geller 1997). The main limitation of this procedure is that only positional information is used, so that the rate of false detections due to foreground/background contamination is larger than with the matched-filter technique. In order to minimize the contamination from interlopers and spurious detections, we optimized the search so that the cells would cover $5'$ with a step of $2/5$, equivalent to a resolution of $0.2 h^{-1}$ Mpc at the distance in which we expect to find the most representative supercluster ($z \sim 0.11$). In addition to the cell size, we considered three samples: b_J and R data and a sample that contains only galaxies redder than $b_J - R > 1.5$, typically redder

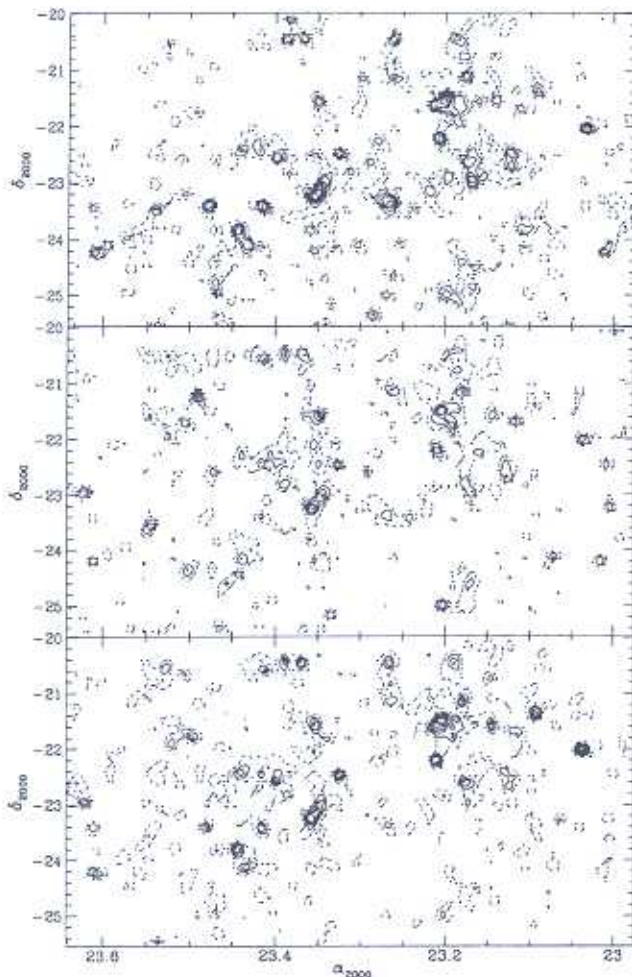


FIG. 6.—Surface density isocontour maps for Aquarius: $b_J < 20.2$ (top), $R < 19.5$ (middle), and $b_J - R > 1.5$ (bottom). The dotted level is 1.5 times the rms of the mean field galaxy density (σ_{back}). Other levels are multiples of $1.5\sigma_{\text{back}}$ counts.

than Sab (Fukugita, Shimasaku, & Ichikawa 1995), taking advantage of the fact that the morphology-density relation is also statistically valid for groups of galaxies (Maia & da Costa 1990) and that early-type galaxies are generally red. Such an approach would preferentially detect objects located in the centers of clusters and rich groups (e.g., Gladders & Yee 2000).

The efficiency of the counts-in-cells approach was estimated by running the algorithm on the Updated Zwicky Catalog (UZC; Falco et al. 1999), where the cells were optimized for a distance similar to that of the Great Wall. By comparing the results from the counts-in-cells analysis against the catalog of groups identified in the UZC by Merchán, Maia, & Lambas (2000), we find that the overall detection rate is 80% for all UZC groups ($0.007 < z < 0.050$) and greater than 90% for groups located at the distance of the Great Wall ($0.020 < z < 0.033$).

The result from this analysis for Aquarius is shown in Figure 6, where surface density isocontour maps for $b_J < 20.2$, $R < 19.5$, and $b_J - R > 1.5$ are presented in the top, middle, and bottom panels, respectively. From the three maps we selected 38 peaks presenting projected densities higher than 3 times the standard deviation of back-

ground density (σ_{back}) in the three plots (hereafter sample SD-1). Besides these conspicuous overdensities, 27 additional clumps, presenting a density contrast greater than 3 σ_{back} in two of the maps (hereafter sample SD-2), were also identified.

3.4. The Aquarius Cluster Catalog

By combining all the detections described above, we are now able to construct a catalog of galaxy aggregates, potential clusters or groups, in the region we are studying. This is presented in Table 3, where we show in column (1) the identifier in our catalog (Aquarius Cluster Catalog [AqrCC]) and in columns (2) and (3) the J2000.0 coordinates from the first catalog in which the cluster was identified. In column (4) we list the Abell identification and in column (5) the corrected number of galaxies, \mathcal{G}_{A_1} , from the ACO catalog. The EDCC numbers are listed in column (6), while column (7) contains the corrected number of galaxies according to Lumsden et al. (1992), \mathcal{G}_{ED} . The APMCC identification is presented in column (8), followed in column (9) by the cluster richness, \mathcal{G}_{APM} , and the estimated redshift, z_{APM} , in column (10). The matched-filter richness and estimated redshift are presented in columns (11) and (12) for the b_J data and in columns (13) and (14) for the R data. Column (15) notes clusters that have been identified as X-ray sources, and column (16) notes objects identified by the counts-in-cells analysis.

There are 102 cluster or group candidates identified in Table 3, of which 39 are new detections. A map showing the projected distribution of objects in Table 3 is presented in Figure 7, where it can be seen that most objects are contained in at least two catalogs of objects.

A comparison of the percentage overlap between different catalogs is shown in Table 4. The ACO and SD-2 catalogs detect, on average, about 75% and 85% of objects in the other catalogs, respectively. The SD-1, MF- B , and MF- R catalogs, on the other hand, detect about 60%–65%, while the EDCC and APMCC detect, on average, 50% and 25% of systems in the other catalogues, respectively.

4. THE CLUSTER REDSHIFTS

Redshift observations now exist for 72 of the 102 aggregates in Table 3. Cluster redshifts, both from the literature and from our new measurements, are presented in columns (17)–(22). Column (17) lists the mean cluster redshift from NED, followed by the number of redshifts used to estimate that value in column (18) and references in column (19); new cluster redshifts obtained in this work are shown in column (20), while column (21) presents the number of cluster galaxies with redshifts. Finally, column (22) indicates notes to individual clusters. The detailed parameters obtained for each observed cluster, like velocity dispersions, virial masses, richnesses, core radii, luminosities, etc., will be the subject of a forthcoming paper.

From the 72 observed cluster/group candidates, 69 resulted in a positive identification in redshift space. Of these, 31 are new cluster redshift measurements, while of the 38 with previous redshifts from the literature, 35 had additional galaxies observed in the present survey. For 12 of these clusters, the inclusion of new observations gives a mean redshift that differs from the previous published values by more than 2000 km s^{-1} . In the case of nine of these

TABLE 3
CLUSTER AND GROUP CANDIDATES IDENTIFIED IN THE AQUARIUS REGION

AqrCC (1)	COORDINATES (J2000.0)			ACO		EDCC		APMCC		MF- b_J		MF-R		LITERATURE			NEW				
	α (2)	δ (3)	Name (4)	$\%A^a$ (5)	ID ^b (6)	$\%ED$ (7)	ID (8)	$\%APM$ (9)	$\%APM$ (10)	$\%MF$ (11)	$\%MF$ (12)	$\%MF$ (13)	$\%MF$ (14)	X-RAY ^c (15)	3 σ^d (16)	$\%SED$ (17)	N_c (18)	Ref. ^e (19)	N_c (21)	Note ^f (22)	
001	22 57 52.6	-24 55 19	...	...	...	...	...	...	...	31	0.080	...	...	...	o	...	...	...	...	...
002	22 57 53.1	-21 43 56	A2509	70(1)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	...	o	0.2306	1	1	0.2305	3	
003	22 58 00.7	-20 50 56	...	...	o	...	...	...	...	32	0.090	...	...	...	o	...	...	...	0.1580	6	
004	22 58 46.4	-19 58 55	A3949	43(0)	o	...	...	...	...	61	0.114	...	...	...	o	...	...	...	0.1177	11	
005	22 59 27.6	-23 49 01	...	...	...	...	...	...	...	107	0.177	...	...	...	b	...	...	...	...	...
006	23 00 03.6	-25 35 56	...	...	...	...	...	...	...	55	0.100	...	...	...	o	...	...	...	0.0000	...	1
007	23 00 17.3	-23 11 53	A2514	64(1)	...	...	...	...	...	...	...	64	0.216	...	r	...	...	...	...	...
008	23 00 31.9	-22 26 49	...	...	...	...	...	...	...	105	0.252	...	...	...	r	...	...	...	...	...
009	23 00 47.6	-24 09 52	A2518	78(1)	231	21	...	...	...	57	0.083	80	0.207	...	b,r,c	0.1351	1	1	0.1342	7	2
010	23 02 12.7	-22 01 12	A2521	103(2)	o	...	845	77	0.117	90	0.121	50	0.109	1,2	b,r,c	0.1340	2	2	0.1364	17	
011	23 04 04.3	-24 41 20	...	...	...	...	...	...	...	58	0.133	...	...	...	...	...	...	...	...	...
012	23 04 05.2	-24 01 49	A2526	53(1)	242	73	...	...	...	55	0.157	55	0.201	...	r,c	...	...	...	0.2043	6	
013	23 04 21.8	-19 54 48	A3964	42(0)	o	...	...	...	...	44	0.100	...	...	...	o	...	...	...	0.1325	4	3
014	23 05 11.5	-25 18 48	A2527	68(1)	244	34	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.1630	7	
015	23 05 40.1	-21 23 47	A2528	39(0)	o	...	852	66	0.099	66	0.077	49	0.134	...	b,r,c	0.0955	1	1	0.0949	12	
016	23 06 58.0	-21 40 46	A2531	73(1)	o	...	...	...	...	53	0.116	...	...	...	b,r,c	0.1741	1	1	0.1731	7	
017	23 07 34.3	-22 39 45	A2534	110(2)	253	73	...	...	...	90	0.149	74	0.169	2	b,r,c	0.1976	3	1,3	0.2014	16	
018	23 07 46.2	-22 25 45	A2536	102(2)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	b,r,c	0.1971	1	1	0.1973	4	
019	23 08 27.6	-25 46 19	...	...	...	...	...	...	...	69	0.121	...	...	...	o	...	...	...	...	...
020	23 08 35.1	-19 52 29	A2538	72(1)	o	...	859	88	0.086	93	0.079	...	...	...	o	0.0831	42	4	0.0829	44	
021	23 08 45.8	-21 28 44	A2539	66(1)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r,c	0.1735	1	1	0.1863	4	4
022	23 08 53.0	-20 47 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,c	...	...	...	0.0825	6	5
023	23 09 27.9	-22 09 43	A2540	70(1)	...	...	...	...	...	...	...	61	0.195	3	r,c	0.1297	1	1	0.1290	8	
024	23 09 54.0	-21 30 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,c	...	...	...	0.1109	7	6
025	23 10 04.1	-22 57 43	A2541	83(2)	256	51	...	...	...	51	0.117	58	0.159	...	b,r,c	0.1100	2	5	0.1135	16	7
026	23 10 04.5	-24 29 43	A2542	57(1)	...	...	...	...	...	71	0.167	59	0.166	...	b,r,c	0.1603	1	1	0.1684	4	
027	23 10 27.6	-24 47 27	...	...	...	...	...	...	...	...	...	51	0.157	...	b,c	...	...	...	0.1998	5	8
028	23 10 45.9	-22 39 42	A2546	90(2)	258	41	862	63	0.108	86	0.121	...	...	...	b,r,c	0.1119	1	1	0.1130	22	7
029	23 10 51.4	-21 07 42	A2547	84(2)	o	...	...	...	...	82	0.129	...	...	...	b,r,c	0.1501	2	1,6	0.1517	15	
030	23 11 15.0	-20 47 03	...	...	...	...	...	...	...	81	0.155	...	...	...	b,r,c	...	...	...	0.1076	9	9
031	23 11 21.2	-20 25 41	A2548	65(1)	o	...	...	...	...	...	...	23	0.156	...	b,r,c	0.1101	1	1	0.1107	9	
032	23 11 24.0	-21 30 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r,c	...	...	...	...	...
033	23 11 33.5	-21 44 41	A2550	122(2)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r,c	...	...	...	...	...
034	23 12 10.0	-22 50 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	b,r,c	0.1543	1	7	0.1226	6	
035	23 12 15.1	-21 33 56	A2554	159(3)	o	...	866	112	0.102	77	0.083	64	0.100	...	b,c	...	...	...	0.1108	35	
036	23 12 22.4	-24 56 40	A2553	76(1)	264	56	...	...	...	100	0.141	70	0.167	...	b,r,c	0.1496	2	8	0.1481	4	
037	23 12 45.5	-22 12 40	A2555	72(1)	...	...	...	...	...	53	0.091	42	0.101	...	b,r,c	0.1385	1	1	0.1106	11	
038	23 13 03.3	-21 37 40	A2556	67(1)	o	...	...	...	...	...	...	...	...	2,3,4,5	b,c	0.0865	2	1,7	0.0871	9	
039	23 13 15.7	-23 08 40	S1099	17(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b	...	...	...	0.1104	12	
040	23 14 37.0	-23 26 02	...	...	...	...	...	...	...	...	...	49	0.210	...	b,r	...	...	...	0.0910	6	10
041	23 15 50.9	-21 06 37	A2565	40(0)	o	...	...	...	...	46	0.089	65	0.199	...	b,r,c	0.1271	1	1	0.0825	12	11
042	23 15 57.5	-23 19 37	A3985	36(0)	270	21	874	53	0.080	52	0.068	60	0.157	...	b,r,c	...	...	...	0.1094	17	
043	23 16 00.0	-20 51 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,c	...	...	...	...	...
044	23 16 03.2	-20 27 41	A2566	51(1)	o	...	872	42	0.086	39	0.066	...	...	5	b,c	0.0821	1	1	0.0822	11	

TABLE 3—Continued

AqCC (1)	COORDINATES (J2000.0)			ACO		EDCC		APMCC		MF- <i>b_y</i>		MF- <i>R</i>		LITERATURE			NEW					
	α (2)	δ (3)	δ (3)	Name (4)	$\%_d^a$ (5)	ID ^b (6)	$\%_{ED}$ (7)	ID (8)	$\%_{APM}$ (9)	$\%_{APM}$ (10)	$\%_{MF}$ (11)	$\%_{MF}$ (12)	$\%_{MF}$ (13)	$\%_{MF}$ (14)	X-RAYS ^c (15)	z_{ED} (16)	z_{NED} (17)	N_z (18)	Ref. ^e (19)	z_{new} (20)	N_z (21)	Note ^d (22)
045	23 16 33.6	-24 58 37	...	...	...	...	...	...	...	...	52	0.110	...	...	...	b	...	...	...	...	...	...
046	23 16 57.0	-22 11 36	...	A2568	35(0)	...	...	876	45	0.112	...	...	...	...	...	b,c	0.1398	1	1	0.1397	6	...
047	23 17 32.3	-25 20 45	...	...	...	275	8	...	...	...	37	0.080	...	...	...	b	...	...	...	0.1453	6	...
048	23 17 35.2	-22 37 05	...	...	...	...	...	...	...	...	83	0.131	...	...	...	b,r	...	...	...	0.0827	5	12
049	23 19 44.6	-19 30 04	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	o	...	...	...	...	...	...
050	23 19 50.7	-22 04 34	...	A2575	80(2)	...	...	...	...	...	68	0.102	...	...	...	r	...	...	...	...	...	...
051	23 19 56.8	-22 30 34	...	A2576	92(2)	284	31	...	...	...	...	...	...	...	1	b,r,c	0.1875	10	9	0.1876	10	...
052	23 20 03.1	-24 07 34	...	S1113	8(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b	...	...	...	0.1468	9	13
053	23 20 21.1	-25 11 56	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r	...	...	...	...	...	...
054	23 20 21.1	-24 42 00	...	...	...	...	...	...	...	...	18	0.041	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
055	23 20 44.8	-22 57 33	...	A2577	73(1)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	b,r,c	0.1251	1	8	0.1248	7	...
056	23 20 24.0	-21 49 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
057	23 21 08.4	-21 33 33	...	A2579	66(1)	...	...	887	62	0.116	34	0.087	45	0.127	...	b,r,c	0.1117	1	8	0.1114	9	...
058	23 21 20.5	-22 06 33	...	A3996	59(1)	...	...	889	41	0.109	...	...	49	0.162	...	r,c	0.1155	8	10	0.0854	6	14
059	23 21 21.0	-24 10 33	...	A3997	39(0)	...	...	...	...	...	...	...	65	0.183	...	b,r	...	...	...	0.1478	8	13
060	23 21 54.0	-23 48 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r	...	...	...	...	...	...
061	23 21 23.2	-23 11 16	...	A2580	62(1)	287	20	888	76	0.116	89	0.104	74	0.153	1,2,5,6	b,r,c	0.1870	1	11	0.0890	17	15
062	23 21 24.8	-22 33 10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.0000	...	16
063	23 22 19.2	-20 24 52	...	A2583	52(1)	...	...	890	57	0.100	...	...	62	0.176	...	b,r,c	0.1160	1	12	0.1145	8	...
064	23 23 14.4	-22 49 31	...	S1117	19(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r,c	...	...	...	...	...	...
065	23 23 25.9	-20 25 31	...	A2586	46(0)	...	...	...	...	...	62	0.116	44	0.108	...	b,r,c	...	...	...	0.0000	...	17
066	23 23 32.3	-22 24 31	...	A2587	97(2)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.1448	11	...
067	23 24 08.3	-22 33 47	...	...	...	291	20	...	...	...	167	0.175	54	0.190	...	c	...	...	0.2157	6	...	
068	23 24 44.3	-23 06 30	...	A4003	49(0)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r,c	0.0866	1	13	0.2159	2	...
069	23 24 55.7	-20 31 30	...	A2595	4	...	...	...	...	...	106	0.168	81	0.209	...	r,c	...	...	0.1224	15	...	
070	23 24 59.0	-23 25 03	...	A2596	44(0)	293	27	893	46	0.092	52	0.088	...	...	...	b,r,c	...	...	0.0892	24	15	
071	23 25 22.8	-22 26 50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b,r,c	...	...	0.1226	5	18	
072	23 25 47.5	-24 06 38	...	...	...	...	...	894	50	0.116	...	...	...	...	...	b,c	...	...	0.1116	6	19	
073	23 26 19.5	-24 08 53	...	...	...	...	...	895	50	0.111	59	0.082	50	0.142	...	b,r,c	0.0880	1	12	0.1116	21	...
074	23 26 43.9	-23 50 53	...	A2599	51(1)	297	60	898	59	0.098	...	...	...	...	...	b,c	0.0889	4	5,14	0.0906	14	20
075	23 26 43.9	-22 24 29	...	A2600	50(1)	298	25	896	46	0.105	58	0.094	...	...	...	b,r,c	0.1205	12	10	0.1187	13	...
076	23 26 44.3	-24 25 29	...	A2601	62(1)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	r	0.1113	7	10	0.2126	5	...
077	23 27 56.4	-25 20 28	...	A2603	64(0)	...	...	...	...	...	...	...	81	0.231	...	b,r,c	...	...	0.2109	6	...	
078	23 28 11.0	-24 54 26	...	...	...	300	17	...	...	...	47	0.088	...	...	...	b,c	...	...	0.1125	12	...	
079	23 28 12.0	-23 48 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
080	23 28 31.7	-22 31 28	...	A2604	31(0)	...	...	...	...	...	...	...	19	0.128	...	r	...	...	0.2121	3	...	
081	23 29 01.8	-23 21 02	...	A2605	54(1)	303	12	...	...	...	33	0.071	...	...	...	b,c	...	...	0.1121	13	21	
082	23 29 37.3	-21 12 27	...	A2606	78(1)	...	...	...	...	...	126	0.188	118	0.250	5	r,c	0.2800	1	6	0.1431	4	...
083	23 30 00.0	-20 39 40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
084	23 30 21.6	-24 21 32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	43	0.117	...	r	...	...	...	...	...	...
085	23 30 31.3	-21 39 27	...	A2608	59(1)	...	...	...	...	...	62	0.114	43	0.130	...	b,r,c	0.0498	5	10	0.1557	4	...
086	23 30 41.5	-23 03 29	...	...	...	...	...	...	...	...	48	0.125	...	...	...	b	...	...	...	...	...	...
087	23 31 30.0	-21 55 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	r,c	...	...	...	...	...	...
088	23 31 42.2	-20 15 04	...	...	...	...	...	...	...	...	58	0.119	32	0.088	...	b,r,c	...	...	...	...	...	...
089	23 31 42.7	-25 45 07	...	...	...	...	...	...	...	...	291	0.223	...	...	...	o	...	...	...	0.1490	4	...

TABLE 3—Continued

AqrCC (1)	COORDINATES (J2000.0)			ACO		EDCC		APMCC		MF- b_J		MF-R		LITERATURE			NEW					
	α (2)	δ (3)	δ (3)	Name (4)	$\%_A^a$ (5)	ID ^b (6)	$\%_{ED}$ (7)	ID (8)	$\%_{APM}$ (9)	$\%_{APM}$ (10)	$\%_{MF}$ (11)	$\%_{MF}$ (12)	$\%_{MF}$ (13)	$\%_{MF}$ (14)	X-RAY ^c (15)	$3\sigma^d$ (16)	z_{SED} (17)	N_z (18)	Ref ^e (19)	z_{new} (20)	N_z (21)	Note ^f (22)
090	23 32 17.3	-22 24 40	...	...	...	...	...	...	...	57	0.132	...	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
091	23 32 25.7	-25 29 26	A4014	35(0)	...	...	...	...	...	55	0.119	47	0.181	...	b, r, c	0.1128	11	15	...	0.1130	11	...
092	23 32 41.3	-23 01 44	...	...	...	...	...	...	...	72	0.146	...	...	...	r	...	...	...	...	0.1635	4	22
093	23 32 55.0	-21 34 25	A2614	54(1)	0	...	...	...	...	...	...	46	0.167	...	b, r, c	...	...	...	...	0.2061	5	...
094	23 33 01.4	-23 33 25	A2615	314(2)	...	...	...	...	...	30	0.081	125	0.237	...	...	...	...	...	...	...	...	...
095	23 33 19.0	-20 28 01	...	...	...	...	...	...	...	...	...	64	0.206	...	...	...	...	...	...	...	...	...
096	23 34 31.4	-23 56 17	...	...	...	...	...	...	...	67	0.139	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...	...
097	23 35 21.8	-22 05 42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	50	0.180	...	...	...	...	...	...	...	...	...
098	23 36 54.0	-23 24 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...	...
099	23 37 00.9	-24 09 23	A2628	83(2)	324	33	...	...	...	58	0.112	65	0.196	...	b, r, c	0.1858	10	9	...	0.1858	10	...
100	23 37 01.7	-20 51 54	...	...	...	...	...	...	...	87	0.172	...	...	...	r, c	...	...	...	...	...	...	...
101	23 37 42.7	-22 55 23	A2629	100(2)	...	...	...	...	...	80	0.155	111	0.232	...	...	...	...	...	...	0.2069	7	...
102	23 37 55.9	-22 35 53	...	...	...	...	...	...	...	78	0.154	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

^a Numbers in parentheses are richness classes ($\#$).

^b "o" means that the cluster is out of the region covered by EDCC.

^c Source of X-ray observations for AqrCC clusters: (1) *Einstein Observatory (HEAD2)*; (2) *Einstein extended sensitivity survey*; (3) *HEAO1*; (4) *Einstein slew survey*; (5) *RASS*; (6) *Einstein extended medium sensitivity survey*; references are in the text.

^d "c" means that the cluster is out of the photometric data area, "b" that it was detected above $3\sigma_{back}$ in the $b_J < 20.2$ contour map, "r" that it was detected above $3\sigma_{back}$ in the $R < 19.5$ contour map, and "e" that it was detected above $3\sigma_{back}$ in the $b_J - R > 1.5$ contour map.

^e References: (1) Ciardullo et al. 1985; (2) Valentinij & Casertano 1988; (3) Steiner et al. 1982; (4) Colless & Hewett 1987; (5) Collins et al. 1995; (6) Kapahi et al. 1998; (7) Kowalski, Ulmer, & Cruddace 1983; (8) Quintana & Ramirez 1995; (9) Buttski et al. 1999; (10) Buttski et al. 1995; (11) Stoček et al. 1991; (12) Dalton et al. 1997; (13) Ratcliffe et al. 1998; (14) Dalton et al. 1994; (15) De Propris et al. 2002.

^f Notes to individual candidates: (1) A2514; no concentration detected in redshift space; (2) A2518; probable superimposed groups at $z \sim 0.092$ and 0.134; (3) A3964; probable superimposed groups at $z \sim 0.133$ and 0.198; (4) A2539; probable superimposed groups at $z \sim 0.175$ and 0.186; (5) Aqr_022; group at $z \sim 0.083$ superimposed to a possible cluster at $z \sim 0.128$; (6) Aqr_024; may constitute a double system with A2554, separated by about $2 h^{-1}$ Mpc; (7) A2541-A2546; probably a double system of clusters, with about $2 h^{-1}$ Mpc separation; (8) Aqr_027; group at $z \sim 0.111$ (or dispersed component of 0.11 supercluster) superimposed to possible cluster at $z \sim 0.200$; (9) Aqr_030; superposition of small groups; (10) Aqr_040; superposition of possible clusters at $z \sim 0.091$ and 0.170; (11) A2565; superposition of two poor clusters or rich groups, respectively, at $z \sim 0.083$ and 0.129; (12) Aqr_048; superposition of small groups; (13) S1113-A1997; probably a double system of clusters, separated by about $2 h^{-1}$ Mpc; (14) A3996; superposition of small groups; (15) A2580-A2596; possibly a double system with about $2 h^{-1}$ Mpc separation; (16) Aqr_062; no concentration detected in redshift space; (17) S1117; no concentration detected in redshift space; (18) Aqr_071; probably a substructure of cluster ED 291; (19) APM 894; probably a substructure of cluster APM 895; (20) A2599; probable poor cluster at $z \sim 0.091$ superimposed to cluster at $z \sim 0.127$; (21) A2605; superposition of possible cluster at $z \sim 0.112$; (22) A2614; superposition of small groups.

TABLE 3—Continued

AqrCC (1)	COORDINATES (J2000.0)			ACO		EDCC		APMCC		MF- b_j		MF- R		LITERATURE			NEW				
	α (2)	δ (3)	Name (4)	$\%_A^a$ (5)	ID ^b (6)	$\%_{ED}$ (7)	ID (8)	$\%_{APM}$ (9)	$\%_{APM}$ (10)	$\%_{MF}$ (11)	$\%_{MF}$ (12)	$\%_{MF}$ (13)	ΔMF (14)	X-RAY ^c (15)	$3\sigma^d$ (16)	ΔNED (17)	N_c (18)	Ref. ^e (19)	z_{new} (20)	N_c (21)	Note ^f (22)
090	23 32 17.3	-22 24 40	...	...	...	...	...	...	...	57	0.132	...	...	...	c	...	...	...	...	...	...
091	23 32 25.7	-25 29 26	A4014	35(0)	...	...	...	...	...	55	0.119	47	0.181	...	b, r, c	0.1128	11	15	0.1130	11	...
092	23 32 41.3	-23 01 44	...	...	...	...	...	...	...	72	0.146	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
093	23 32 55.0	-21 34 25	A2614	54(1)	0	...	...	...	...	46	0.167	...	...	...	r	...	...	...	0.1635	4	22
094	23 33 01.4	-23 33 25	A2615	114(2)	...	...	...	...	...	30	0.081	125	0.237	...	b, r, c	...	...	...	0.2061	5	...
095	23 33 19.0	-20 28 01	...	...	0	...	...	...	...	...	...	64	0.206	...	...	...	...	...	...	...	...
096	23 34 31.4	-23 56 17	...	...	...	...	...	...	...	67	0.139	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...
097	23 35 21.8	-22 05 42	...	...	0	...	...	...	...	...	...	50	0.180	...	...	...	...	...	...	...	...
098	23 36 54.0	-23 24 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	b, c	...	...	...	...	...	...
099	23 37 00.9	-24 09 23	A2628	83(2)	324	33	...	...	...	58	0.112	65	0.196	...	b, r, c	0.1858	10	9	0.1858	10	...
100	23 37 01.7	-20 51 54	...	...	0	...	...	...	...	87	0.172	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
101	23 37 42.7	-22 55 23	A2629	100(2)	...	...	...	...	...	80	0.155	111	0.232	...	c, e	...	...	...	0.2069	7	...
102	23 37 55.9	-22 35 53	...	...	...	...	...	...	...	78	0.154	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

^a Numbers in parentheses are richness classes ($\#$).

^b "0" means that the cluster is out of the region covered by EDCC.

^c Source of X-ray observations for AqrCC clusters: (1) *Einstein Observatory* (HEAO 2); (2) *Einstein* extended sensitivity survey; (3) HEAO 1; (4) *Einstein* slew survey; (5) RASS; (6) *Einstein* extended medium sensitivity survey; references are in the text.

^d "0" means that the cluster is out of the photometric data area, "b" that it was detected above $3\sigma_{back}$ in the $b_j < 20.2$ contour map, "r" that it was detected above $3\sigma_{back}$ in the $R < 19.5$ contour map, and "c" that it was detected above $3\sigma_{back}$ in the $b_j - R > 1.5$ contour map.

^e References: (1) Cardullo et al. 1983; (2) Valentijn & Casertano 1988; (3) Steiner et al. 1982; (4) Colless & Hewett 1987; (5) Collins et al. 1995; (6) Kapahi et al. 1998; (7) Kowalski, Ulmer, & Cruddace 1983; (8) Quintana & Ramirez 1995; (9) Batukski et al. 1995; (10) Batukski et al. 1991; (11) Stoike et al. 1997; (12) Dalton et al. 1998; (13) Rucifile et al. 1998; (14) Dalton et al. 1994; (15) De Propris et al. 2002.

^f Notes to individual candidates: (1) A2514; no concentration detected in redshift space; (2) A2518; probable superimposed groups at $z \sim 0.092$ and 0.134 ; (3) A3964; probable superimposed groups at $z \sim 0.133$ and 0.198 ; (4) A2539; probable superimposed groups at $z \sim 0.175$ and 0.186 ; (5) Aqr_022; group at $z \sim 0.083$ superimposed to a possible cluster at $z \sim 0.128$; (6) Aqr_024; may constitute a double system with A2554, separated by about $2h^{-1}$ Mpc; (7) A2541-A2546; probably a double system of clusters, with about $2h^{-1}$ Mpc separation; (8) Aqr_027; group at $z \sim 0.111$ for dispersed component of 0.11 supercluster) superimposed to possible cluster at $z \sim 0.200$; (9) Aqr_030; superposition of small groups; (10) Aqr_040; superposition of possible clusters at $z \sim 0.091$ and 0.170 ; (11) A2565; superposition of two poor clusters or rich groups, respectively, at $z \sim 0.083$ and 0.129 ; (12) Aqr_048; superposition of small groups; (13) S1113-A3997; probably a double system of clusters, separated by about $2h^{-1}$ Mpc; (14) A3996; superposition of small groups; (15) A2580-A2596; possibly a double system with about $2h^{-1}$ Mpc separation; (16) Aqr_062; no concentration detected in redshift space; (17) S1117; no concentration detected in redshift space; (18) Aqr_071; probably a substructure of cluster ED 291; (19) APM 894; probably a substructure of cluster APM 895; (20) A2599; probable poor cluster at $z \sim 0.091$ superimposed to cluster at $z \sim 0.127$; (21) A2603; superposition of possible cluster at $z \sim 0.089$ to cluster at $z \sim 0.112$; (22) A2614; superposition of small groups.

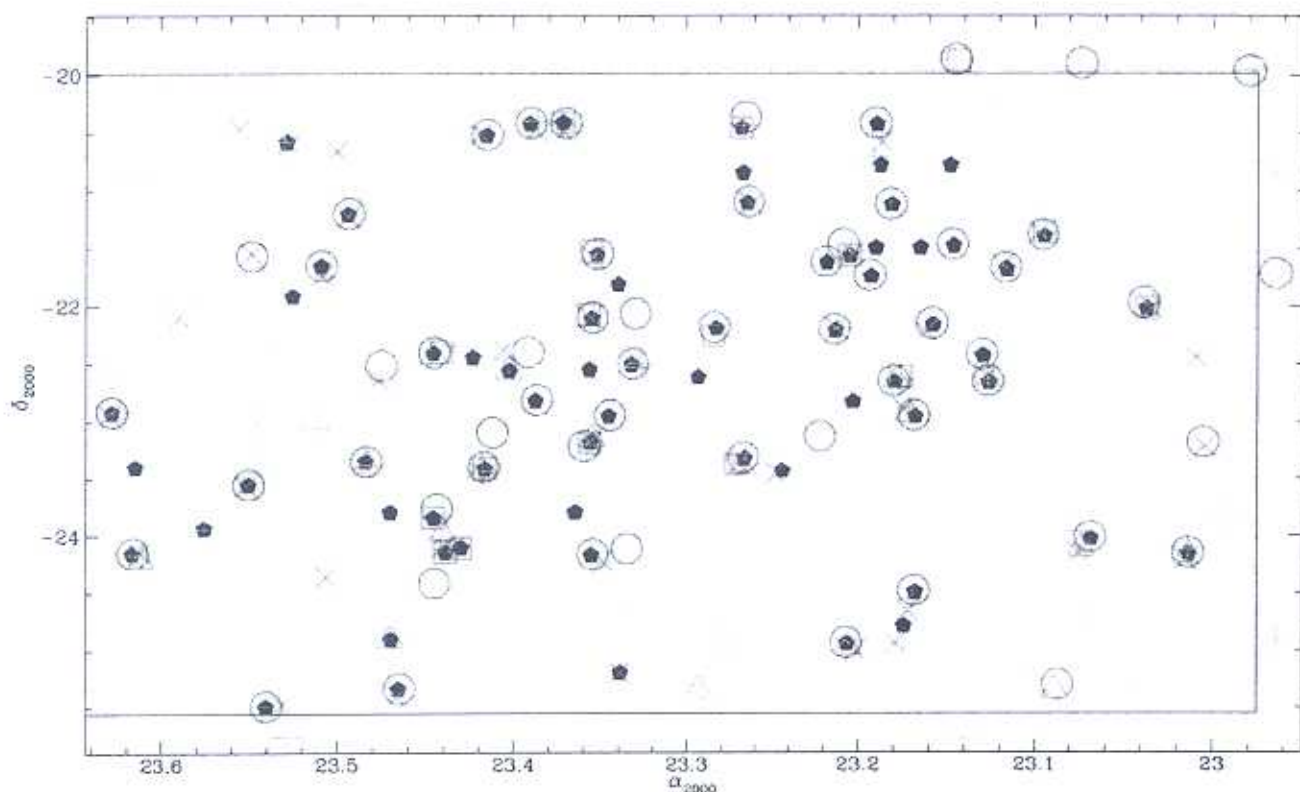


FIG. 7.—Distribution of aggregates found in the Aquarius region, with symbols denoting the catalog in which it was identified: Abell/ACO (circles), EDCC (triangles), APMCC (squares), MF-B (plus signs), MF-R (crosses), and surface density maps (filled pentagons). The internal box delineates the photometric data area.

clusters, the published redshift was based on a single galaxy, which is likely to be an interloper. In two of these cases, the observed overdensity is a superposition of two systems, and since we chose the richer of them as representing the cluster, the previous redshift is of a galaxy belonging to the poorer system.

About half of the observed aggregates show a single significant peak in the distribution of observed galaxy redshifts up to $z \sim 0.2$. By a significant peak we mean that there are no gaps larger than 1500 km s^{-1} among the member galaxy velocities. For 32 aggregates we find more than one significant peak in redshift space. This high fraction of superposi-

tions is not unexpected in a direction that possibly intercepts more than one supercluster. There are three cases in which we failed to detect a redshift peak. Therefore, we identified 109 significant peaks in the redshift distributions of 69 candidates. These concentrations in redshift space, which we call generically "galaxy systems," have richness classes that vary from rich clusters to small groups.

We estimate the actual fraction of overdensities in the projected distribution of galaxies that result from chance alignments, by adding the fraction of detection failures in redshift space and the fraction of superposition of only small groups of galaxies. For that, we separated the 72

TABLE 4
PERCENTAGE OF CROSS DETECTION BETWEEN CATALOGS

Catalog	ACO (58)	EDCC (18)	APMCC (17)	MF-B (54)	MF-R (44)	SD-1 ^a (38)	SD-2 ^b (65)
ACO .....	...	83	88	59	75	84	68
EDCC	49	...	67	56	36	51	39
APMCC	26	33	...	22	21	29	25
MF-B	55	89	71	...	59	71	54
MF-R	68	56	63	57	...	68	55
SD-1 ^a	66	67	77	59	59	...	...
SD-2 ^b	90	89	100	77	82	...	...

NOTE.—Values in parentheses are the number of clusters in the catalog.

^a Aggregates detected above $3 \sigma_{\text{back}}$ in three maps.

^b Aggregates detected above $3 \sigma_{\text{back}}$ in two or more maps.

observed candidates according to the fraction of observed galaxies that turned out to be system members and visual inspection of system images.

For the 51% of the cases in which a single system was found, the fraction of system members to observed galaxies (N_{cl}/N_z) is greater than 0.55 (mean 0.8), i.e., most of the observed galaxies were converted to system members. The mean value for the velocity dispersion of these systems is 789 ± 319 , a typical value for rich galaxy clusters (Fadda et al. 1996; Mazure et al. 1996). Hence, we considered such systems as rich galaxy clusters. The other 45% that turned out to be more than one galaxy system in redshift space were separated into three categories. The first is composed of clusters with superimposed (or background) groups, for which the main clump has $N_{cl}/N_z > 0.4$ and the other clumps have $N_{cl}/N_z < 0.3$. The richness of the main system is slightly contaminated, but we also consider it as a rich cluster, since the mean velocity dispersion is also close to what is expected for such systems, 767 ± 411 . These correspond to 21% of the aggregates with redshift, pushing the fraction of probable clusters to 72%. The other two categories are cases of significant superposition (24%). Although two or more galaxy systems may exist in these directions, the available information does not allow a great deal of confidence in classifying them as poor clusters or groups. Instead, we separated them in cases of two significant systems, when both have $N_{cl}/N_z > 0.3$ (11% of cases), or superimposed smaller groups, when all have $N_{cl}/N_z \lesssim 0.3$ (13%). Thus, we estimate that the contamination in the AqrCC could range from 4%, from the cases in which we failed to detect a system, to 17%, adding the cases of only superimposed smaller groups. This is a conservative range, since some of the systems classified as groups may turn out to be undersampled rich clusters at $z \sim 0.2$, as their images suggest. This is the case for AqrCC_002 (A2509), AqrCC_018 (A2536), AqrCC_033 (A2550), and AqrCC_080 (A2604). For one of these, A2536, we have deeper photometry that confirms its higher cluster richness, while A2550 has confirmed X-ray emission. Thus, by removing these deeper clusters from the maximum contamination, the fraction of chance alignments becomes 10%.

The same analysis can be done for each of the original catalogs, which is shown in Table 5. Previous estimates of contamination for Abell/ACO, EDCC, and APMCC are, respectively, 10%–15%, 8%–13%, and 3%–5% (e.g., De Propris et al. 2002). We find for Abell 2%–15% and for ACO 3%–15%, in accordance with the above estimates. For EDCC and APMCC the small number of objects in Aquarius does not allow us to make an evaluation of the contamination.

Since we have new mean redshifts for most of the clusters in Abell, EDCC, and APMCC, we can also make a rough estimate of the depth of each of these cluster catalogs by using the mean redshift of the most distant quartile of clusters. For ACO we have spectroscopic redshifts for 98% (57) of the clusters, and we confirm the expected depth of this catalog to be about $z \sim 0.2$, while for EDCC and APMCC we find $z \sim 0.19$ and 0.13, respectively, for the average of the 25% more distant clusters, both 100% complete in redshift in Aquarius.

5. DISCUSSION

The observed overdensity of Abell clusters in the region may be taken as preliminary evidence that there might be superclusters of galaxies in this part of the sky. The projected density of Abell and ACO clusters in Aquarius (excluding the supplementary catalog objects) is 0.83 clusters deg^{-2} , which is an overdensity of about 4 when compared to a slice of 15° at the same Galactic latitude. Similarly, for the EDCC the mean surface density of the overall catalog is 0.45 clusters deg^{-2} , while in Aquarius this increases to 0.54 clusters deg^{-2} . For the APM clusters the projected densities are 0.22 and 0.29 clusters deg^{-2} , respectively.

A redshift cone diagram showing the 109 systems with available redshifts is presented in Figure 8, with different symbols for the four categories described in the previous section. Concentrations of clusters at $z \sim 0.08$ and 0.11 are easily seen.

It is also noticeable that most of the identified groups follow the structures defined by the clusters (in fact, 55% of them seem to be part of concentrations at 0.08 and 0.11). Details of Figure 8 are presented in Figures 9, 10, and 11, which also show the cluster names.

To test whether the distribution of clusters seen in Figure 8 could be forming larger systems, we applied a percolation analysis to the data. The results of the percolation are presented in Table 6, in two blocks: where only the 56 rich clusters are considered (rows 3–6) and where all systems are considered (rows 7–10). The first column of Table 6 shows the search radius in Mpc, while the second column shows the corresponding space overdensity. The mean spatial density is that estimated from the ACO catalog (e.g., De Propris et al. 2002; Einasto et al. 1997; Zucca et al. 1993), $\bar{n} = 2.7 \times 10^{-5} h^3 \text{Mpc}^{-3}$, corrected for the number of ACO clusters in the sample over their total number in the region (58). Even though few rich clusters may be lost in the identification process, it is likely that the number of less dense systems is underestimated. As can be seen in Table 6, with a

TABLE 5
FRACTION OF OBSERVED CANDIDATES CONVERTED TO REAL SYSTEMS

Parameters	Abell (47)	ACO (57)	EDCC (18)	APMCC (17)	MF-B (39)	MF-R (38)	SD-1 (37)	SD-2 (57)	AqrCC (72)
Single cluster in z	0.49	0.49	0.55	0.65	0.56	0.47	0.51	0.51	0.51
With superimposed group	0.28	0.25	0.28	0.23	0.23	0.29	0.27	0.23	0.21
Two concentrations	0.08	0.11	0.17	0.06	0.13	0.08	0.05	0.11	0.11
Only small groups	0.13	0.12	0.00	0.06	0.08	0.14	0.14	0.12	0.13
No concentration	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.04

NOTE.—Values in parentheses are the number of clusters with redshift.

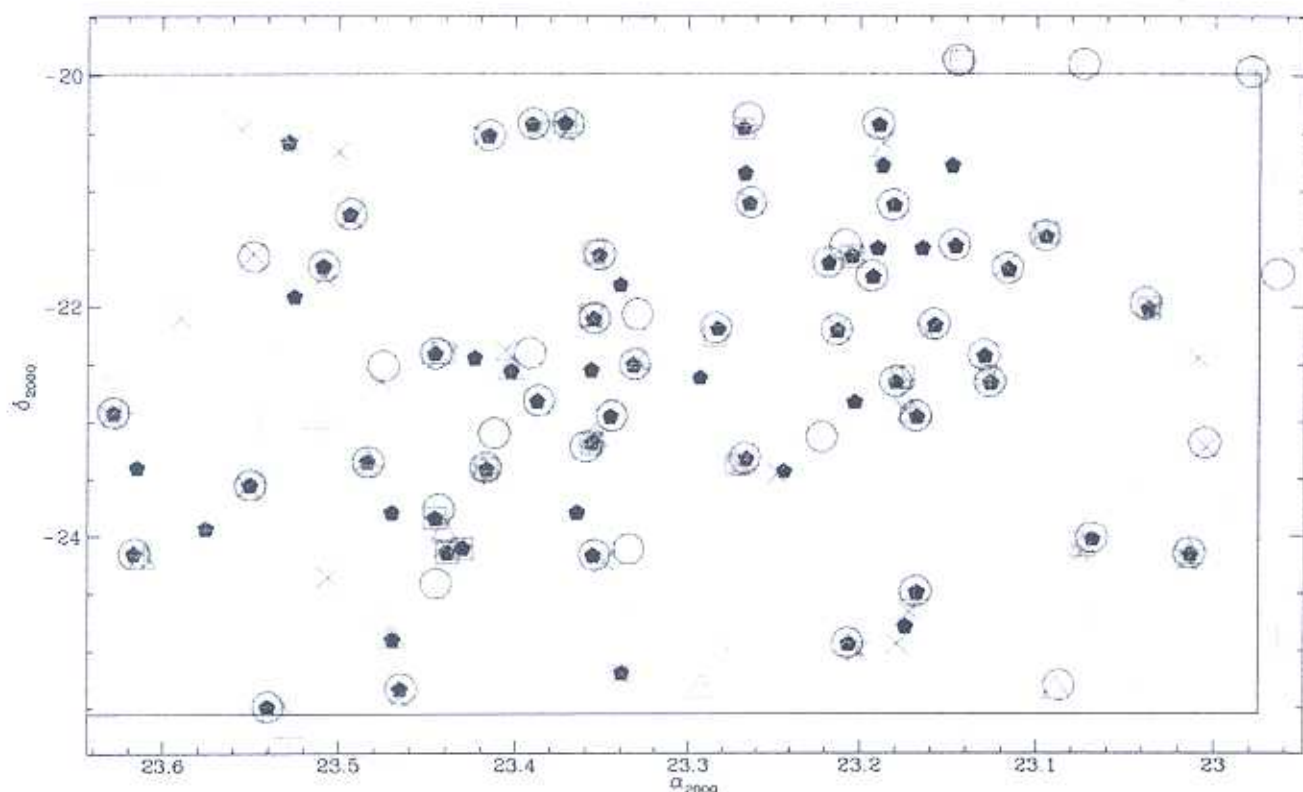


FIG. 7.—Distribution of aggregations found in the Aquarius region, with symbols denoting the catalog in which it was identified: Abell/ACO (circles), EDCC (triangles), APMCC (squares), MF-B (plus signs), MF-R (crosses), and surface density maps (filled pentagons). The internal box delineates the photometric data area.

clusters, the published redshift was based on a single galaxy, which is likely to be an interloper. In two of these cases, the observed overdensity is a superposition of two systems, and since we chose the richer of them as representing the cluster, the previous redshift is of a galaxy belonging to the poorer system.

About half of the observed aggregates show a single significant peak in the distribution of observed galaxy redshifts up to $z \sim 0.2$. By a significant peak we mean that there are no gaps larger than 1500 km s^{-1} among the member galaxy velocities. For 32 aggregates we find more than one significant peak in redshift space. This high fraction of superposi-

tions is not unexpected in a direction that possibly intercepts more than one supercluster. There are three cases in which we failed to detect a redshift peak. Therefore, we identified 109 significant peaks in the redshift distributions of 69 candidates. These concentrations in redshift space, which we call generically "galaxy systems," have richness classes that vary from rich clusters to small groups.

We estimate the actual fraction of overdensities in the projected distribution of galaxies that result from chance alignments, by adding the fraction of detection failures in redshift space and the fraction of superposition of only small groups of galaxies. For that, we separated the 72

TABLE 4
PERCENTAGE OF CROSS DETECTION BETWEEN CATALOGS

Catalog	ACO (58)	EDCC (18)	APMCC (17)	MF-B (54)	MF-R (44)	SD-1 ^a (38)	SD-2 ^b (65)
ACO.....	...	83	88	59	75	84	68
EDCC.....	49	...	67	56	36	51	39
APMCC.....	26	33	...	22	21	29	25
MF-B.....	55	89	71	...	59	71	54
MF-R.....	68	56	63	57	...	68	55
SD-1 ^a	66	67	77	59	59	...	...
SD-2 ^b	90	89	100	77	82	...	...

NOTE.—Values in parentheses are the number of clusters in the catalog.

^a Aggregates detected above $3 \sigma_{\text{back}}$ in three maps.

^b Aggregates detected above $3 \sigma_{\text{back}}$ in two or more maps.

TABLE 6
RESULTS OF PERCOLATION ANALYSIS APPLIED TO AQUARIUS CLUSTERS AND GROUPS

R_{perc} (h^{-1} Mpc)	n/n	0.058	0.086	0.091	0.111	0.112	0.113	0.123	0.132	0.142	0.147	0.155	0.171	0.184	0.201	0.212
3.5	250	...	2	...	2+2	2	2	2	...	...	2	...	...	...	...	...
5	90	...	2+2	...	5	4	2	2	...	...	2	...	...	...	...	...
10	10	...	2+3	...	14	14	5	5	...	3	4	...	...	...	2	2+2+3
15	3	...	5	...	21	21	2	2	...	8	4	...	2	...	3	7
3.5	200	...	4+2+4	2	2+2	4	2	2	...	2	2	...	2	2+2	...	2
5	70	...	7+2+6	2	7	6	2	2	2+2	2	2	...	2	2+2	...	2
10	9	3+2	17	3	24	24	6	6	7	5	4	2	2+3	2+3	2+2	2+2+4
15	3	6	21				43				4	5	6	5	4	8

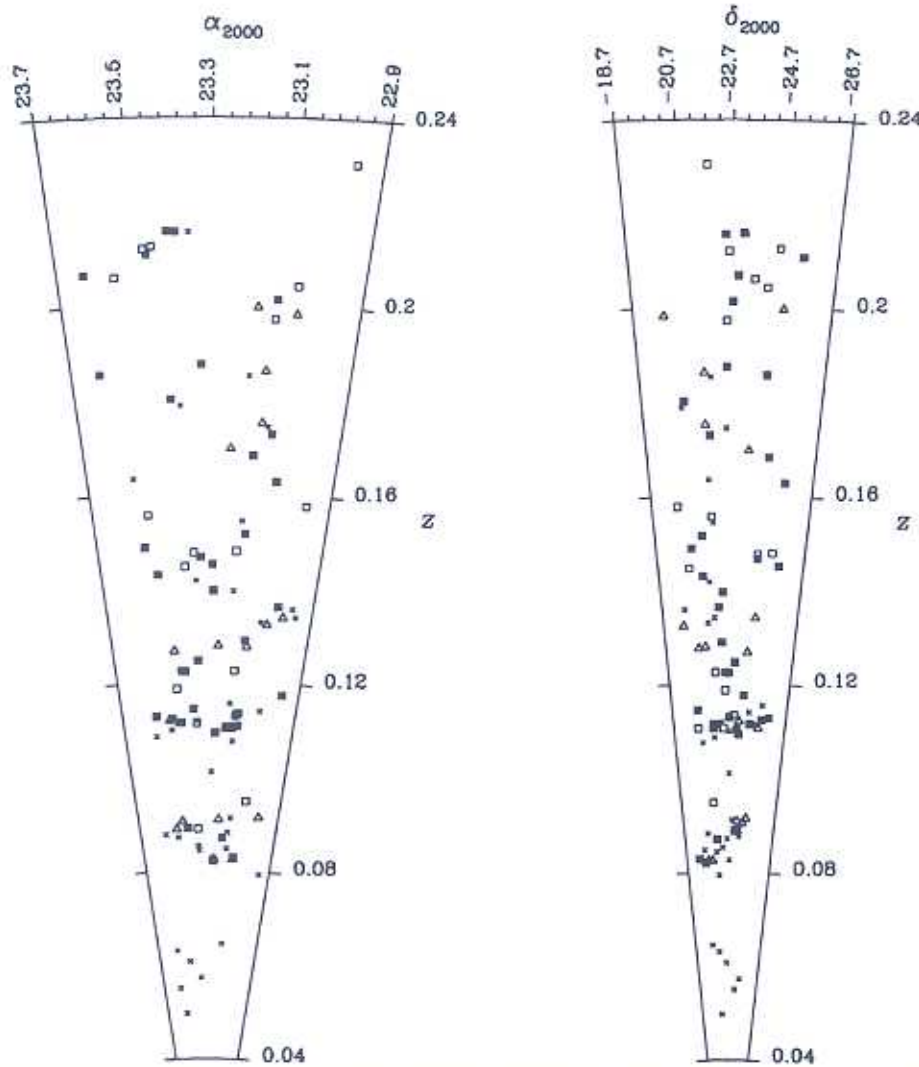


FIG. 8.—Cone diagram for the distribution of the 56 probable rich clusters (37 single peak, *filled squares*; 19 subject to small group superposition, *open squares*) and 53 possible poor clusters or groups (18 from double significant peaks, *open triangles*; 35 small groups, *crosses*), in right ascension and declination projections. Angular coordinates are expanded to the ratio 1.5:1 over a radial coordinate for clarity. Concentrations at $z \sim 0.08$ and 0.11 are easily seen, as well as the filament from 0.11 to 0.14 .

small percolation radius (R_{perc}), corresponding to an overdensity of about $n \sim 200\bar{n} - 250\bar{n}$, some supercluster core seeds emerge at about $z \sim 0.08$, 0.11 , and 0.15 . As the R_{perc} is increased, the supercluster cores grow fast, particularly when the small clusters and groups are considered. The concentration at $z \sim 0.086$ has two cores, which coalesce at $R_{\text{perc}} = 10 h^{-1}$ Mpc with the groups (only at $15 h^{-1}$ Mpc without them), forming a supercluster of at least five clusters and 12 groups. The largest structure, on the other hand, has a main concentration at $z \sim 0.11$ and may extend up to $z \sim 0.14$. At $z \sim 0.112$ there are three cores that coalesce at $R_{\text{perc}} = 10 h^{-1}$ Mpc, with 14 clusters and at least 10 groups. From $z \sim 0.11$ to 0.14 there is a filament of about $40 h^{-1}$ Mpc, with at least seven clusters and eight groups, connecting with the concentration at $z \sim 0.11$ with $R_{\text{perc}} = 15 h^{-1}$ Mpc. Besides these two large superclusters, four additional potential concentrations appear beyond $z \sim 0.14$ at 0.147 , 0.171 , 0.201 , and 0.212 . These concentrations might be severely undersampled in our survey, as most of their

brighter galaxies are close to the photometric limits of our survey. Consequently, we have, for example, a small number of redshifts per cluster (only seven on average for $z > 0.14$ clusters against 14 for $z < 0.14$) and a very small number of groups detected (only eight of 35 have $z > 0.14$).

Because the present work probes more densely the galaxy distribution in Aquarius, some of our results differ from those of B99. The main discrepancy is for four clusters that have a mean redshift that differs significantly from the values of B99. All of them are cases for which B99 observed galaxies in a larger area around the ACO cluster position, and almost all the galaxies they used to calculate the mean redshifts are outside the estimated Abell radius, being generally galaxies belonging to the superclusters' dispersed component superimposed to the observed cluster. In contrast, all the galaxies we observed are inside the Abell radius and have a greater chance of being a representative sample to measure the mean cluster redshift. In one specific case, AqrCC_058 (A3996), we do not find a cluster around ACO

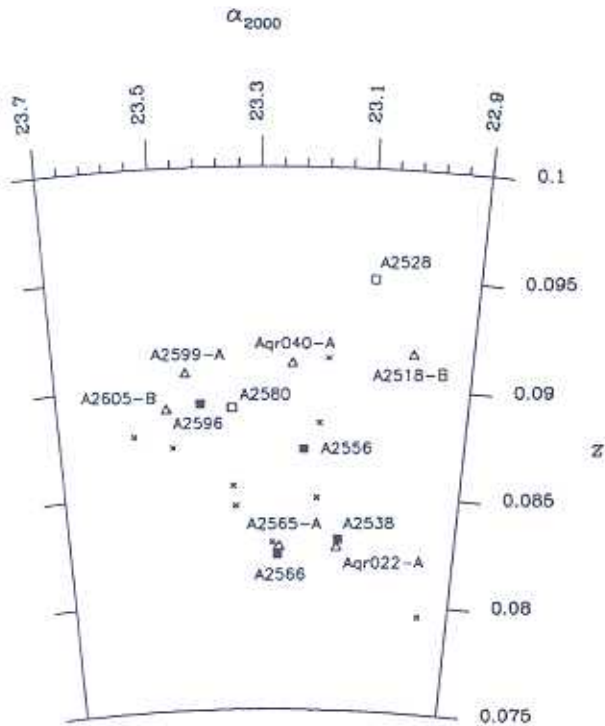


FIG. 9.—Insert of Fig. 8 showing individual cluster names for the $z \sim 0.086$ supercluster. Note that the small groups were not named to avoid confusion.

position, but only the superposition of the dispersed component of both the 0.08 and 0.11 superclusters. In the case of the four clusters for which B99 used data from the literature (all of them based on a single galaxy redshift) we also have new mean redshift measurements. However, two are cases of superposition of two systems (poor clusters or groups) where we chose the richer to quote the redshift but the first observation was for a galaxy of the other system. Because of these redshift reevaluations, two clusters were removed from the B99 “knot,” AqrCC_058 and AqrCC_036 (A2553), though we now find 14 clusters for this 0.11 concentration (their four plus 10 new ones, including six ACO clusters, two APMCC clusters, one EDCC cluster, and one new detection). Another thing that can be noted, both from Figure 8 and Table 6, is that the Aquarius supercluster of B99 was split into two distinct structures. For B99 the clusters from $z \sim 0.08$ to 0.12 formed a supercluster at $n/\bar{n} \sim 8$. Nevertheless, one of the clusters that made the link for this filament, AqrCC_025 (A2541), is one of the cases of reevaluation that had only one observed galaxy previously and has since shown to be more distant; it is, in fact, part of the core of the 0.11 supercluster. Thus, even when considering a much smaller density contrast ($n/\bar{n} = 3$) or using groups, we could not connect both superclusters. Moreover, the 30 candidates of AqrCC that are yet unobserved have small estimated richnesses and also estimated redshifts that could not make them potential links between the superclusters.

Considering the spatial distribution of the five clusters in the $z \sim 0.086$ supercluster, we are able to estimate a space overdensity of about 130 times the considered mean density, for an equivalent volume of $6 \times 19 \times 10 h^{-3} \text{ Mpc}^3$. Similarly, for the 14 clusters in the $z \sim 0.112$ supercluster, we find a spatial overdensity of $100\bar{n}$, or, if we remove the clus-

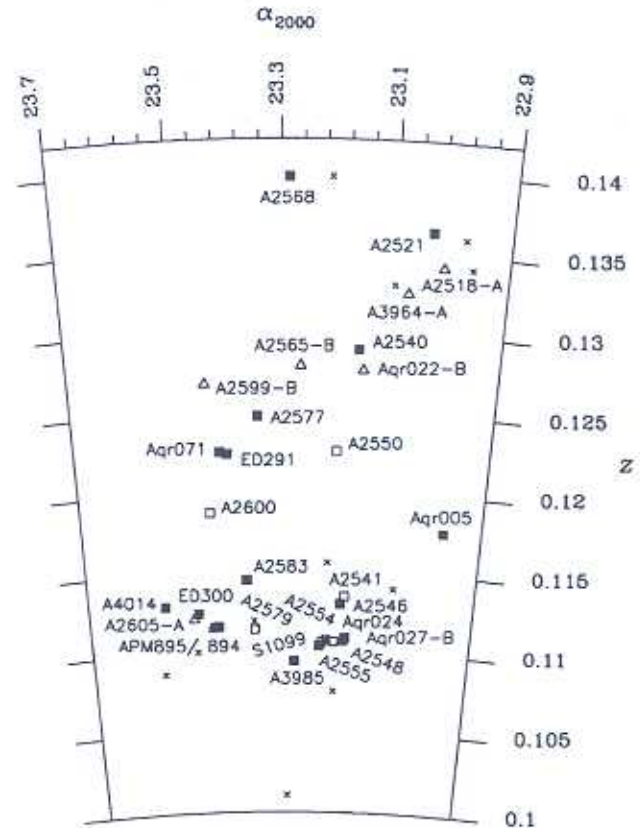


FIG. 10.—Same as Fig. 9, but for the $z \sim 0.112$ supercluster and 0.11–0.14 filament.

ter AqrCC_063 (A2583) from the supercluster, which is slightly far from the main concentration, we finally find a space overdensity of $160\bar{n}$ for a volume of $12 \times 29 \times 18 h^{-3} \text{ Mpc}^3$. In terms of mass, if we consider the mean velocity dispersion we obtained for rich clusters, a mean mass for groups (e.g., Maia, Willmer, & da Costa 1998), and a fraction of about one-third for the dispersed component (e.g., Small et al. 1998), we can estimate for the $z \sim 0.086$ and 0.112 superclusters the masses of at least 8×10^{15} and $2 \times 10^{16} h^{-1} M_{\odot}$, respectively.

6. SUMMARY

In this work we combine publicly available as well as new data to study the distribution of galaxies in a $10^{\circ}4 \times 6^{\circ}4$ area in the Aquarius constellation. Here we give a summary of conclusions:

1. A compilation of galaxy clusters from the literature reveals the presence of 63 clusters in the region, corresponding to a projected density of $0.95 \text{ clusters deg}^{-2}$. If only rich ACO clusters are considered, this represents an overdensity of more than 4 in the surface density of such systems.
2. We identify 26 new cluster candidates through the use of the matched-filter technique and 13 additional lower density enhancements by using isocontours maps.
3. We present new redshifts for 31 clusters in the Aquarius region and provide more robust estimates for 23 systems confirming previous redshifts from the literature. We also report 12 new measurements, typically from seven gal-

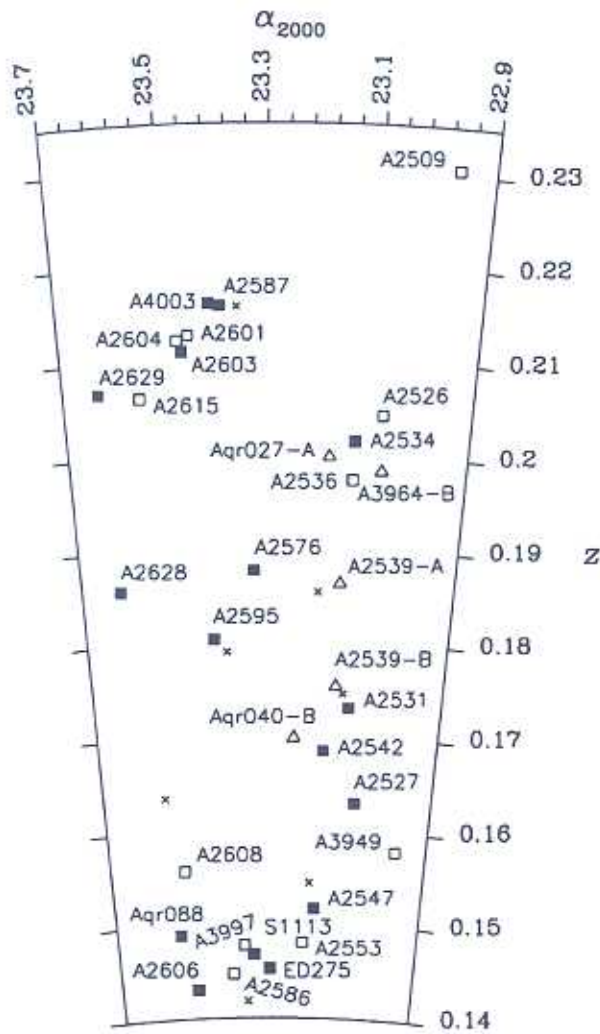


FIG. 11.—Same as Fig. 9, but for clusters between $z \sim 0.14$ and 0.23

axes observed per cluster, that differ by more than 2000 km s^{-1} from previous measurements. The completeness of the AqrCC in redshifts is 70%.

4. From the 72 observed cluster candidates, 51% revealed a single significant peak in redshift space, while 45% showed more than one and 4% did not show any. Moreover, 72% of them were found to be probable real clusters, while 24% may possibly be poor clusters or groups.

5. Contamination in AqrCC with projected overdensities due to chance alignment (no concentration detected or only superimposed small groups in the redshift space) is estimated to be about 10%.

6. We find two rich superclusters in the Aquarius region, at $z \sim 0.086$ and 0.112 , respectively, with five and 14 clusters at a spatial number density contrast of about $10 (R_{\text{perc}} = 10 h^{-1} \text{ Mpc})$. For both of them, a number of smaller galaxy systems (at least 10 for each), possibly poor clusters or groups, were also found to be part of the superclusters at the same percolation radius. The $z \sim 0.11$ supercluster may even be connected to a $40 h^{-1} \text{ Mpc}$ filament of at least seven clusters from 0.11 and 0.14. We also find possible cluster concentrations at 0.15, 0.17, 0.20, and 0.21, which need deeper photometry and spectroscopy to be confirmed.

7. With the cluster redshifts available in this region, we estimate that the characteristic depths of the most distant quartile of Abell/ACO, EDCC, and APMCC are 0.20, 0.19, and 0.13, respectively. The redshift completeness in Aquarius for these catalogs are 98% for Abell/ACO and 100% for the others.

8. Our analysis presents some differences relative to B99. The reevaluation of some cluster redshifts, used by B99 to detect the supercluster, revealed two significant superclusters in this part of the sky, rather than only one structure that extends along the line of sight, as they suggested. Their conclusion was probably based on an incorrect redshift for the cluster A2541, which led them to connect both structures.

9. Our data support the interpretation of B99 that the $z \sim 0.11$ supercluster in Aquarius is very likely a significant concentration of matter, representing an overdensity of $\delta\rho/\rho \sim 160$ and a mass of at least $2 \times 10^{16} h^{-1} M_{\odot}$.

We are grateful to the staff and night assistants of OPD/LNA 1.6 m, ESO 1.52 m, and CASLEO 2.15 m; the AAO and NRL/ROE for providing the SSC; G. Pizzaro for taking our ESO plates; and M. Irwin for providing the APM digitization. This research has also made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED). The authors acknowledge use of the CCD and data acquisition system supported under US National Science Foundation grant AST 90-15827 to R. M. Rich. C. A. C. is grateful for financial support from a CAPES scholarship, M. A. G. M. for CNPq grant 301366/86-1, W. K. for financial support from Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) research fellowship, and C. N. A. W. for CNPq grant 301364/86-9, NSF AST 95-29028, and NSF AST 00-71198.

REFERENCES

- Abell, G. O. 1958, *ApJS*, 3, 211
 ———, 1961, *AJ*, 66, 607
 Abell, G. O., Corwin, H. G., Jr., & Olowin, R. P. 1989, *ApJS*, 70, 1
 Abramopoulos, F., & Ku, W. H. M. 1983, *ApJ*, 271, 446
 Bardelli, S., Zucca, E., Zamorani, G., Moscardini, L., & Scaramella, R. 2000, *MNRAS*, 312, 540
 Barmby, P., & Huchra, J. P. 1998, *AJ*, 115, 6
 Basilakos, S., Plionis, M., & Rowan-Robinson, M. 2001, *MNRAS*, 323, 47
 Batuski, D. J., Maurogordato, S., Balkowski, C., & Olowin, R. P. 1995, *A&A*, 294, 677
 Batuski, D. J., Miller, C. J., Slingsend, K. A., Balkowski, C., Maurogordato, S., Cayatte, V., & Felenbock, P. 1999, *ApJ*, 520, 491 (B99)
 Bertin, E., & Dennefeld, M. 1997, *A&A*, 317, 43
 Bessell, M. S. 1990, *PASP*, 102, 1181
 Caretta, C. A., Maia, M. A. G., & Willmer, C. N. A. 2000, *AJ*, 119, 524
 Ciardullo, R., Ford, H., & Harris, R. 1985, *ApJ*, 293, 69
 Colless, M., & Hewett, P. 1987, *MNRAS*, 224, 453
 Collins, C. A., Guzzo, L., Nichol, R. C., & Lumsden, S. L. 1995, *MNRAS*, 274, 1071
 Cunow, B., & Wargau, W. F. 1994, *A&AS*, 107, 277
 Dalton, G. B., Efstathiou, G., Maddox, S. J., & Sutherland, W. J. 1994, *MNRAS*, 269, 151
 Dalton, G. B., Maddox, S. J., Sutherland, W. J., & Efstathiou, G. 1997, *MNRAS*, 289, 263
 De Propris, R., et al. 2002, *MNRAS*, 329, 87
 Drinkwater, M. J., Barnes, D. G., & Ellison, S. L. 1995, *Publ. Astron. Soc. Australia*, 12, 248
 Ebeling, H., Edge, A. C., Böhringer, H., Allen, S. W., Crawford, C. S., Fabian, A. C., Voges, W., & Huchra, J. P. 1998, *MNRAS*, 301, 881
 Ebeling, H., Voges, W., Böhringer, H., Edge, A. C., Huchra, J. P., & Briel, U. G. 1996, *MNRAS*, 281, 799
 Einasto, M., Einasto, J., Tago, E., Andernach, H., Dalton, G. B., & Müller, V. 2001a, preprint (astro-ph/0012538)
 Einasto, M., Einasto, J., Tago, E., Müller, V., & Andernach, H. 2001b, *AJ*, 122, 2222

- Einasto, M., Tago, E., Jaaniste, J., Einasto, J., & Andernach, H. 1997, *A&AS*, 123, 119
- Elvis, M., Plummer, D., Schachter, J., & Fabbiano, G. 1992, *ApJS*, 80, 257
- Fadda, D., Girardi, M., Giuricin, G., Mardirossian, F., & Mezzetti, M. 1996, *ApJ*, 473, 670
- Falco, E. E., et al. 1999, *PASP*, 111, 438
- Fukugita, M., Shimasaku, K., & Ichikawa, T. 1995, *PASP*, 107, 945
- Gioia, I. M., Maccacaro, T., Schild, R. E., Wolter, A., Stocke, J. T., Morris, S. L., & Henry, J. P. 1990, *ApJS*, 72, 567
- Gladders, M. D., & Yee, H. K. C. 2000, *AJ*, 120, 2148
- Heydon-Dumbleton, N. H., Collins, C. A., & MacGillivray, H. T. 1989, *MNRAS*, 238, 379
- Jones, L. R., Fong, R., Shanks, T., Ellis, R. S., & Peterson, B. A. 1991, *MNRAS*, 249, 481
- Kapahi, V. K., Athreya, R. M., Breugel, W. V., McCarthy, P. J., & Subrahmanya, C. R. 1998, *ApJS*, 118, 275
- Kawasaki, W., Shimasaku, K., Doi, M., & Okamura, S. 1998, *A&AS*, 130, 567
- King, I. R. 1966, *AJ*, 71, 64
- Kowalski, M. P., Ulmer, M. P., & Cruddace, R. G. 1983, *ApJ*, 268, 540
- Kümmel, M. W., & Wagner, S. J. 2001, *A&A*, 370, 384
- Lumsden, S. L., Collins, C. A., Nichol, R. C., Ecke, V. R., & Guzzo, L. 1997, *MNRAS*, 290, 119
- Lumsden, S. L., Nichol, R. C., Collins, C. A., & Guzzo, L. 1992, *MNRAS*, 258, 1
- Maddox, S. J., Efstathiou, G., & Sutherland, W. J. 1990, *MNRAS*, 246, 433
- Maia, M. A. G., & da Costa, L. N. 1990, *ApJ*, 352, 457
- Maia, M. A. G., Willmer, C. N. A., & da Costa, L. N. 1998, *AJ*, 115, 49
- Mazure, A., et al. 1996, *A&A*, 310, 31
- Merchán, M. E., Maia, M. A. G., & Lambas, D. G. 2000, *ApJ*, 545, 26
- Oppenheimer, B. R., Helfand, D. J., & Gaidos, E. J. 1997, *AJ*, 113, 2134
- Postman, M., Geller, M. J., & Huchra, J. P. 1988, *AJ*, 95, 267
- Postman, M., Lubin, L. M., Gunn, J. E., Oke, J. B., Hoessel, J. G., Schneider, D. P., & Christensen, J. A. 1996, *AJ*, 111, 615
- Prandoni, I., et al. 1999, *A&A*, 345, 448
- Quintana, H., & Ramirez, A. 1995, *ApJS*, 96, 343
- Quintana, H., Ramirez, A., Melnick, J., Raychaudhury, S., & Slezak, E. 1995, *AJ*, 110, 463
- Ramella, M., Pisani, A., & Geller, M. J. 1997, *AJ*, 113, 483
- Ratcliffe, A., Shanks, T., Parker, Q. A., Broadbent, A., Watson, F. G., Oates, A. P., Collins, C. A., & Fong, R. 1998, *MNRAS*, 300, 417
- Shanks, T., Stevenson, P. R. F., Fong, T., & MacGillivray, H. T. 1984, *MNRAS*, 206, 767
- Small, T. A., Ma, C.-P., Sargent, W. L. W., & Hamilton, D. 1998, *ApJ*, 492, 45
- Steiner, J. E., Grindlay, J. E., & Maccacaro, T. 1982, *ApJ*, 259, 482
- Stocke, J. T., Morris, S. L., Gioia, I. M., Maccacaro, T., Schild, R., Wolter, A., Fleming, T. A., & Henry, J. P. 1991, *ApJS*, 76, 813
- Tully, R. B. 1982, *ApJ*, 257, 389
- Ulmer, M. P., et al. 1981, *ApJ*, 243, 681
- Valentijn, E. A., & Casertano, S. 1988, *A&A*, 206, 27
- Valotto, C. A., Nicotra, M. A., Muriel, H., & Lambas, D. G. 1997, *ApJ*, 479, 90
- West, M. J. 1989, *ApJ*, 347, 610
- Wood, K. S., et al. 1984, *ApJS*, 56, 507
- Yasuda, N., et al. 2001, *AJ*, 122, 1104
- Yentis, D. J., Cruddace, R. G., Gursky, H., Stuart, B. V., Wallin, J. F., MacGillivray, H. T., & Collins, C. A. 1992, in *Digitised Optical Sky Surveys*, ed. H. T. MacGillivray & E. B. Thomson (Dordrecht: Kluwer), 67
- Zucca, E., Zamorani, G., Scaramella, R., & Vettolani, G. 1993, *ApJ*, 407, 470

Apêndice C

Imagens e Gráficos dos Aglomerados

Nas páginas que se seguem são mostradas, para cada um dos aglomerados submetidos à análise da distribuição radial projetada de galáxias e dos contornos de isodensidades, a imagem do *Digitized Sky Survey* de $(2 \times 2) h_{75}^{-1}$ Mpc e um quadro com quatro gráficos: a distribuição espacial das galáxias do catálogo fotométrico de Aquarius, os respectivos contornos de isodensidades [esses dois em escalas de $(3 \times 3) h_{75}^{-1}$ Mpc], o perfil radial e as distribuições de velocidades no “cone de observação” do aglomerado e dos membros do referido sistema. Para facilitar a consulta, repetimos aqui a chave dos símbolos e linhas de cada gráfico:

- Distribuição das galáxias identificadas nos catálogos fotométricos e das galáxias observadas espectroscopicamente. Há 5 tipos de pontos nessas figuras:
 - pontos pretos menores → galáxias identificadas no catálogo fotométrico R (maioria) ou b_J (9 casos, conforme explicado no texto),
 - pontos pretos maiores → galáxias no catálogo fotométrico combinado (presentes, portanto, nos 2 catálogos anteriores),
 - quadrados verdes → galáxias com *redshifts* que foram selecionadas como galáxias-membros do aglomerado — são os mesmos objetos do histograma maior (4^o gráfico),
 - sinais + azuis → galáxias com z que se revelaram objetos de *foreground* em relação ao aglomerado em questão,
 - sinais × vermelhos → galáxias com z que se revelaram objetos de *background* em relação ao aglomerado em questão.

Os dois círculos pontilhados representam as regiões compreendidas respectivamente dentro de 0.5 e $1 h_{75}^{-1}$ Mpc.

- Contornos de isodensidades para as galáxias do catálogo R , b_J ou cor, diferenciadas pelas letras r, b ou c nas tabelas 4.4 e 4.5, respectivamente. A linha pontilhada representa o nível imediatamente acima do patamar do céu (0.5 ou $1\sigma_{fundo}$ acima, dependendo do caso), enquanto as linhas contínuas representam níveis consecutivos de $1\sigma_{fundo}$. Para tais dados $1\sigma_{fundo}$ representa em torno de 2 galáxias a mais em cada célula. Para os 13 casos em que os aglomerados apresentam emissão em raios-X, também são marcados sinais + verdes para as BCGs e sinais × vermelhos para o pico da emissão em raios-X.
- Perfil radial das densidades projetadas de galáxias do aglomerado, medidas em anéis concêntricos de $0.1 h_{75}^{-1}$ Mpc. As densidades superficiais são representadas pelos pontos quadrados abertos e o ajuste pela linha contínua vermelha. Para os dados do catálogo combinado foram marcados 3 valores de céu para cada aglomerado: um valor médio para a região de Aquarius (linha pontilhada), um valor médio para a respectiva placa b_J (linha de tracejado menor) e um valor local (linha de tracejado maior azul). Para os dados R e b_J individuais apenas esse último valor foi delineado.
- Histograma (menor) da distribuição de galáxias no espaço de z 's (os mesmos objetos plotados em cores no primeiro gráfico), entre 0 e 70000 km s^{-1} . Objetos de *foreground* tem seu histograma desenhado em azul e os de *background* em vermelho.
- Histograma (maior) da distribuição de galáxias-membros, num intervalo de $\pm 2500 \text{ km s}^{-1}$ em relação a \bar{z} . Os intervalos do histograma são de 250 km s^{-1} .

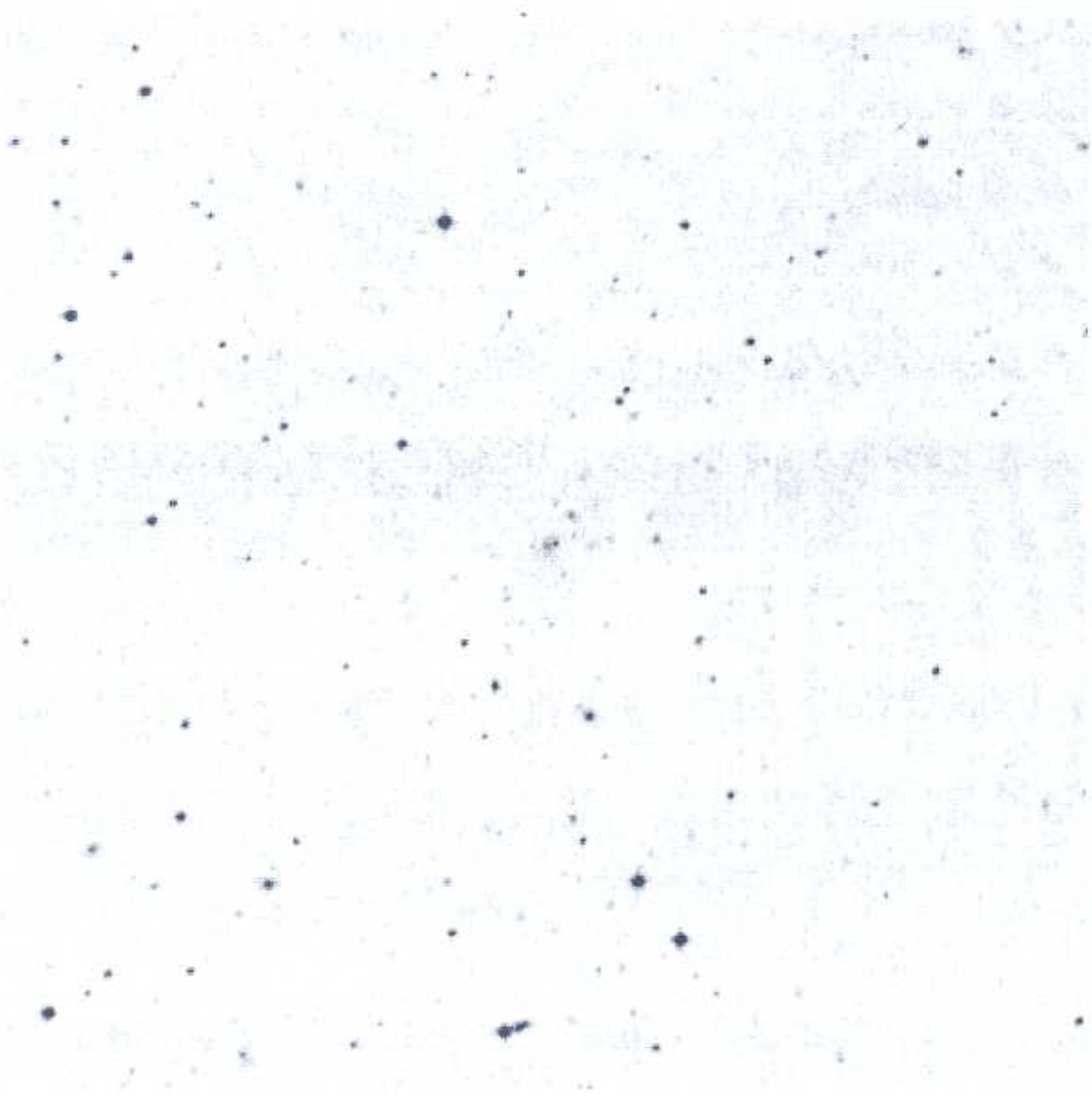
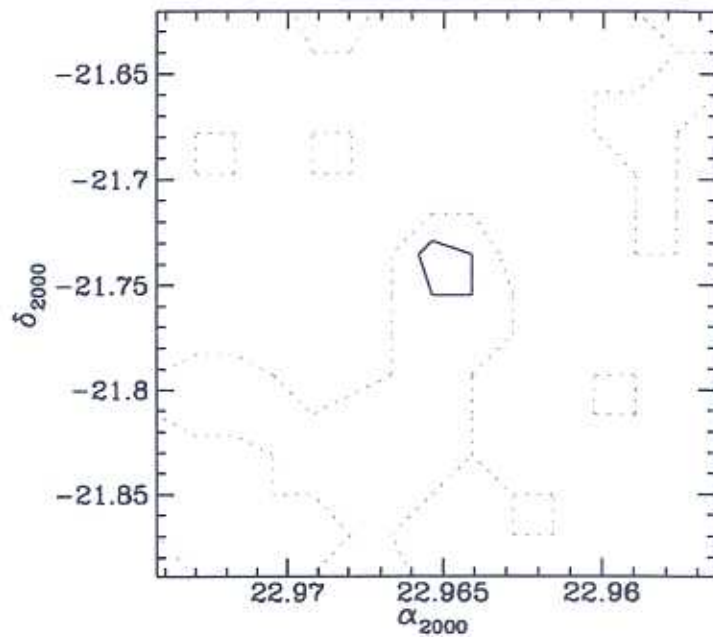
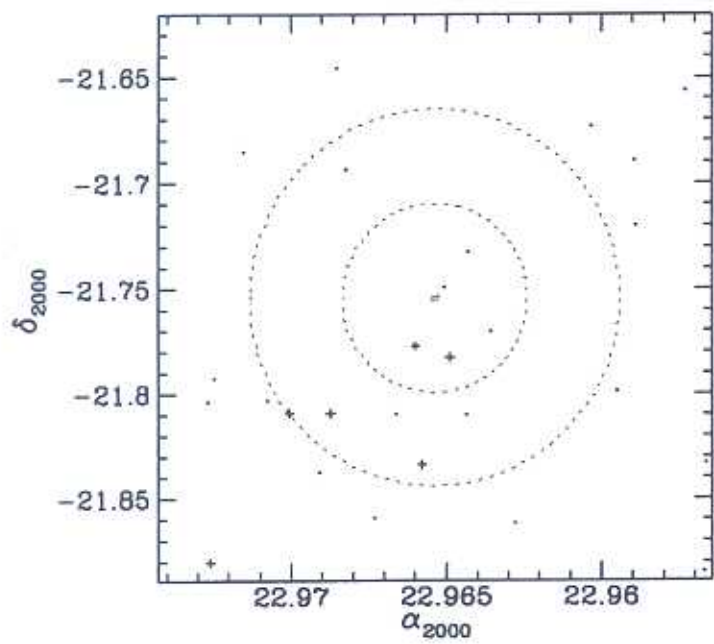


Figura C.1: AqrCC 002 — DSS $10.7' \times 10.7'$



AqrCC 002 (A2509)

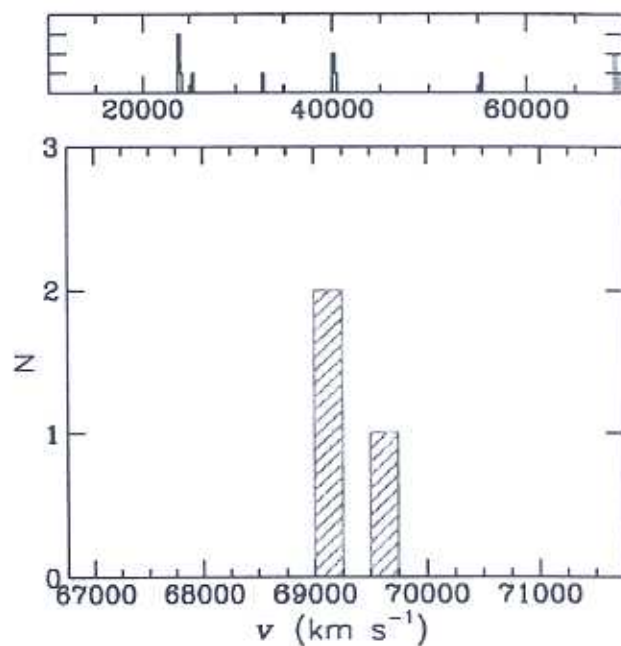
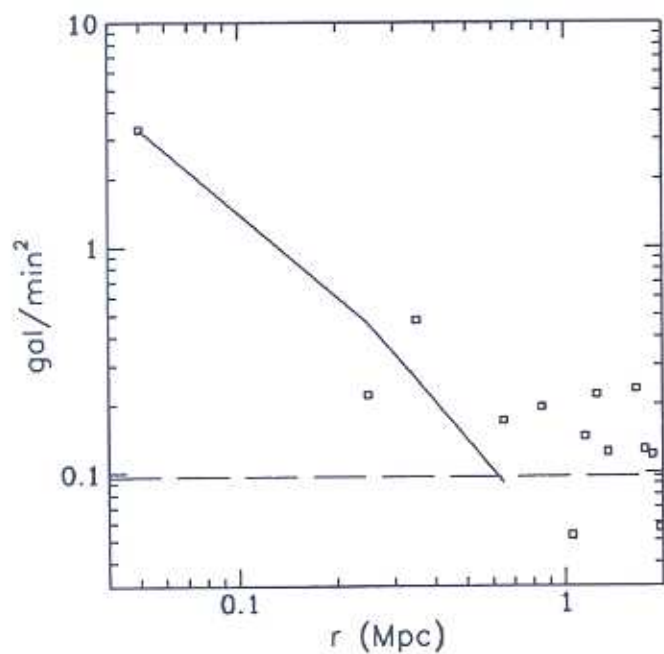
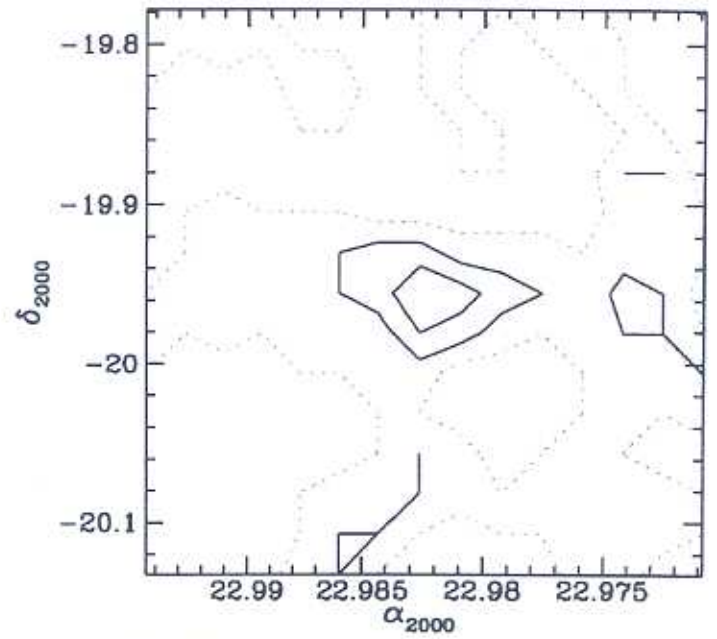
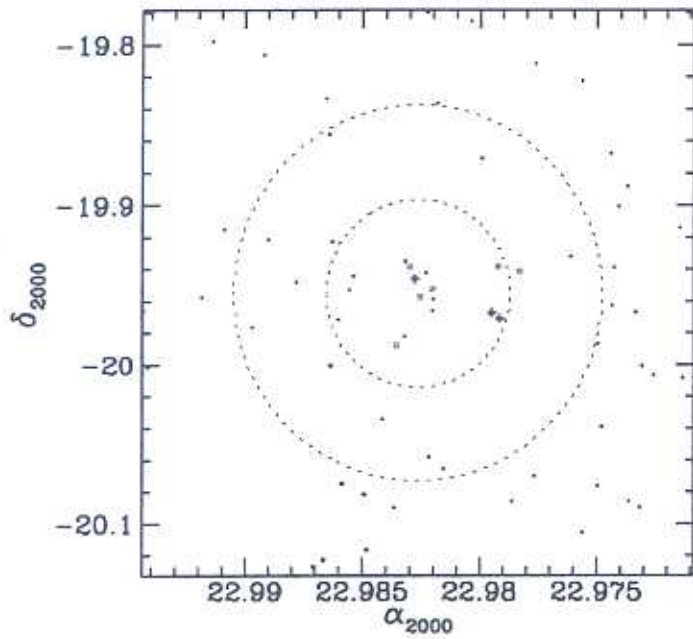


Figura C.2: AqrCC 002 — gráficos



Figura C.3: AqrCC 004 — DSS 14.1' × 14.1'



AqrCC 004 (A3949)

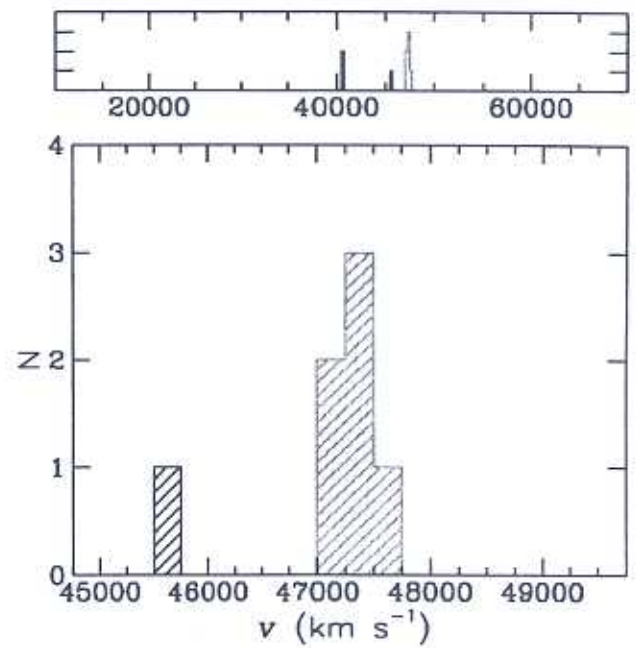
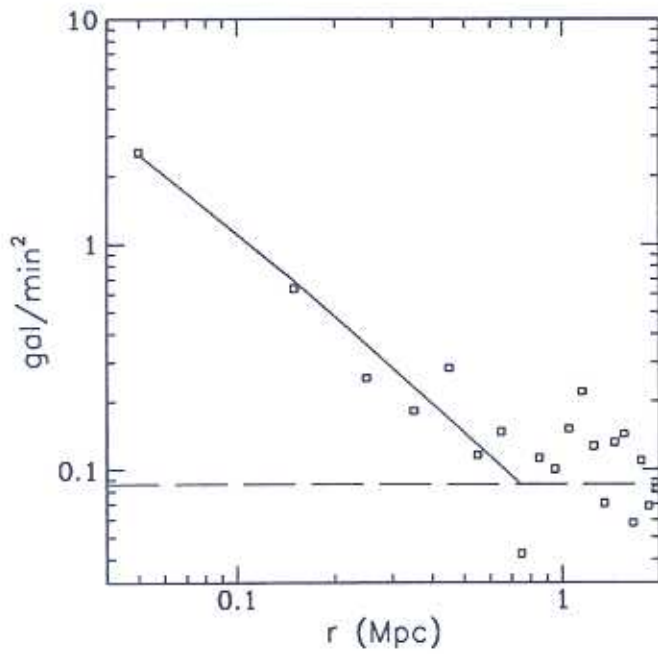


Figura C.4: AqrCC 004 — gráficos

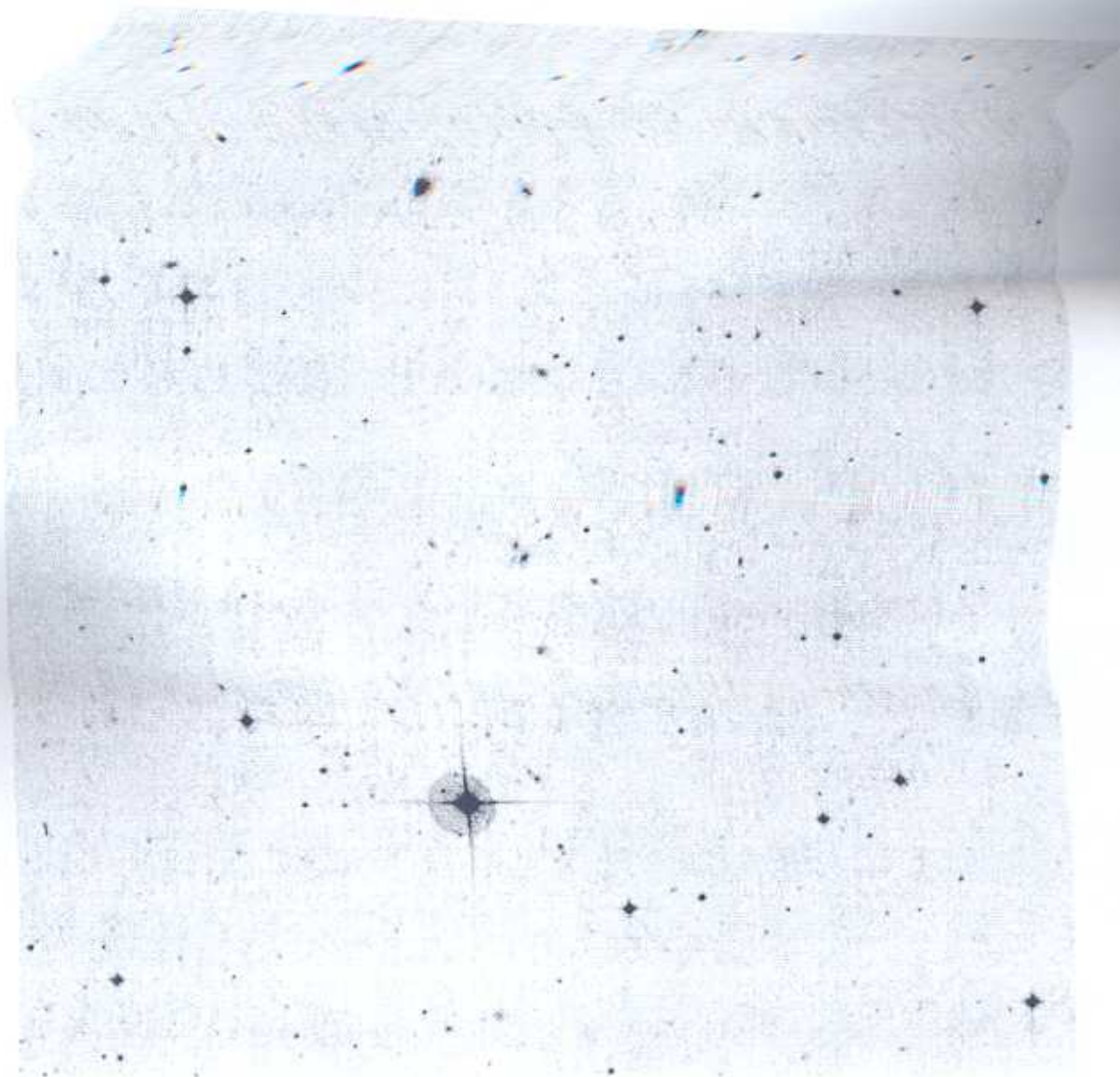


Figura C.5: AqrCC 005 — DSS 17.8' × 17.8'

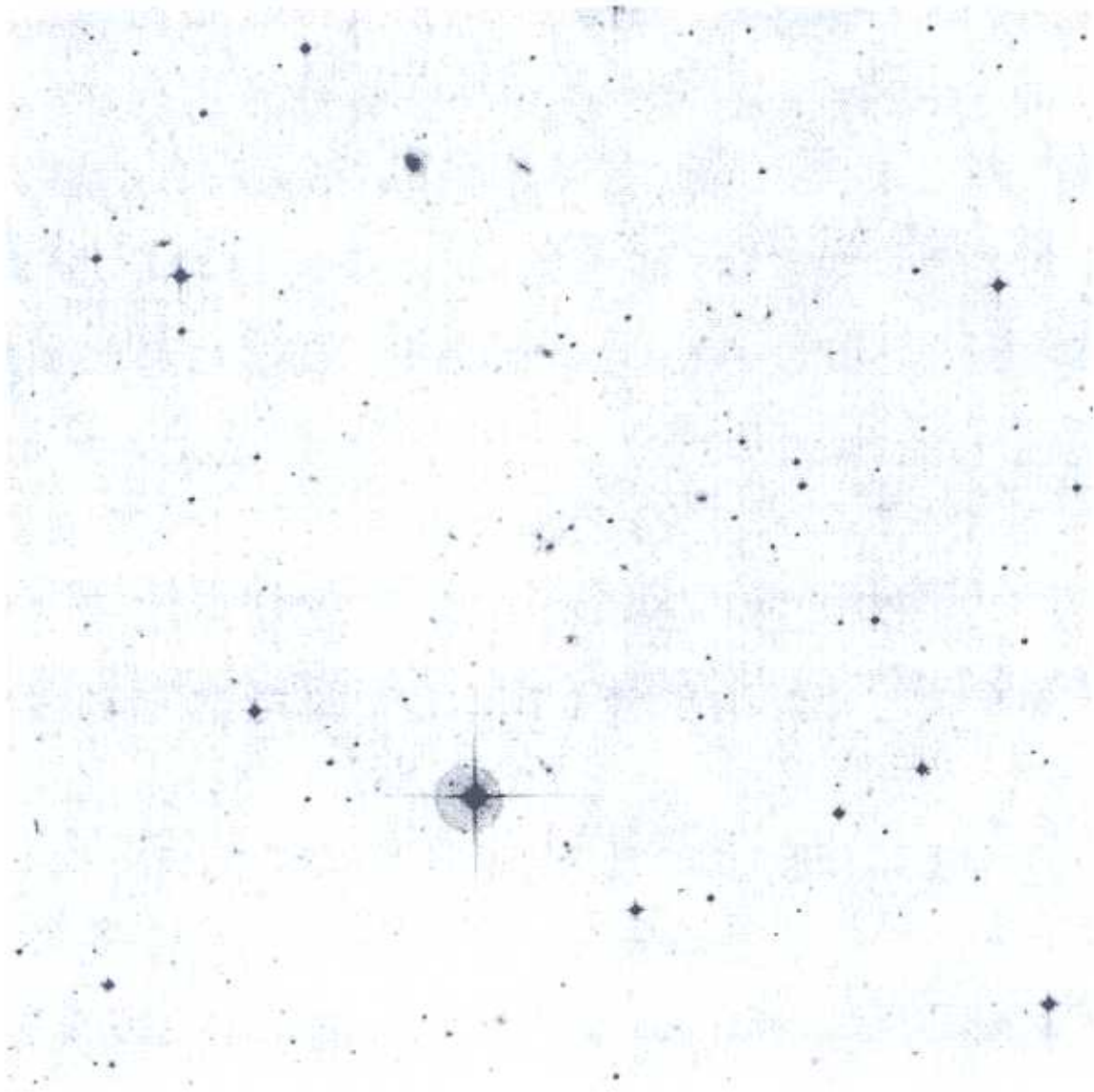
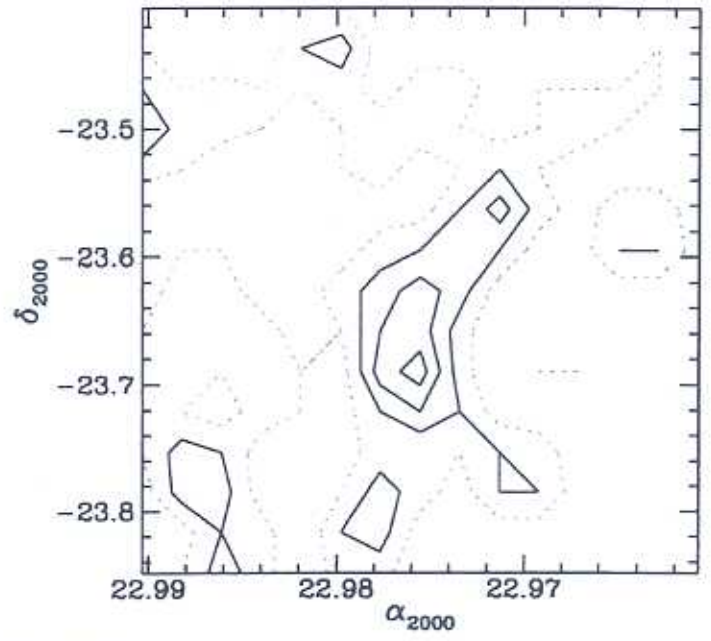
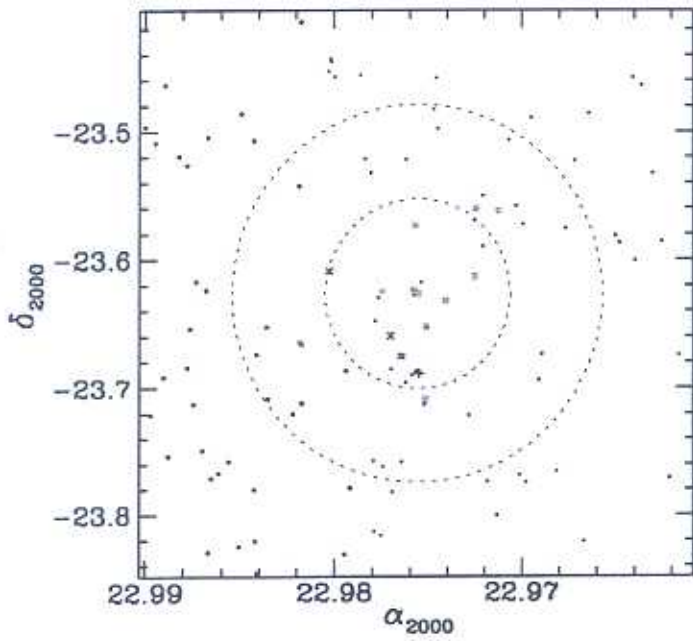


Figura C.5: AqrCC 005 — DSS $17.8' \times 17.8'$



AqrCC 005

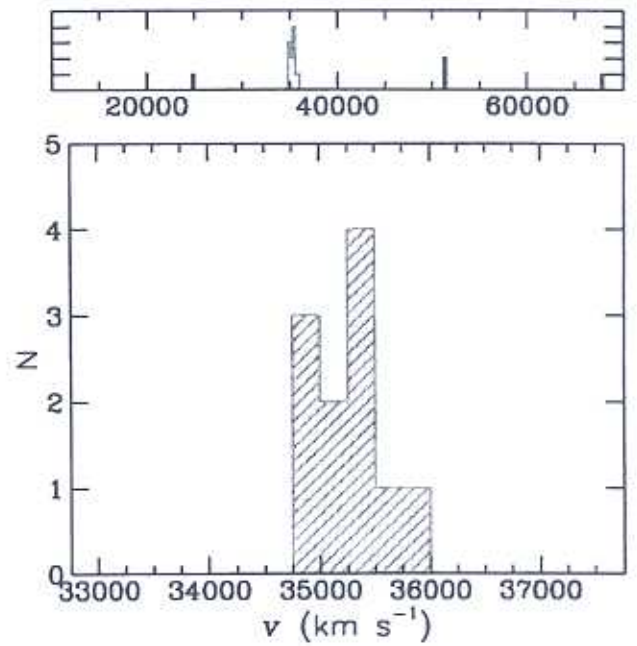
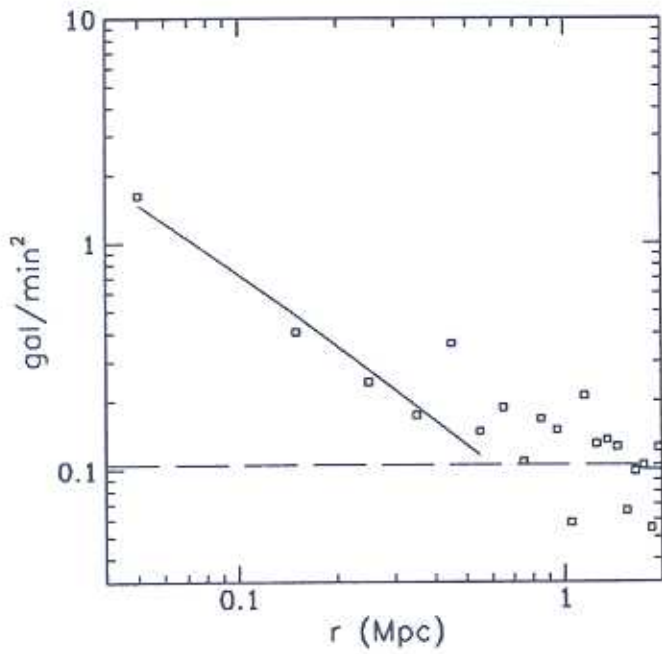


Figura C.6: AqrCC 005 — gráficos

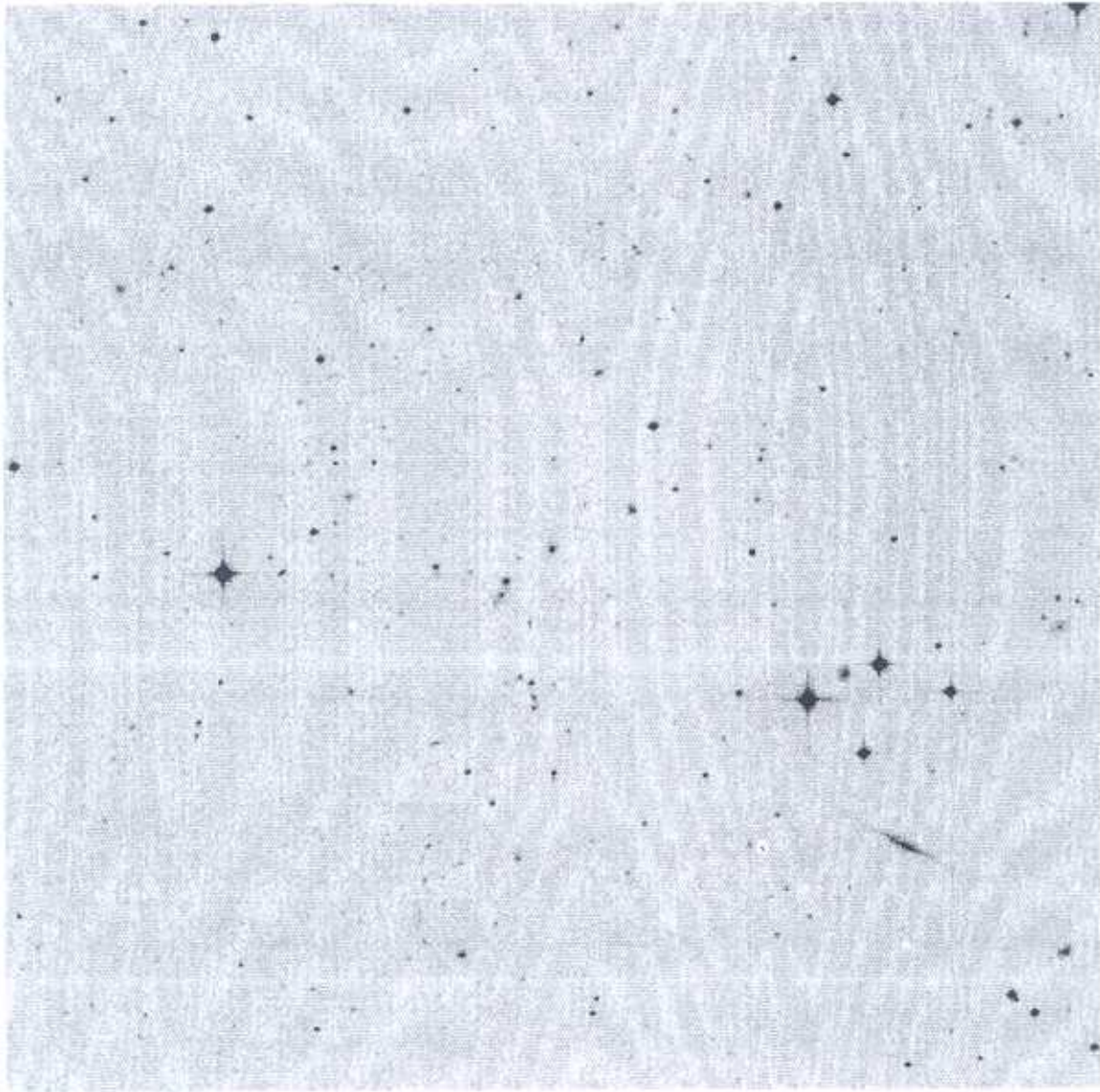
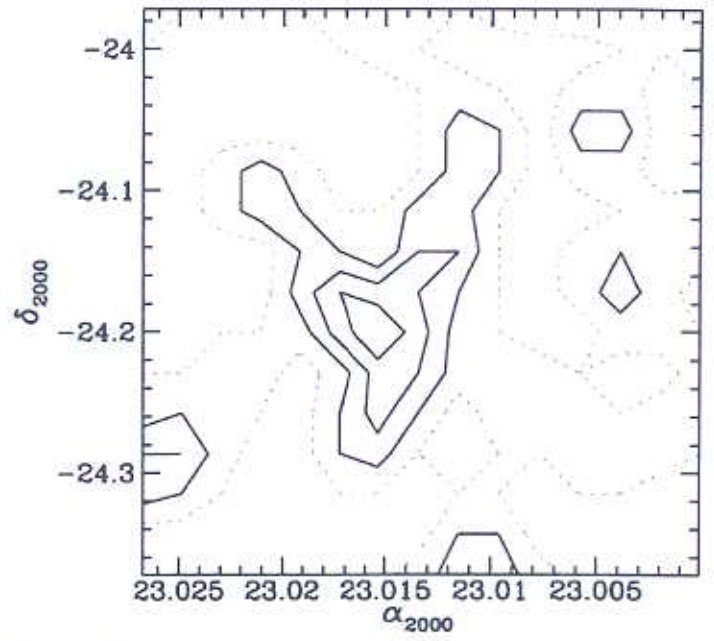
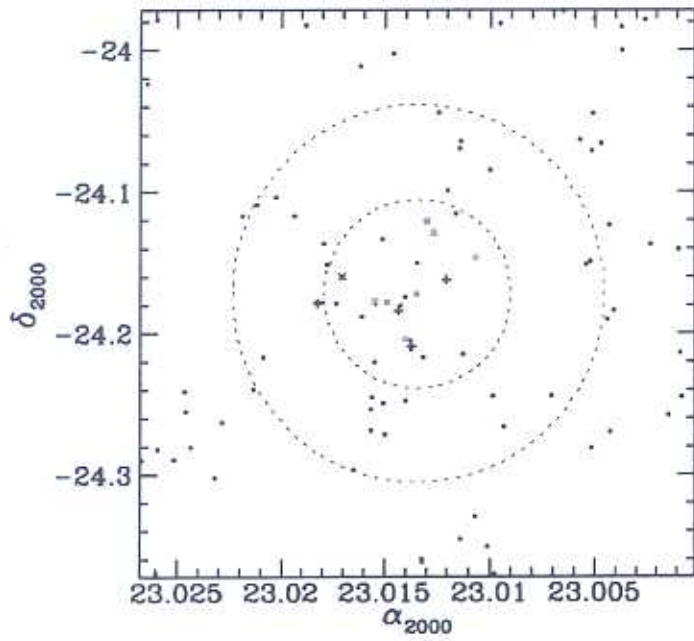


Figura C.7: AqrCC 009-A — DSS 16.0' × 16.0'



AqrCC 009 (A2518-A)

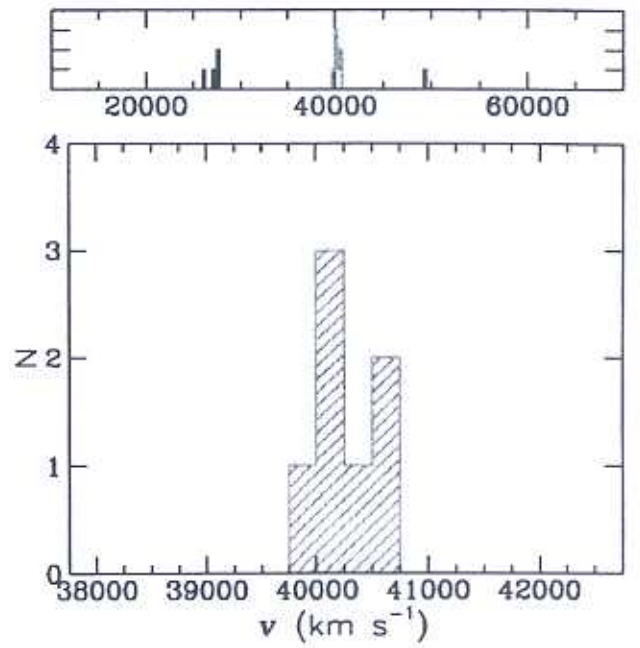
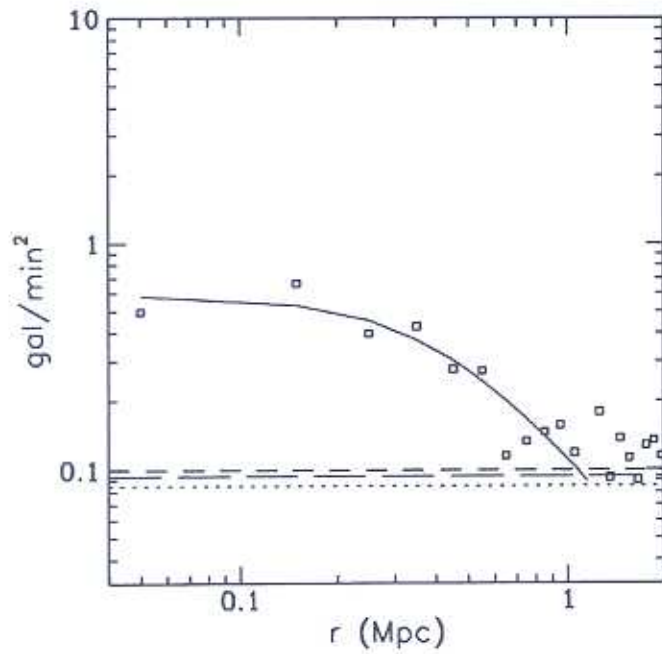
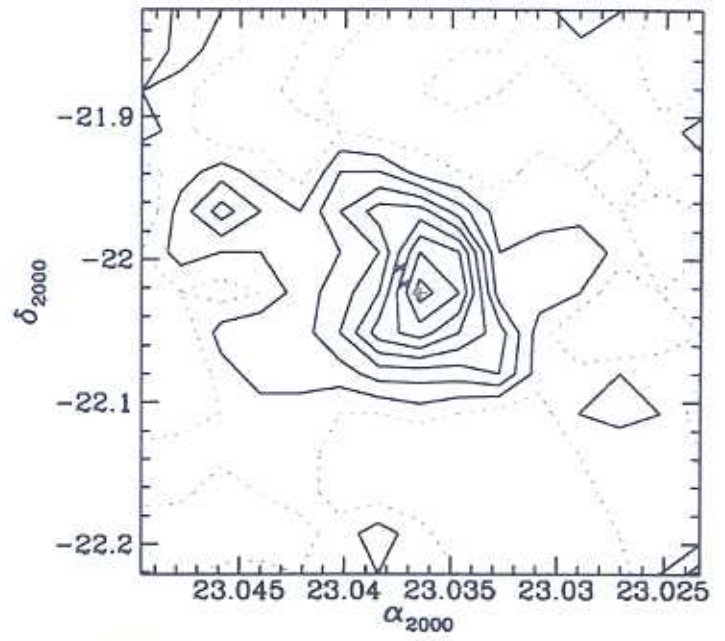
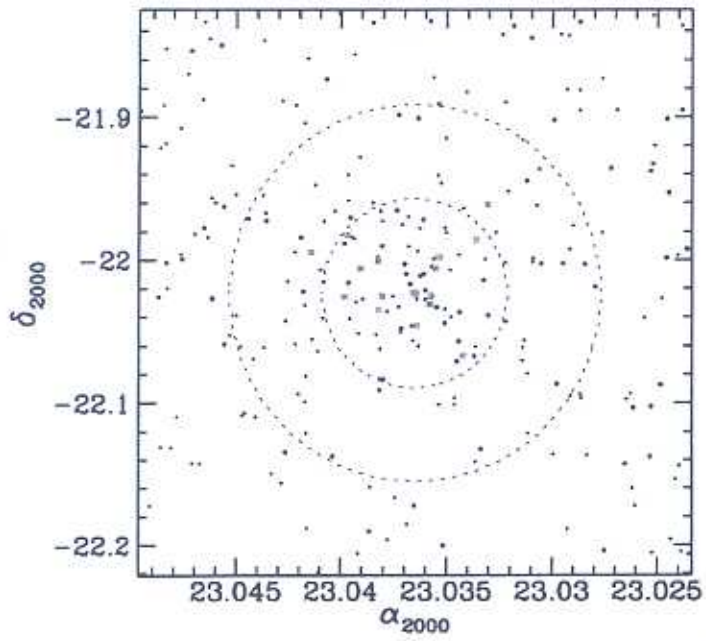


Figura C.8: AqrCC 009-A — gráficos



Figura C.9: AqrCC 010 — DSS 15.8' × 15.8'



AqrCC 010 (A2521)

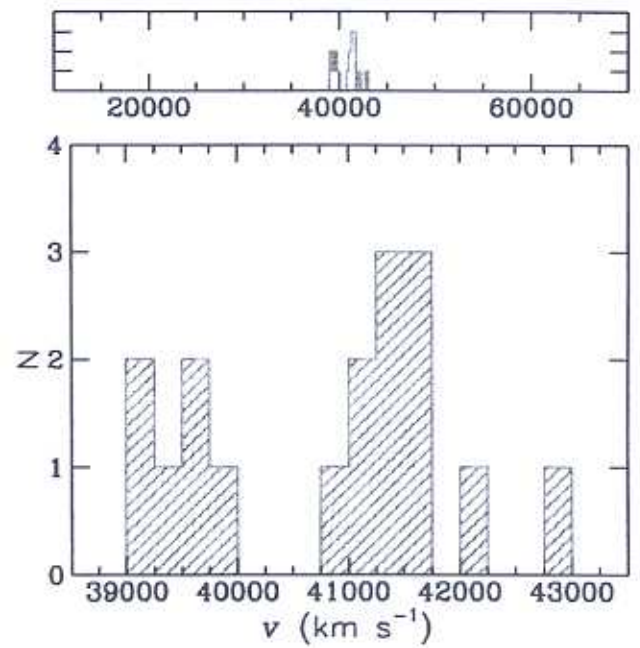
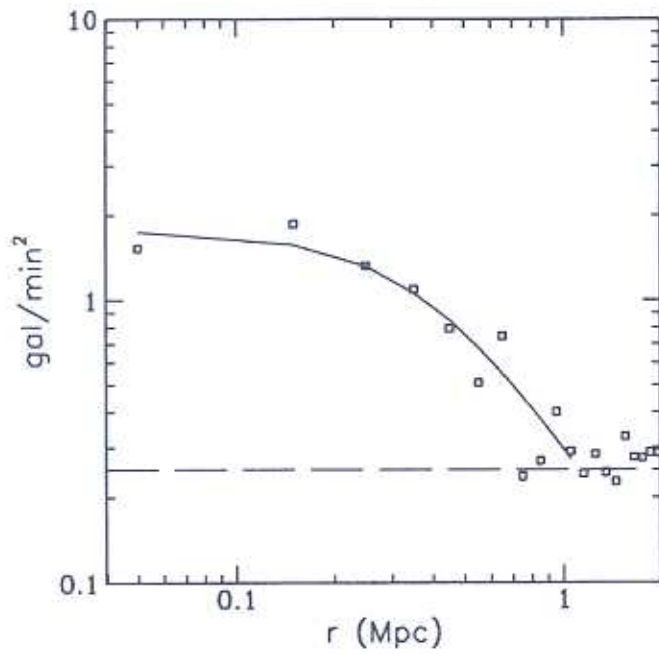


Figura C.10: AqrCC 010 — gráficos

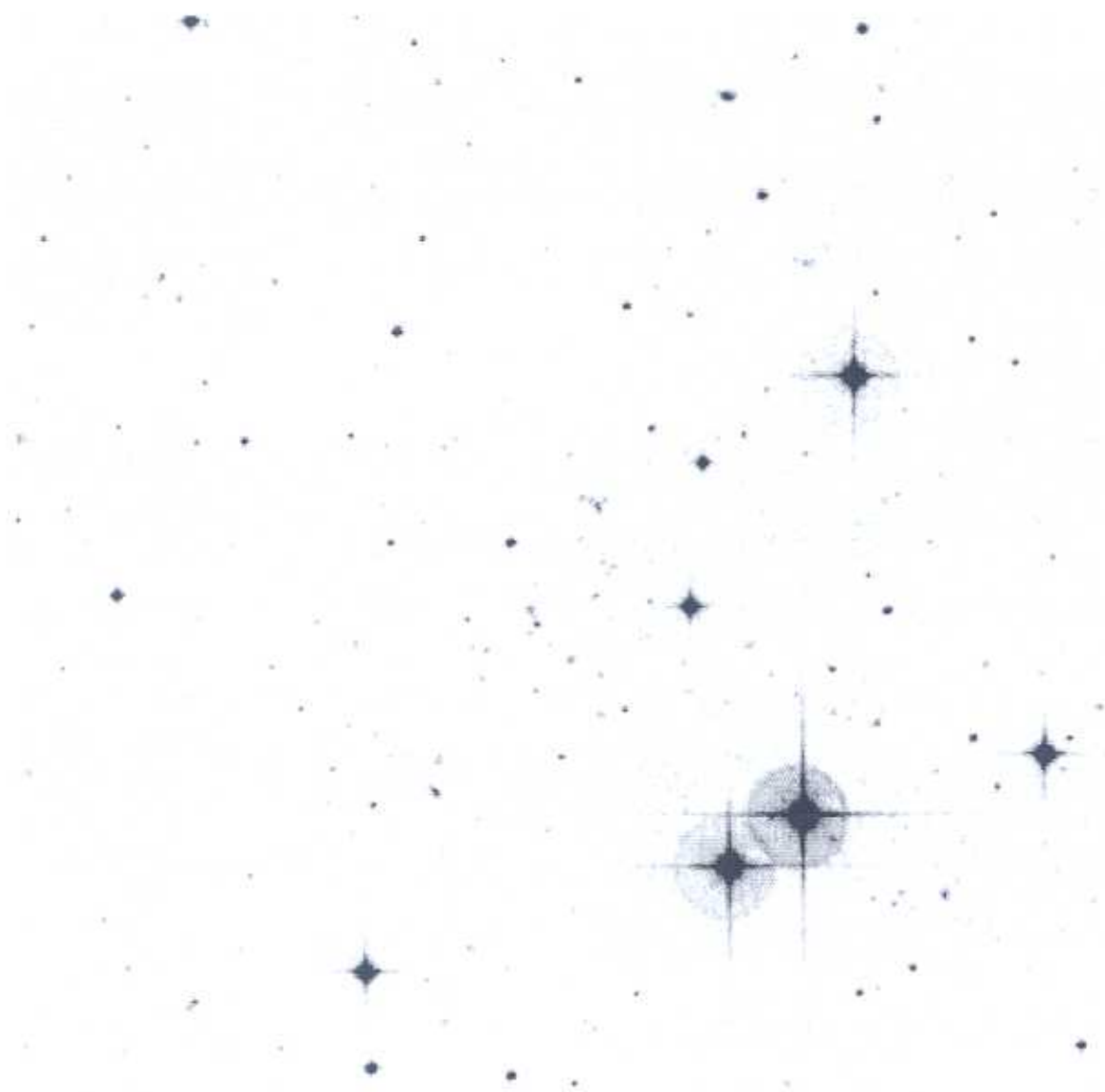
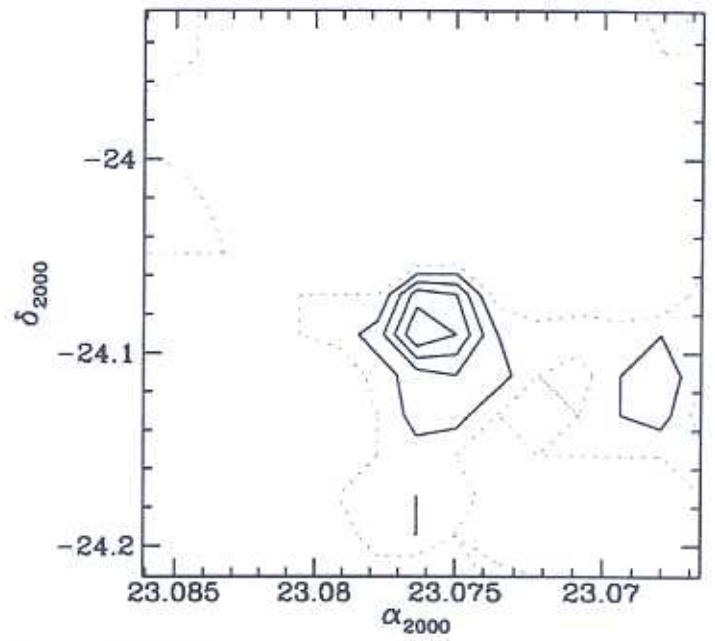
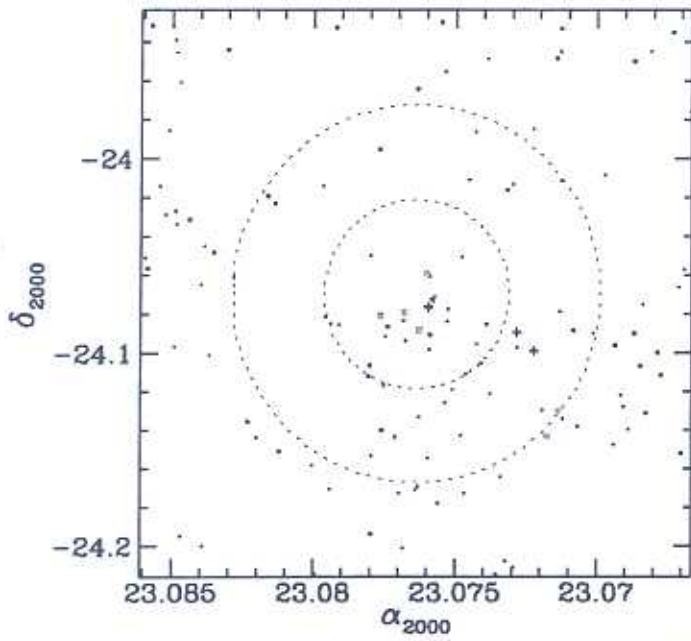


Figura C.11: AqrCC 012 — DSS 11.7' × 11.7'



AqrCC 012 (A2526)

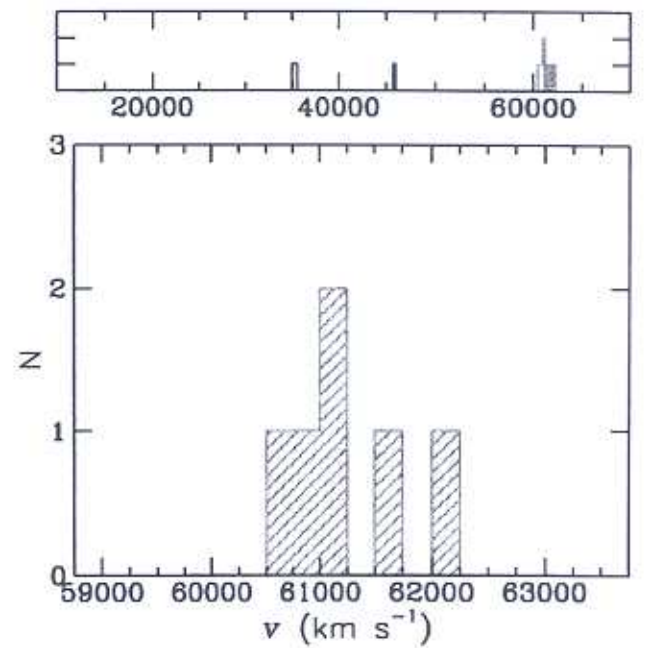
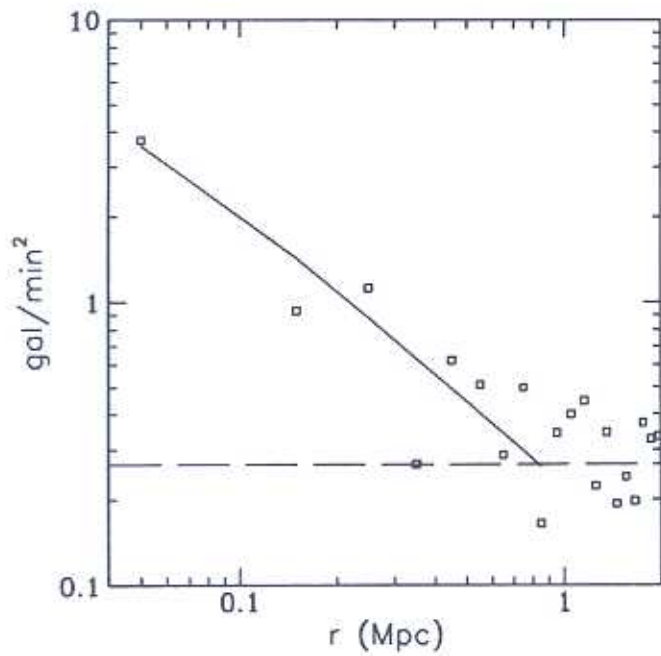


Figura C.12: AqrCC 012 — gráficos

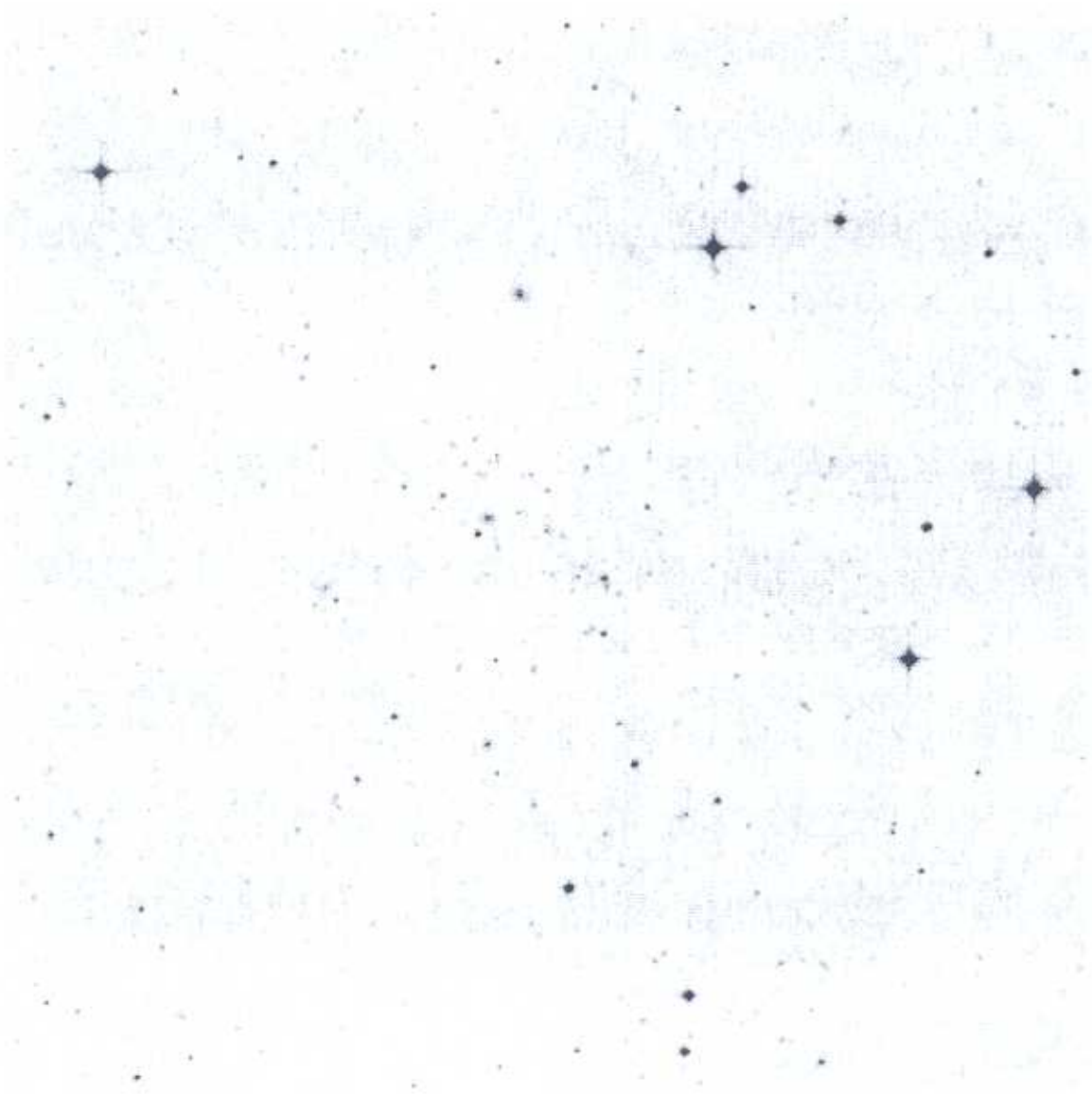
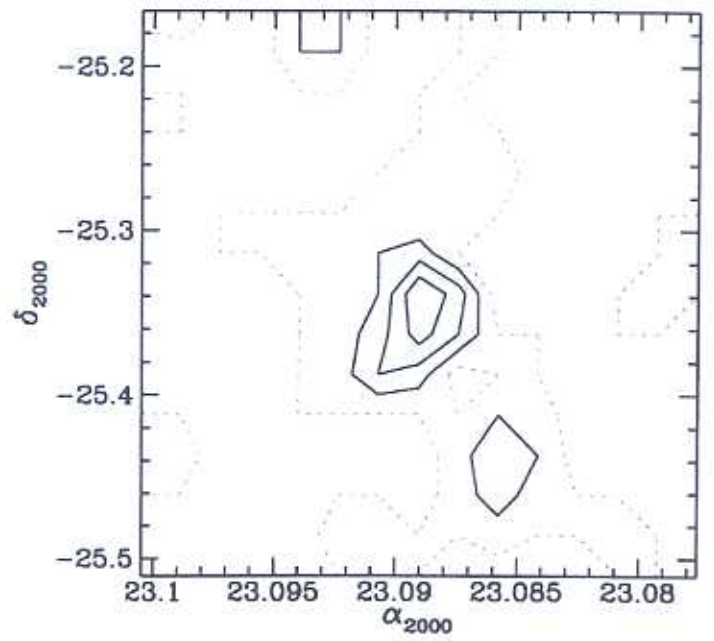
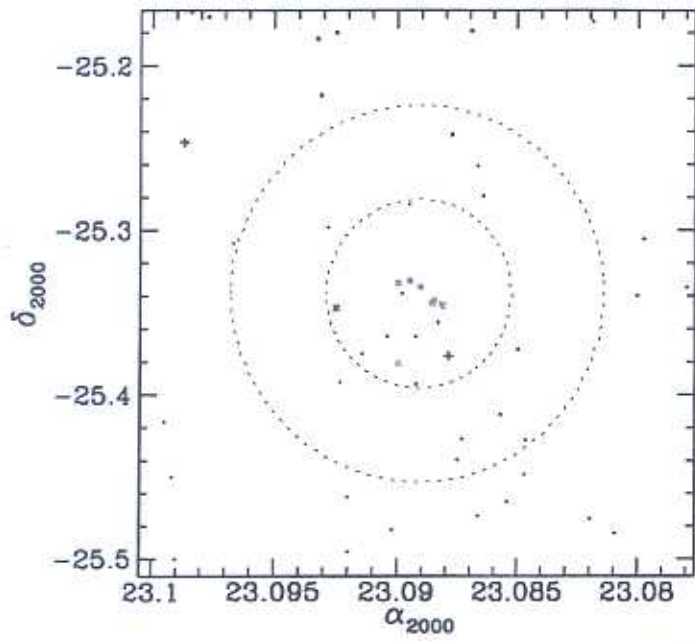


Figura C.13: AqrCC 014 — DSS 13.8' × 13.8'



AqrCC 014 (A2527)

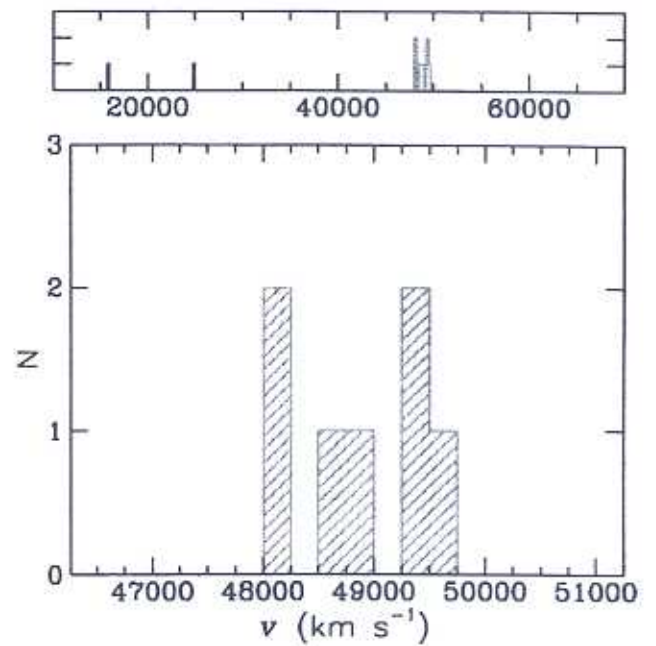
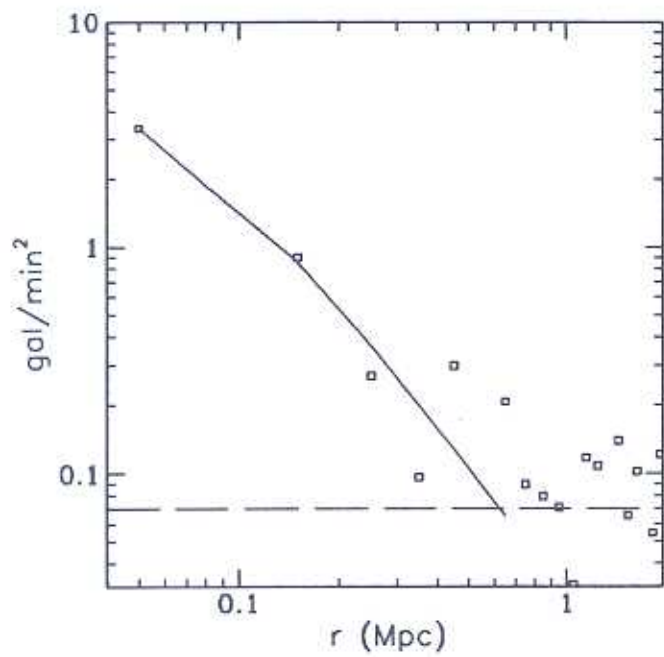


Figura C.14: AqrCC 014 — gráficos

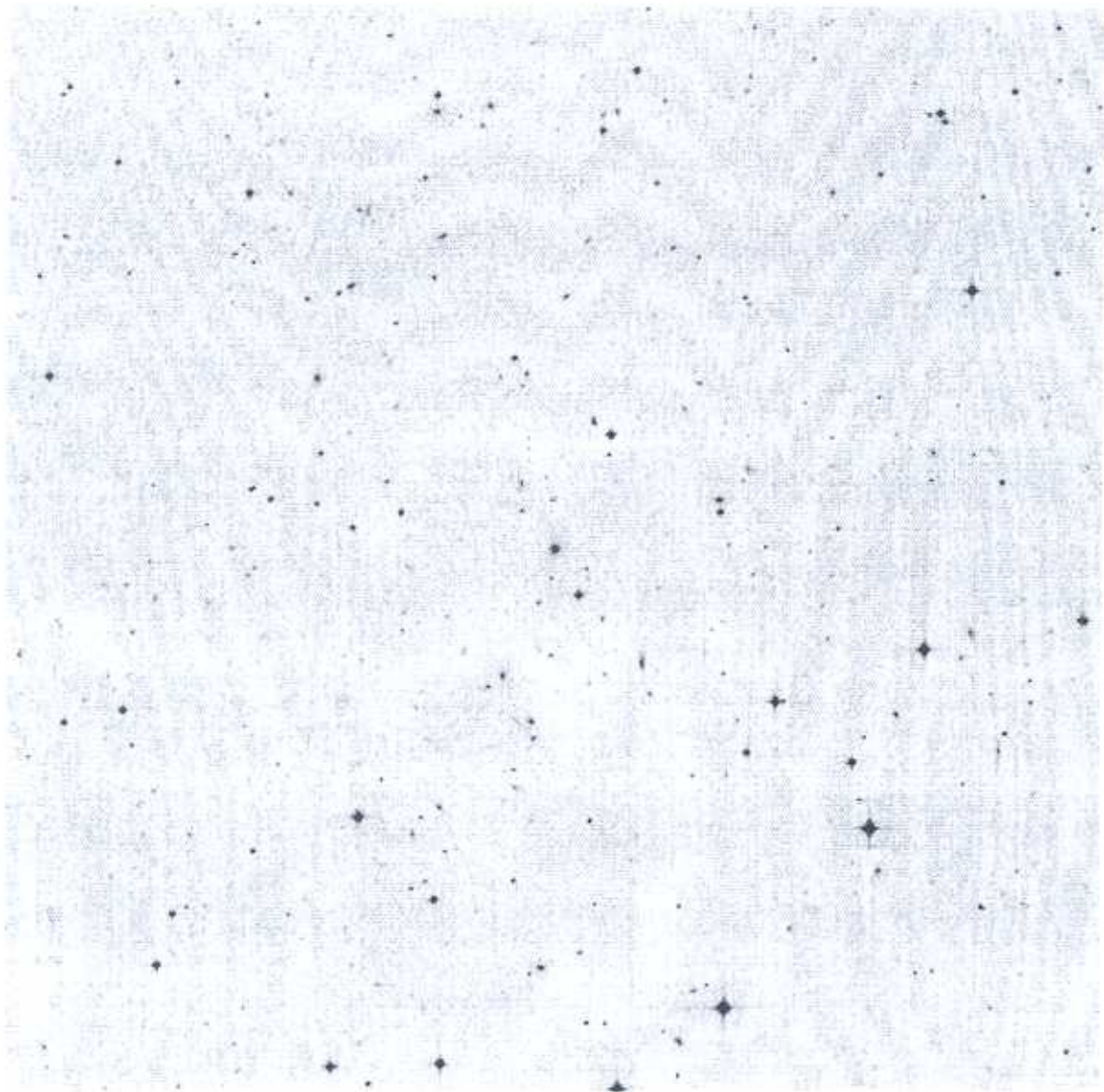
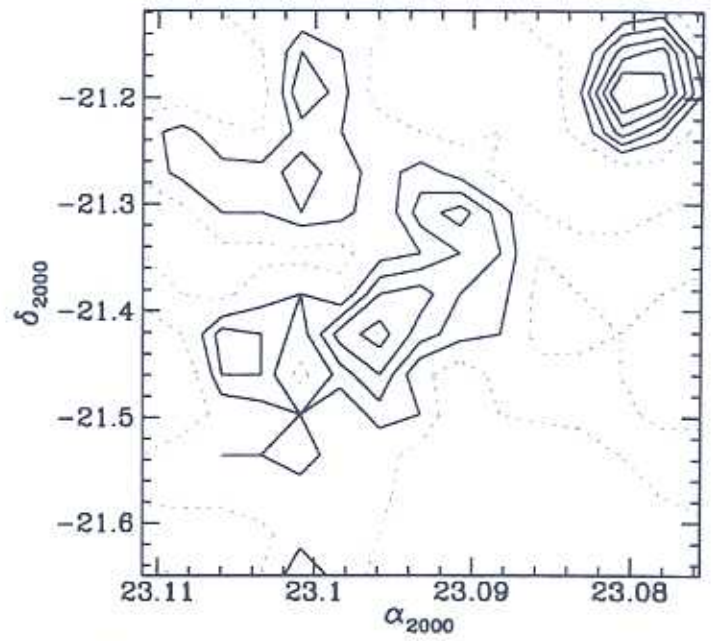
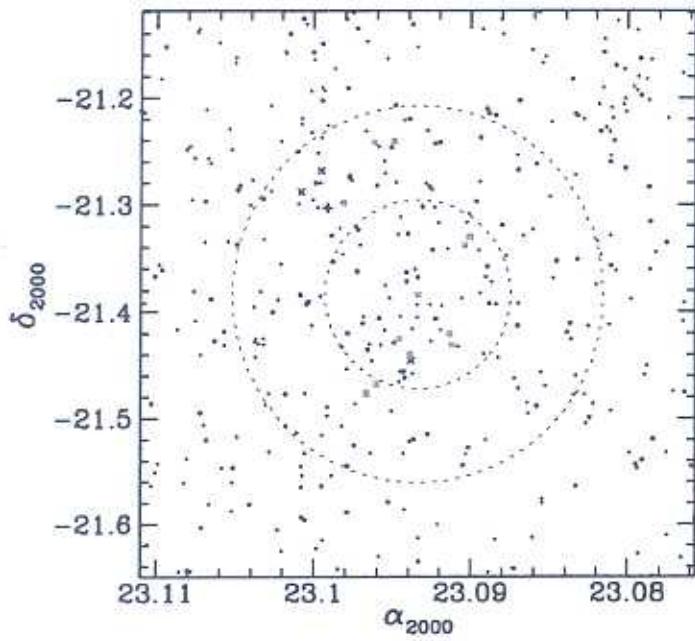


Figura C.15: AqrCC 015 — DSS 21.2' × 21.2'



Aqr 015 (A2528)

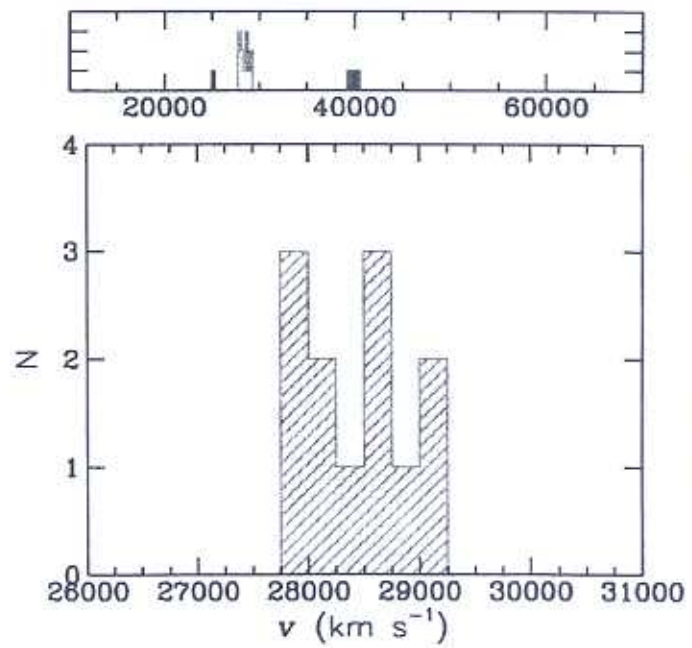
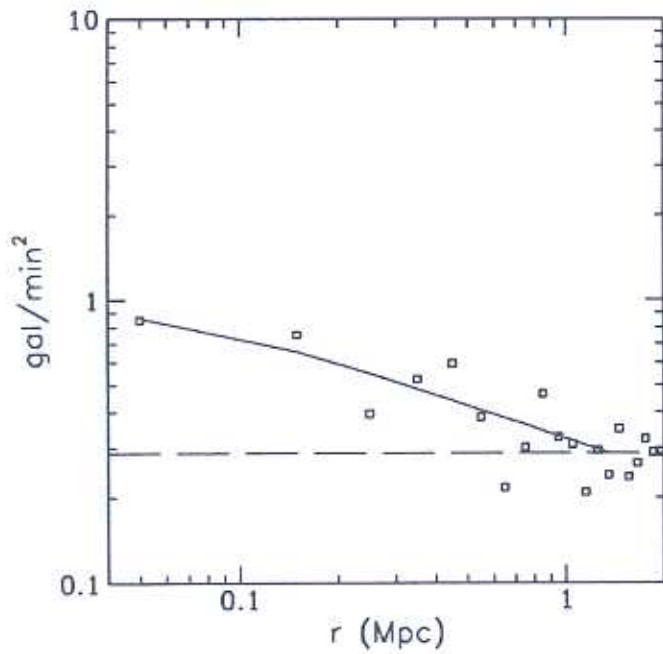


Figura C.16: AqrCC 015 — gráficos

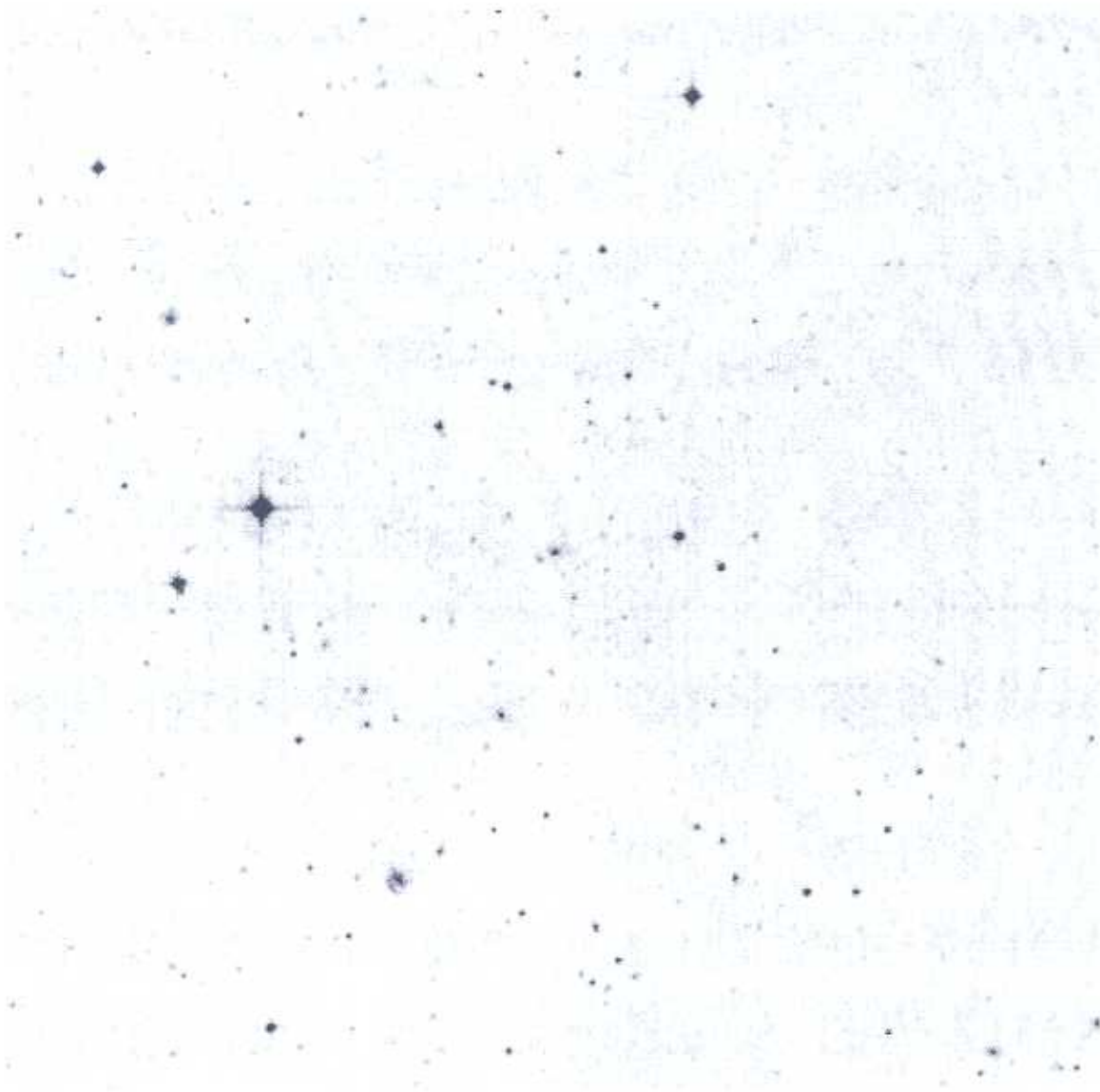
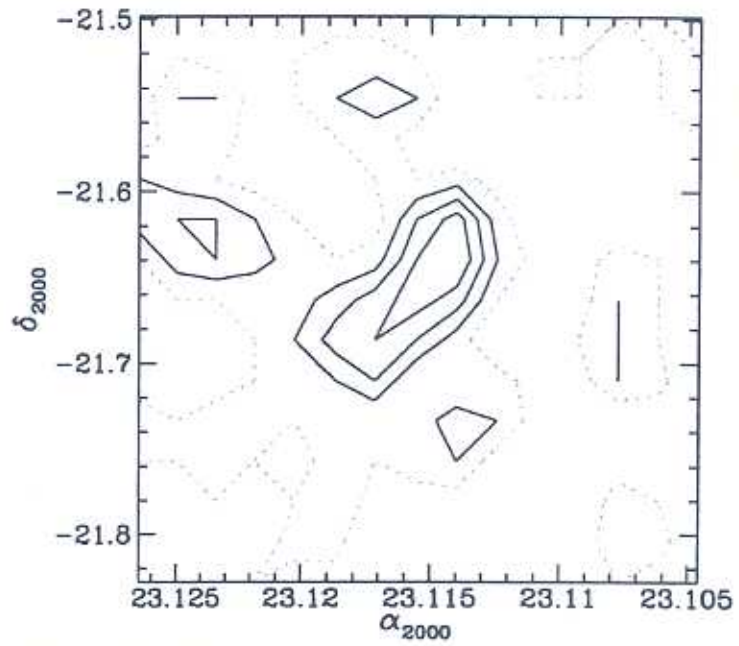
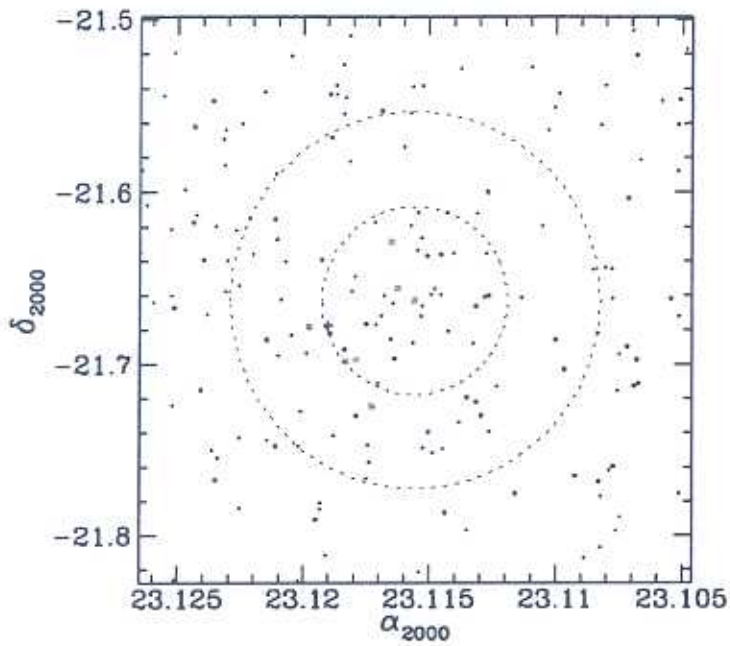


Figura C.17: AqrCC 016 — DSS $13.2' \times 13.2'$



AqrCC 016 (A2531)

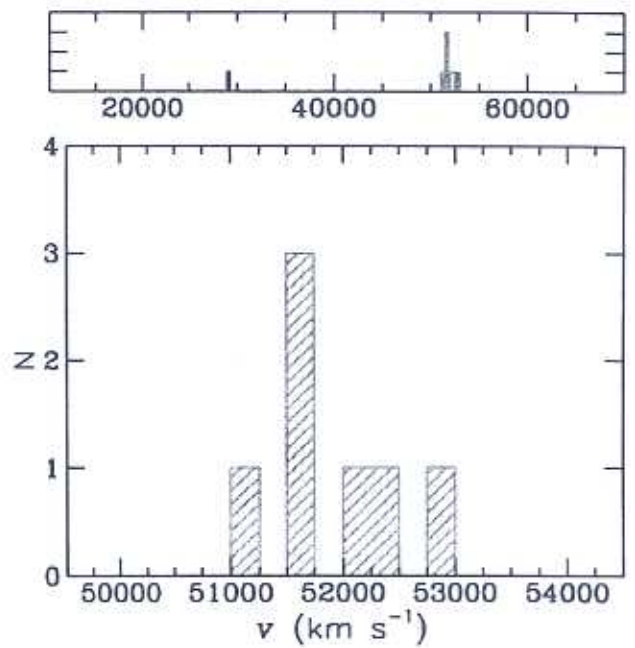
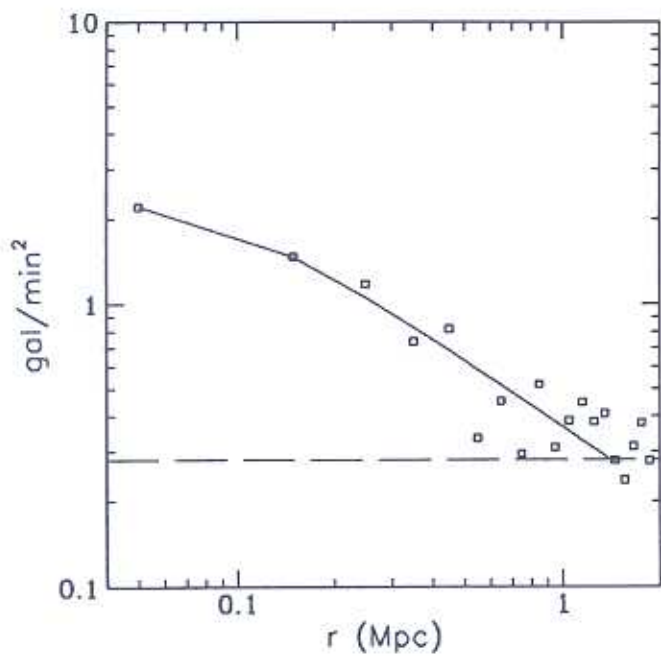
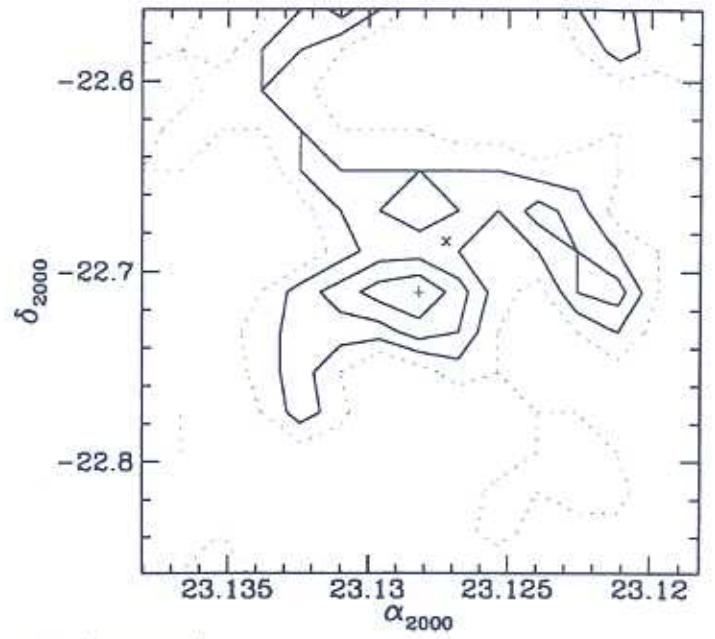
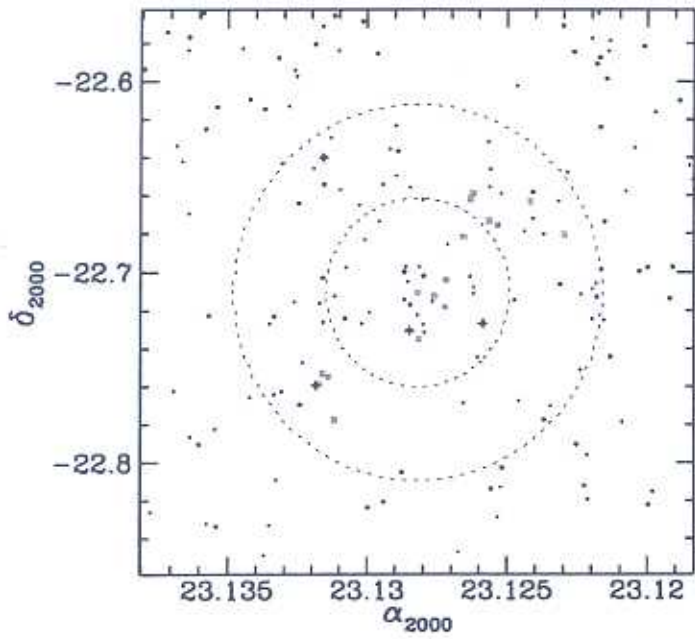


Figura C.18: AqrCC 016 — gráficos



Figura C.19: AqrCC 017 — DSS 11.8' × 11.8'



AqrCC 017 (A2534)

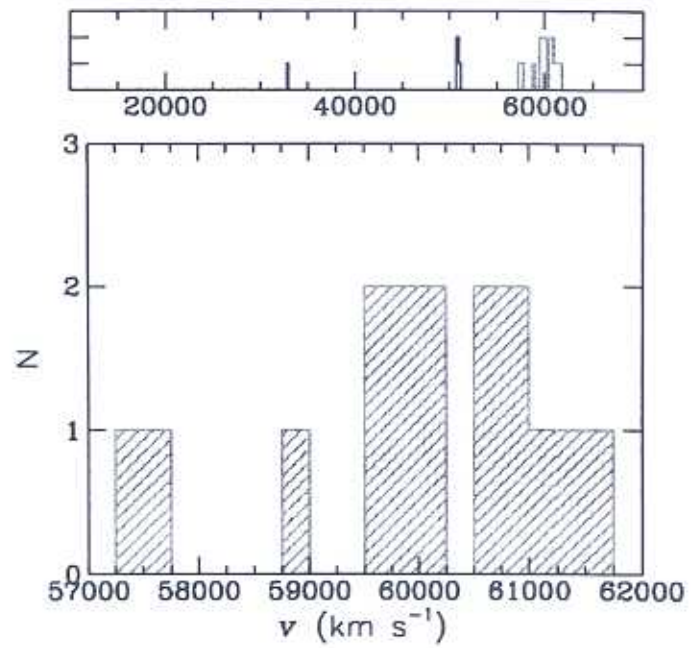
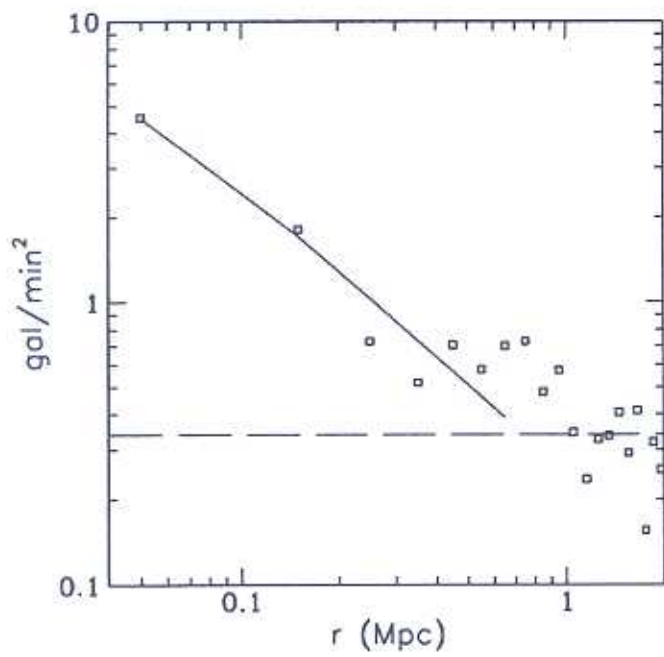
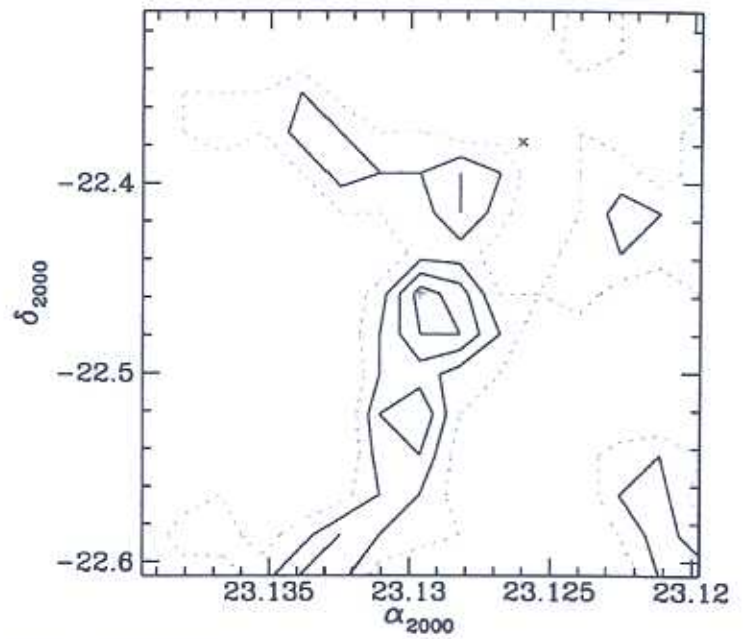
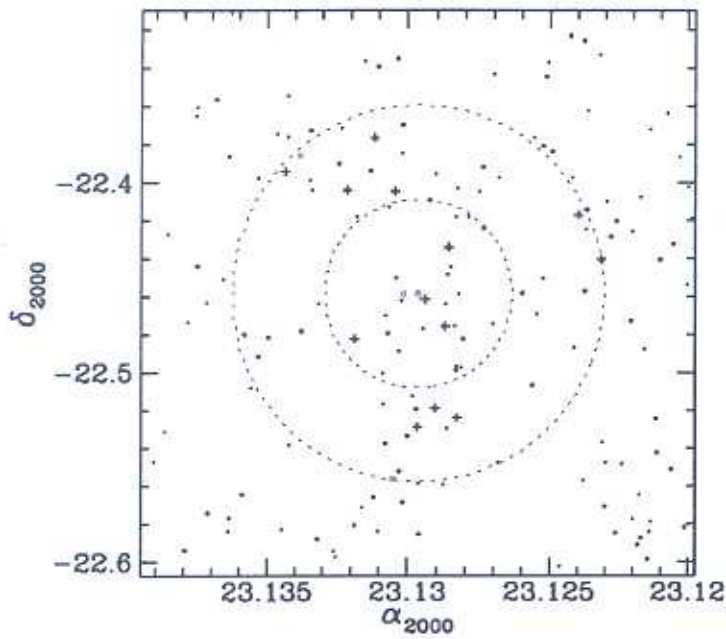


Figura C.20: AqrCC 017 — gráficos



Figura C.21: AqrCC 018 — DSS 12.0' × 12.0'



AqrCC 018 (A2536)

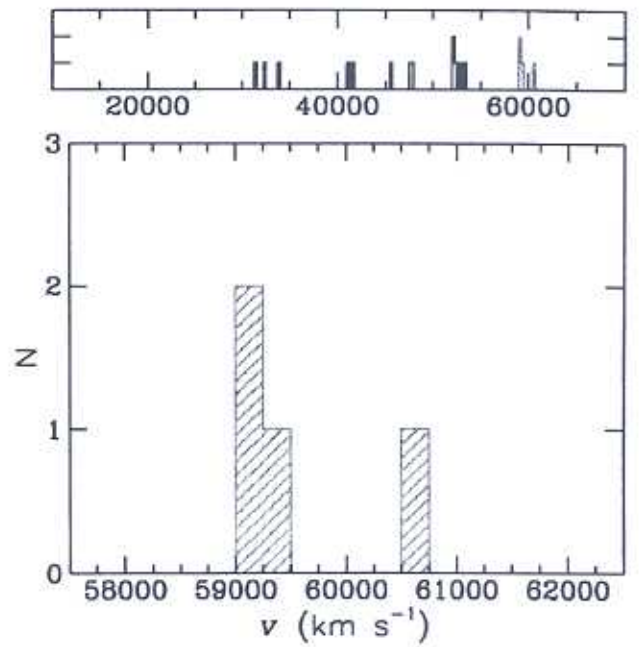
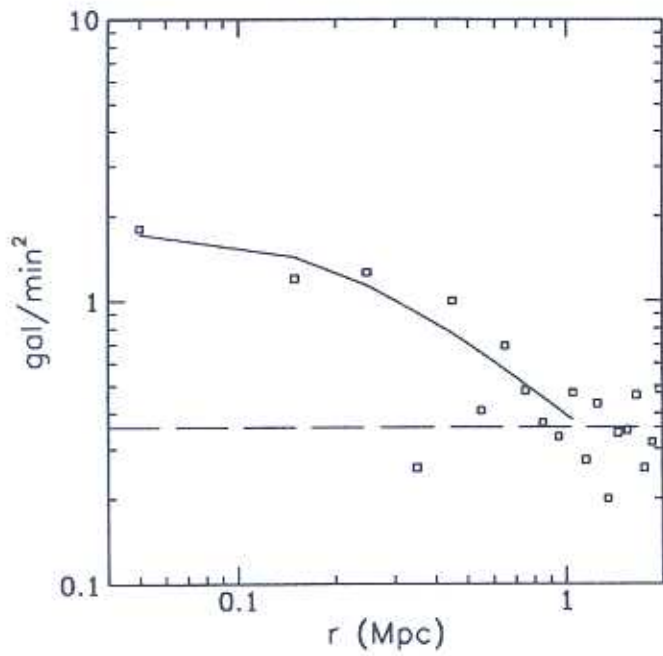


Figura C.22: AqrCC 018 — gráficos

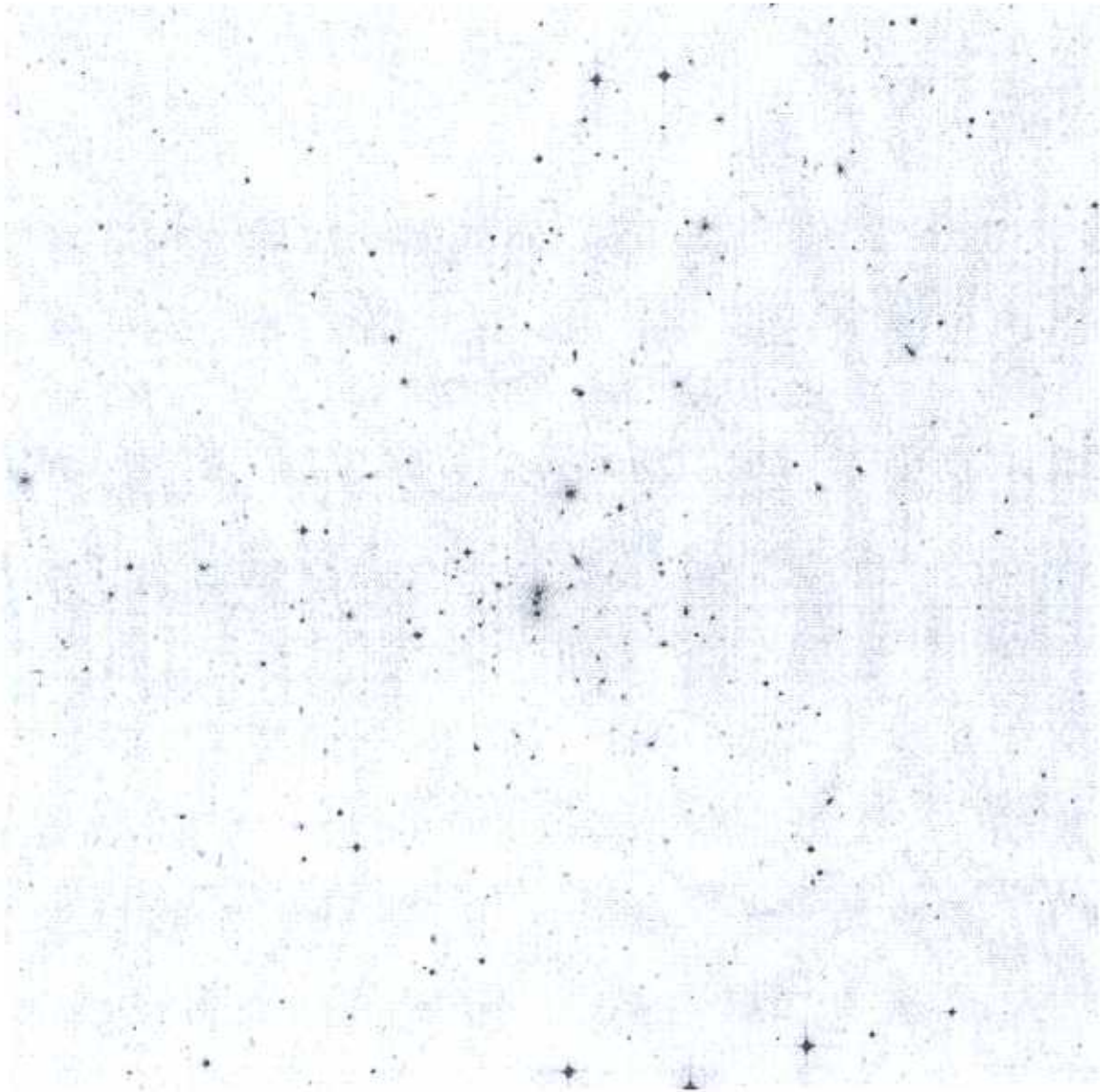
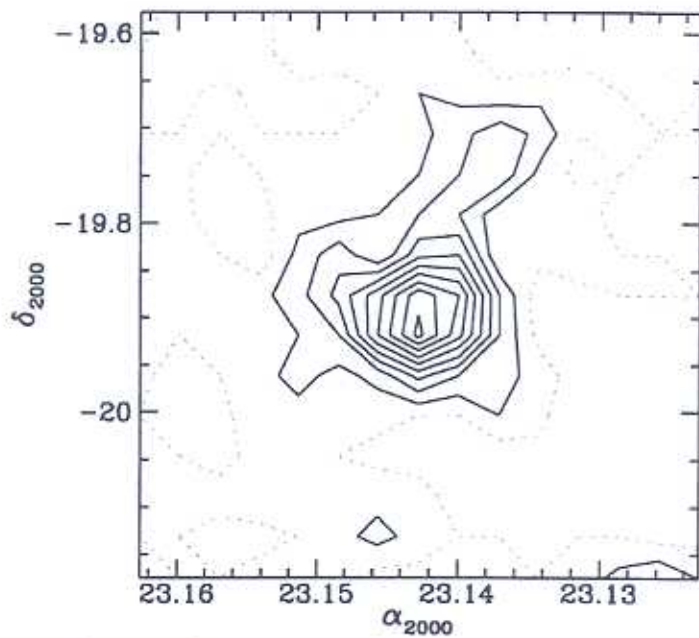
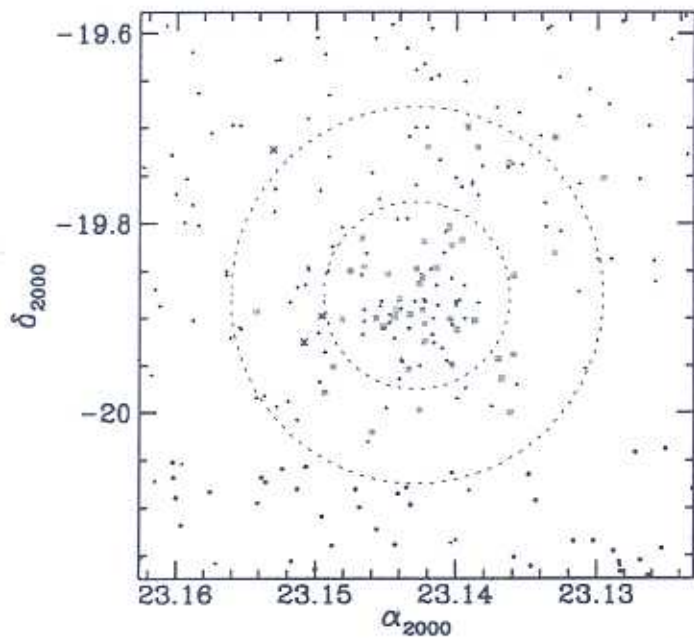


Figura C.23: AqrCC 020 — DSS 23.9' × 23.9'



AqrCC 020 (A2538)

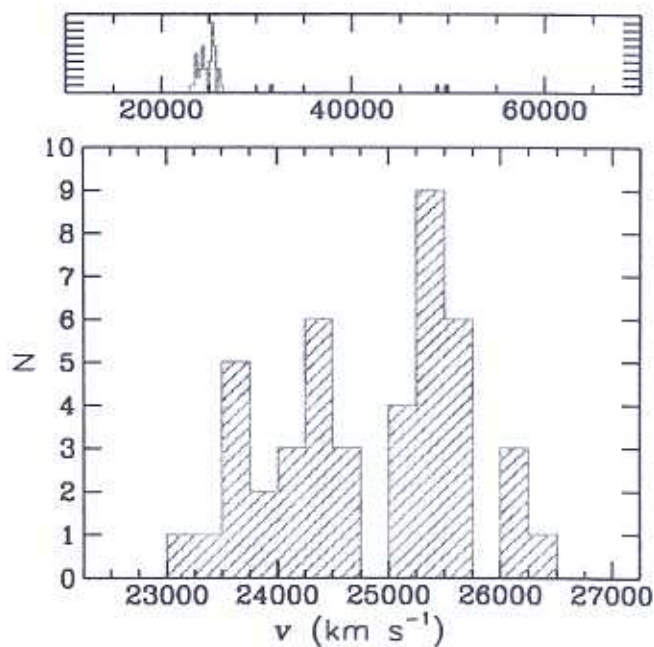
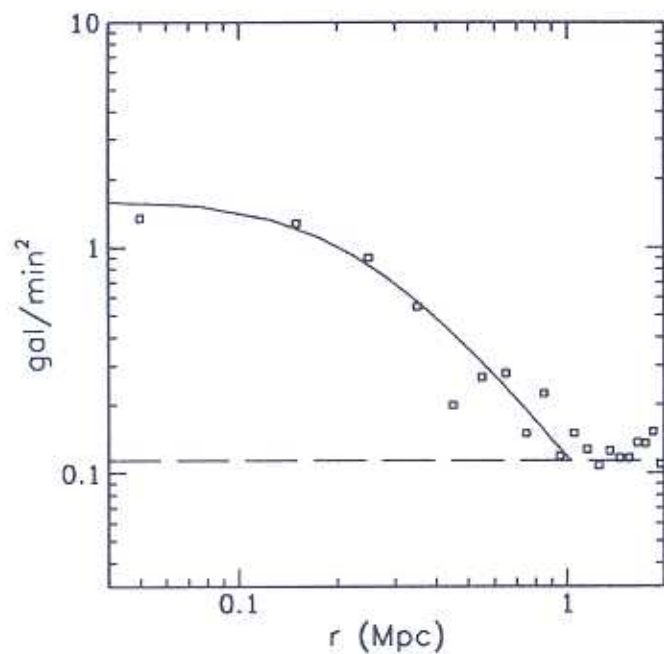
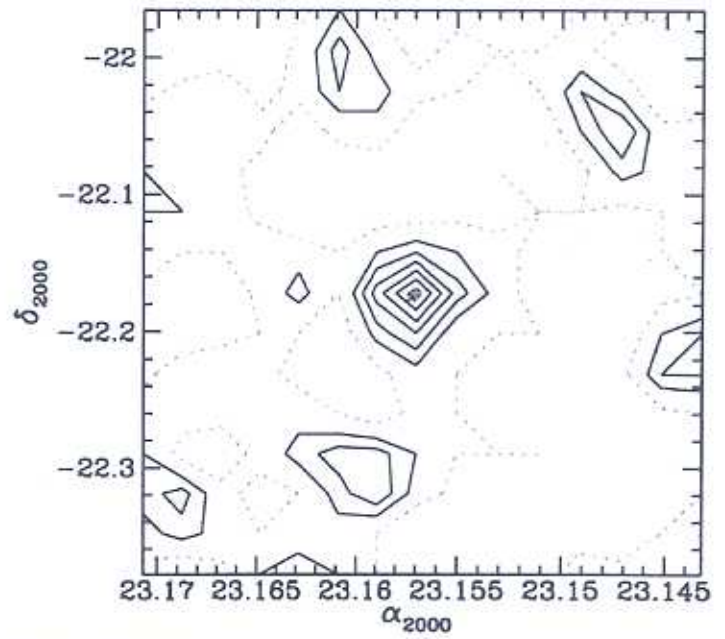
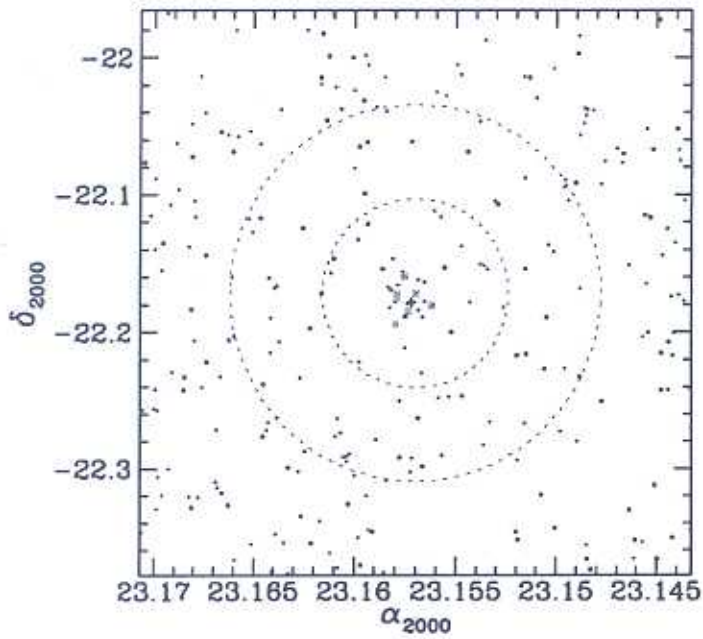


Figura C.24: AqrCC 020 — gráficos



Figura C.25: AqrCC 023 — DSS 16.5' × 16.5'



AqrCC 023 (A2540)

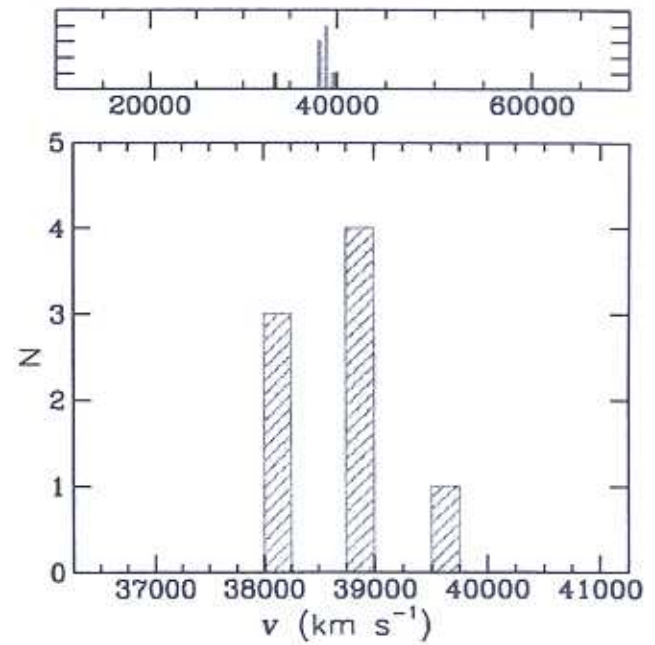
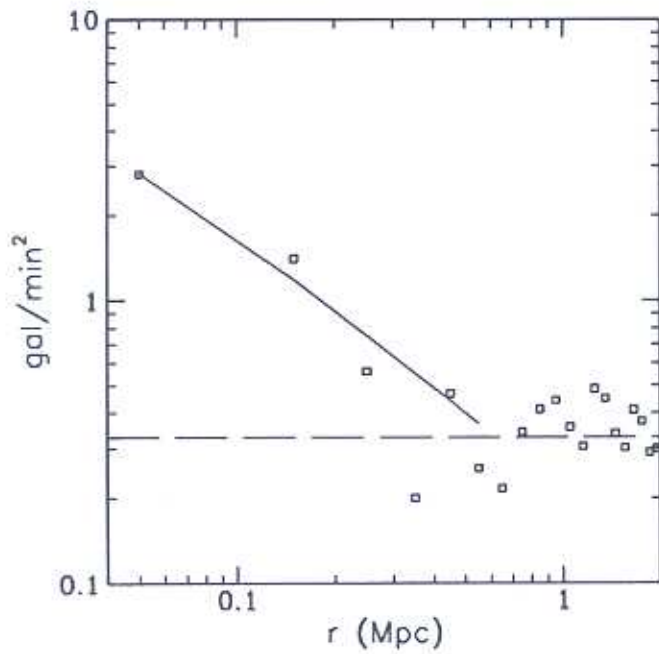


Figura C.26: AqrCC 023 — gráficos

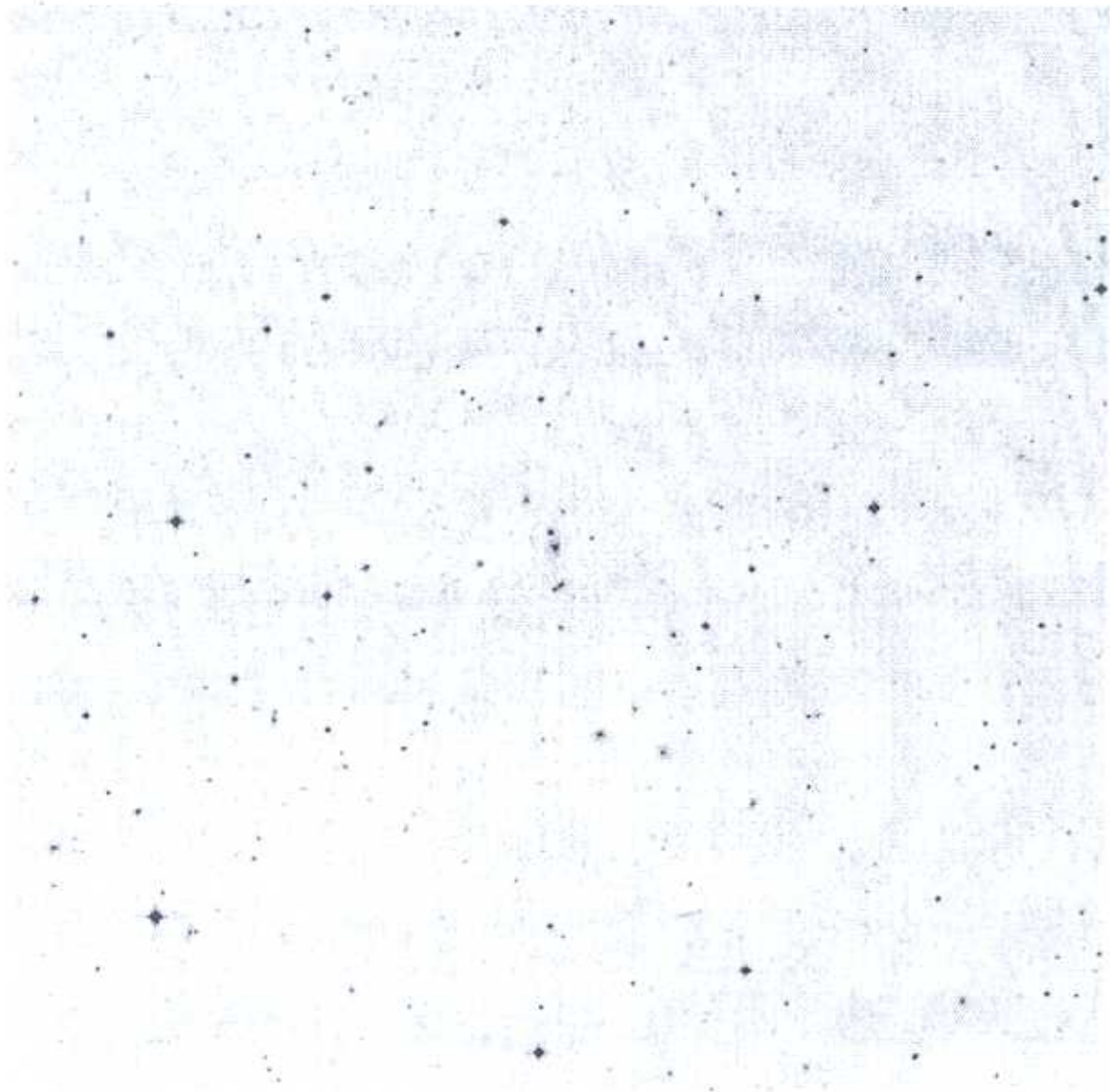
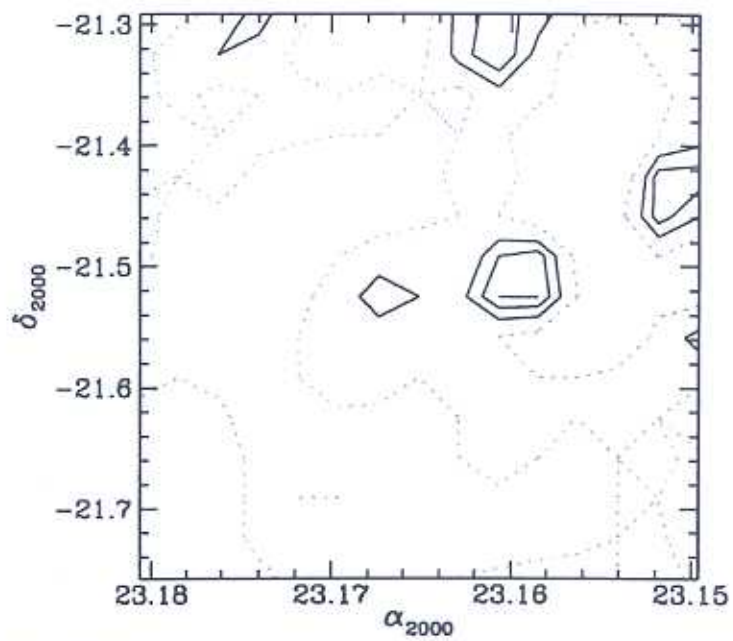
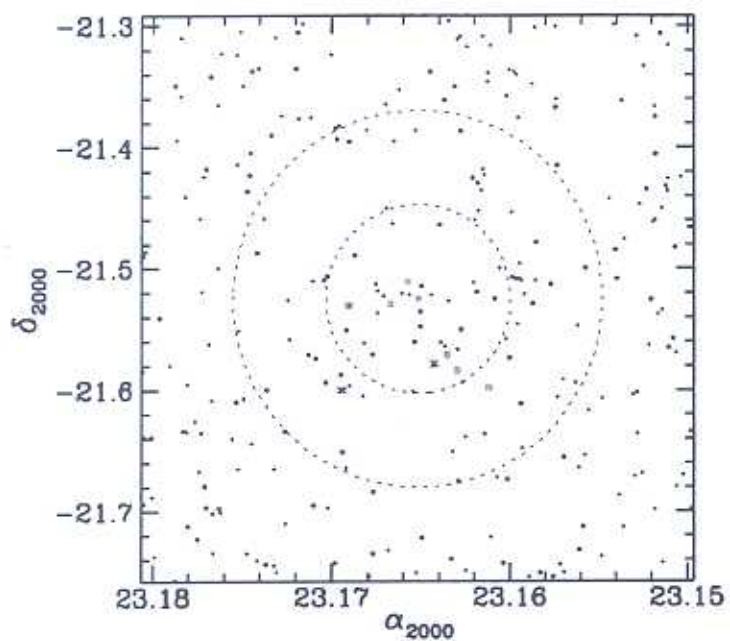


Figura C.27: AqrCC 024 — DSS 18.6' × 18.6'



AqrCC 024

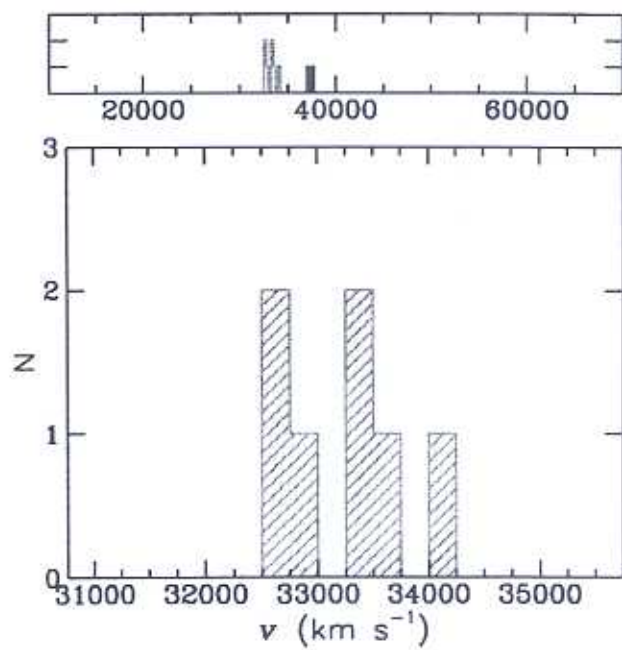
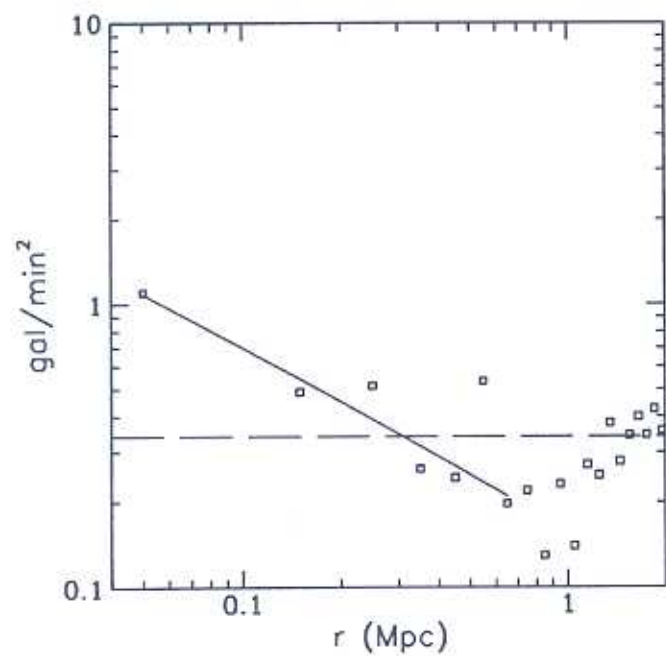


Figura C.28: AqrCC 024 — gráficos

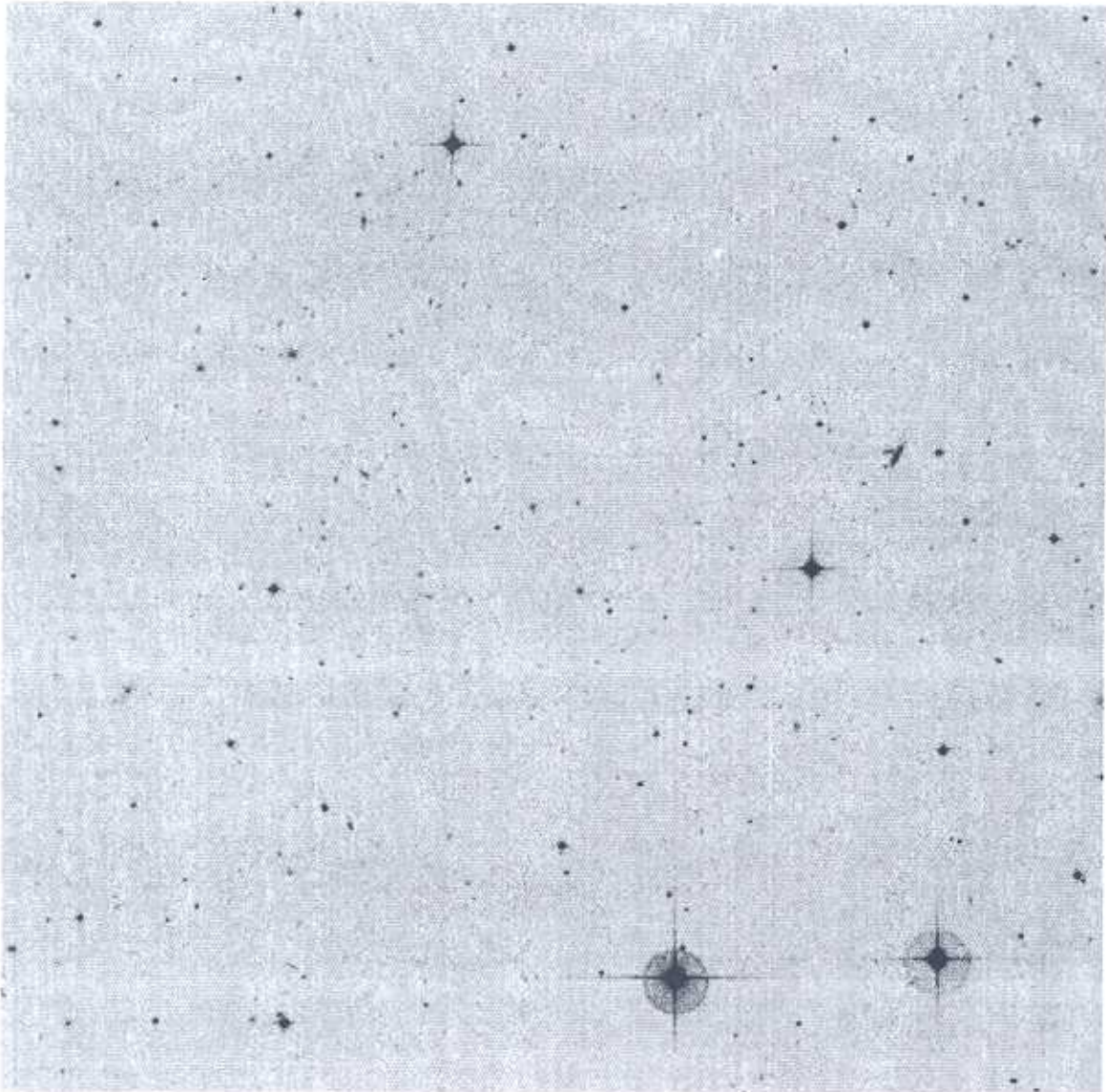
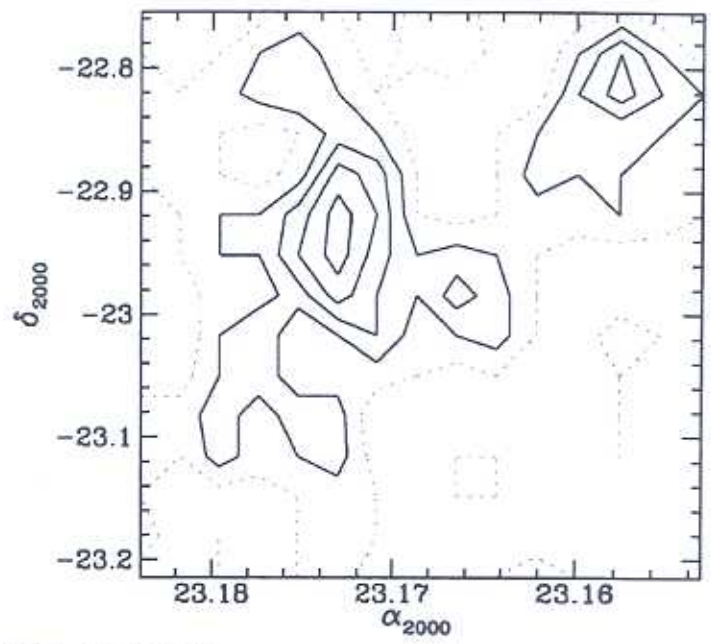
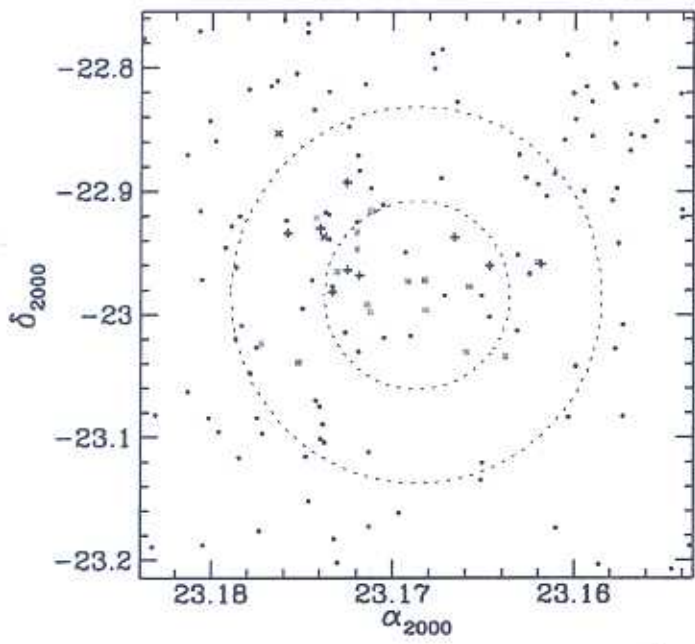


Figura C.29: AqrCC 025 — DSS 18.3' × 18.3'



AqrCC 025 (A2541)

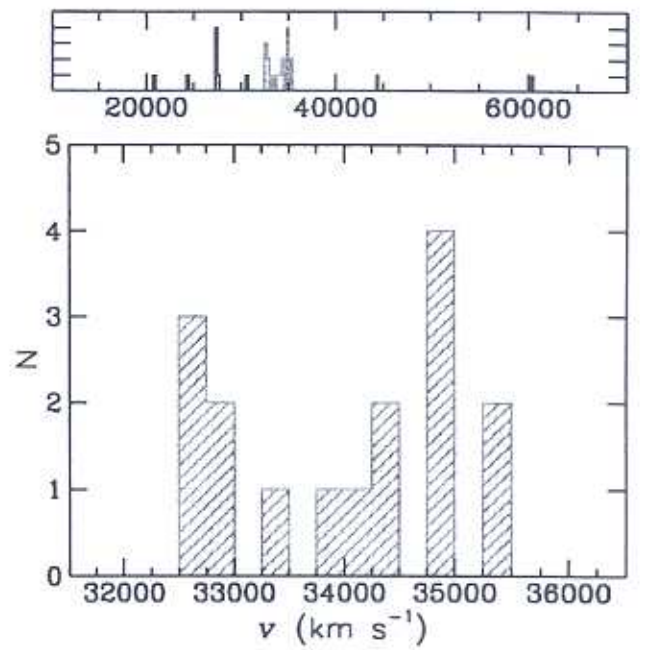
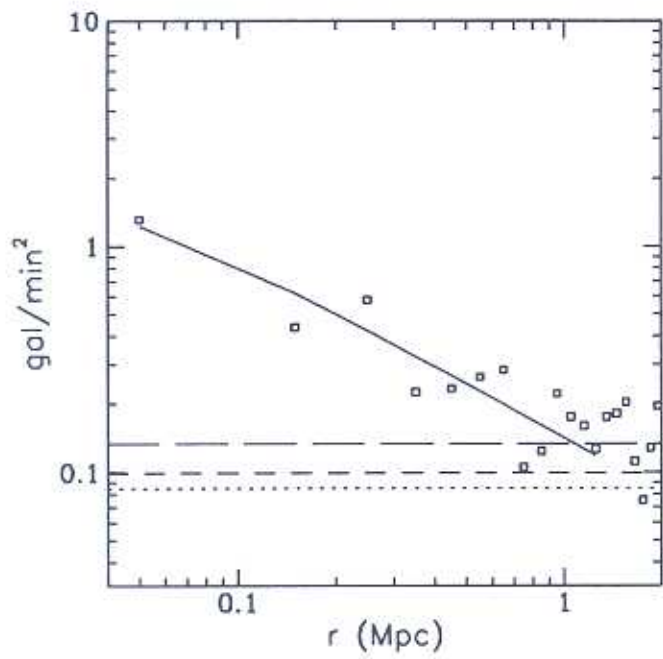


Figura C.30: AqrCC 025 — gráficos

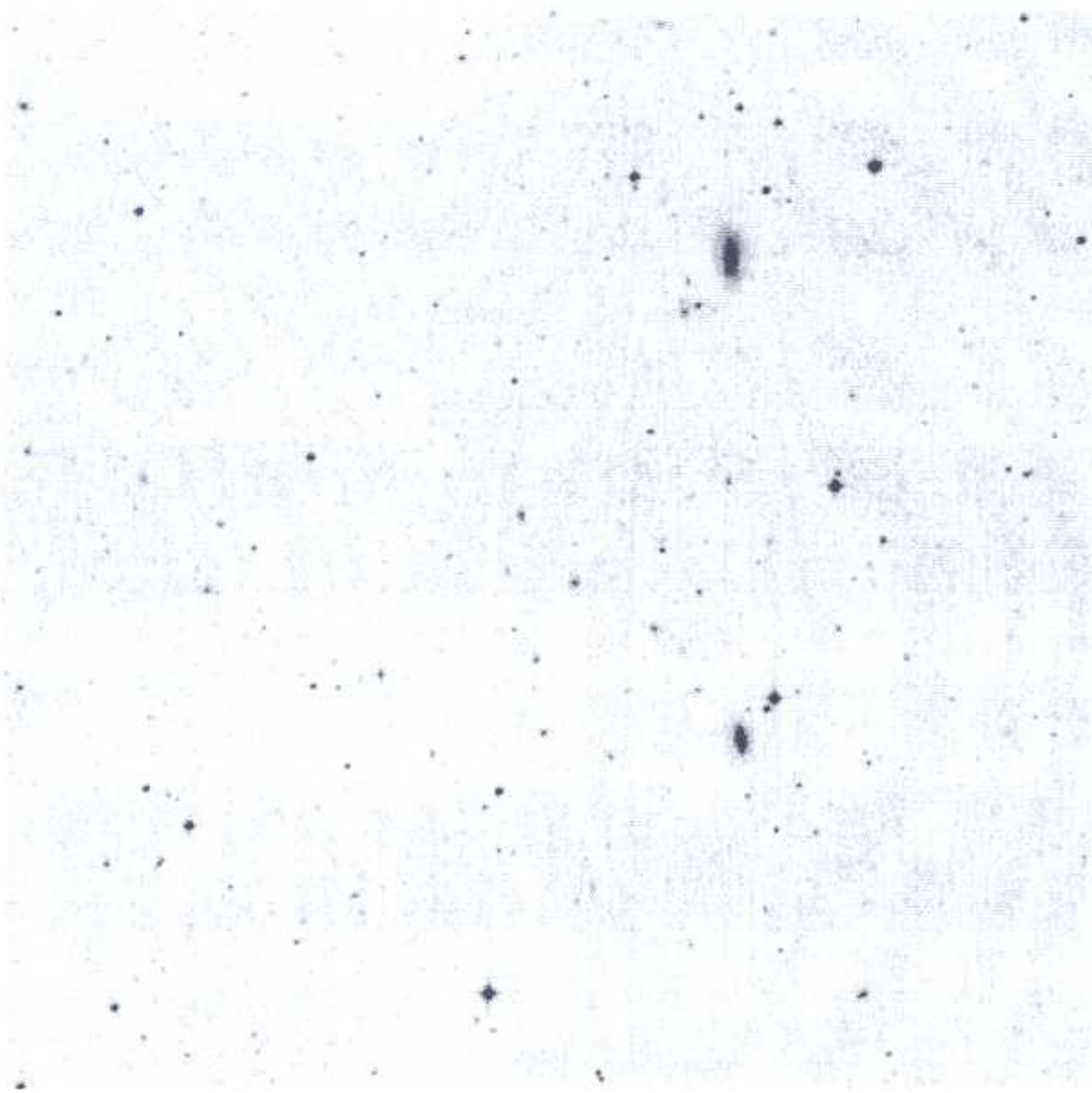
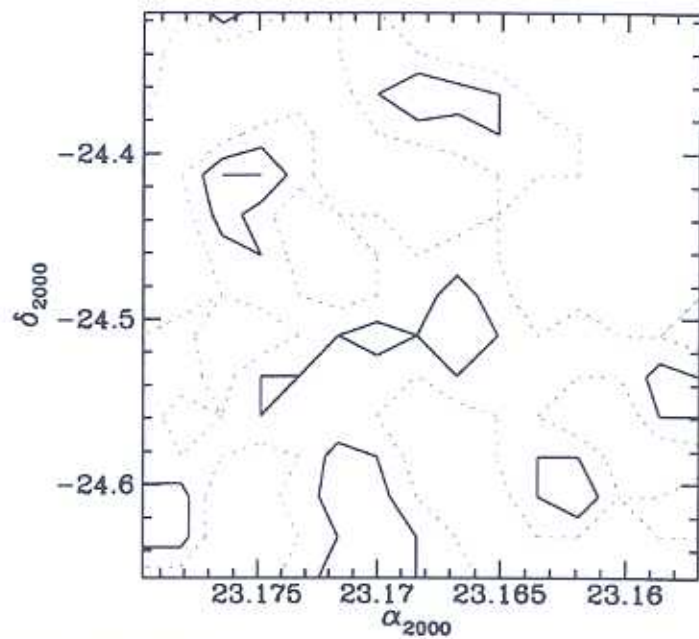
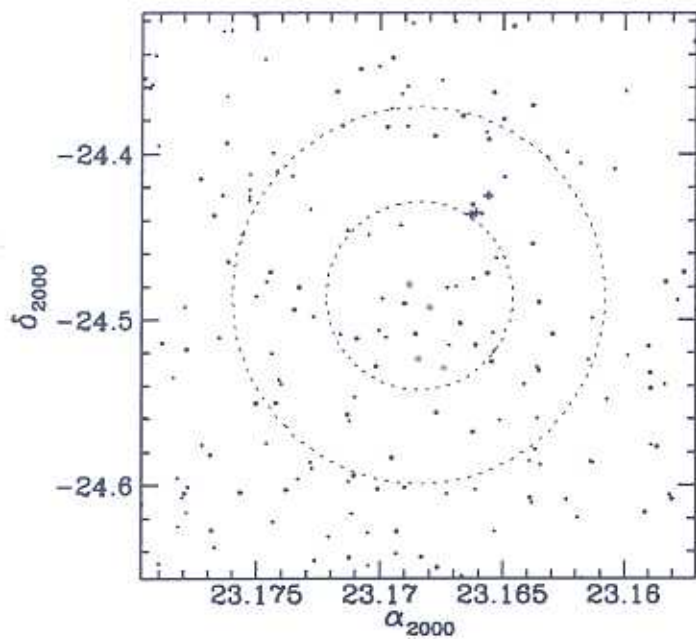


Figura C.31: AqrCC 026 — DSS 13.4' × 13.4'



AqrCC 026 (A2542)

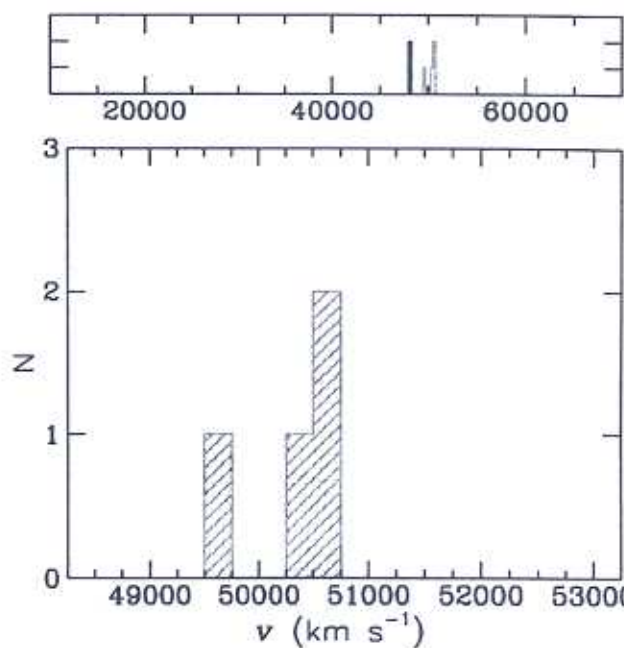
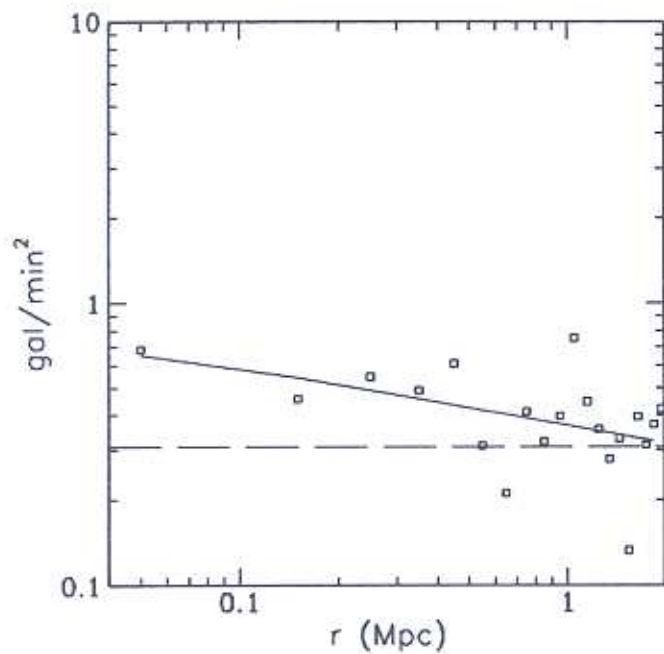
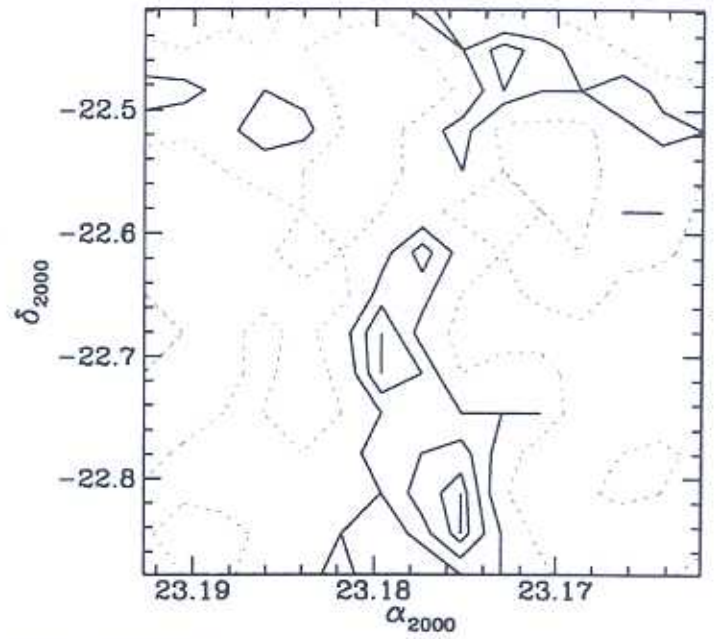
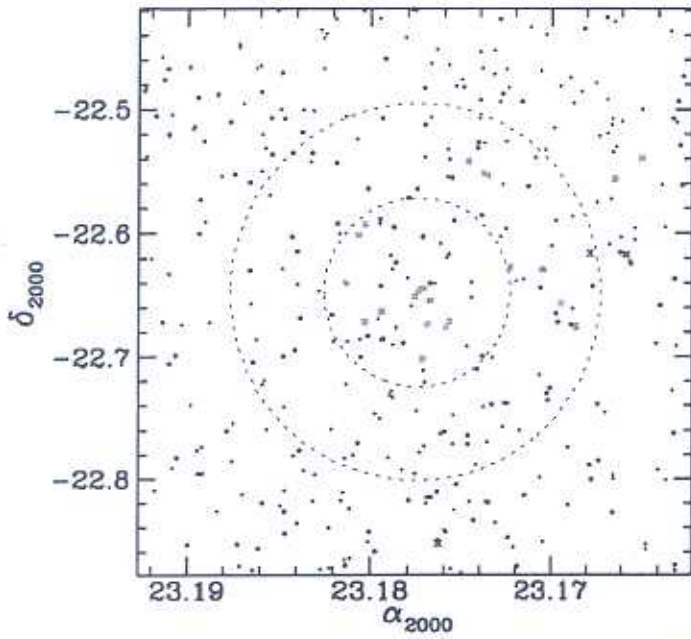


Figura C.32: AqrCC 026 — gráficos



Figura C.33: AqrCC 028 — D55 18.4' × 18.4'



AqrCC 028 (A2546)

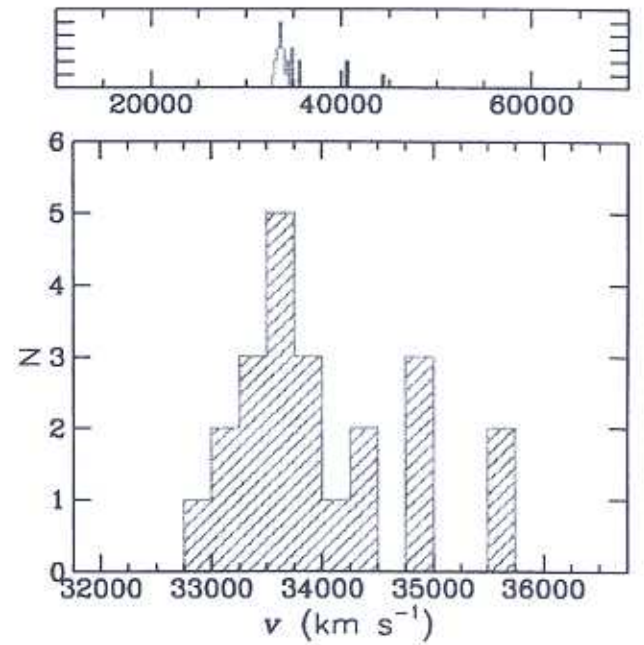
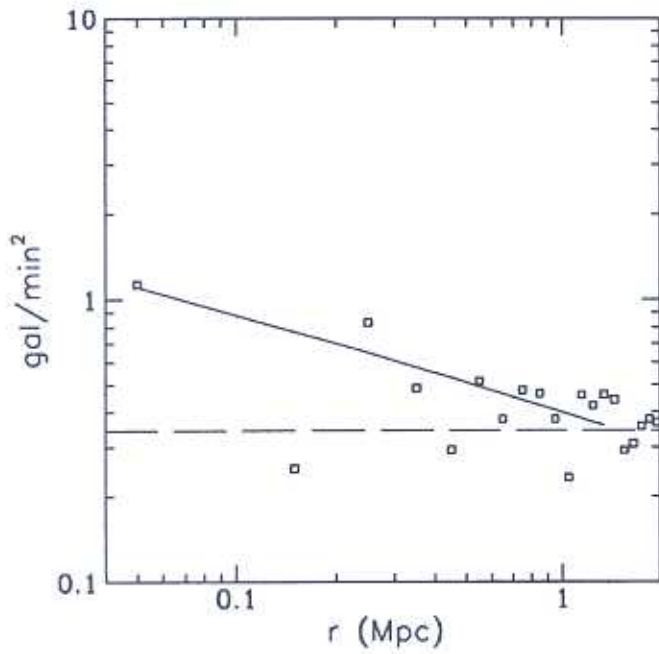


Figura C.34: AqrCC 028 — gráficos

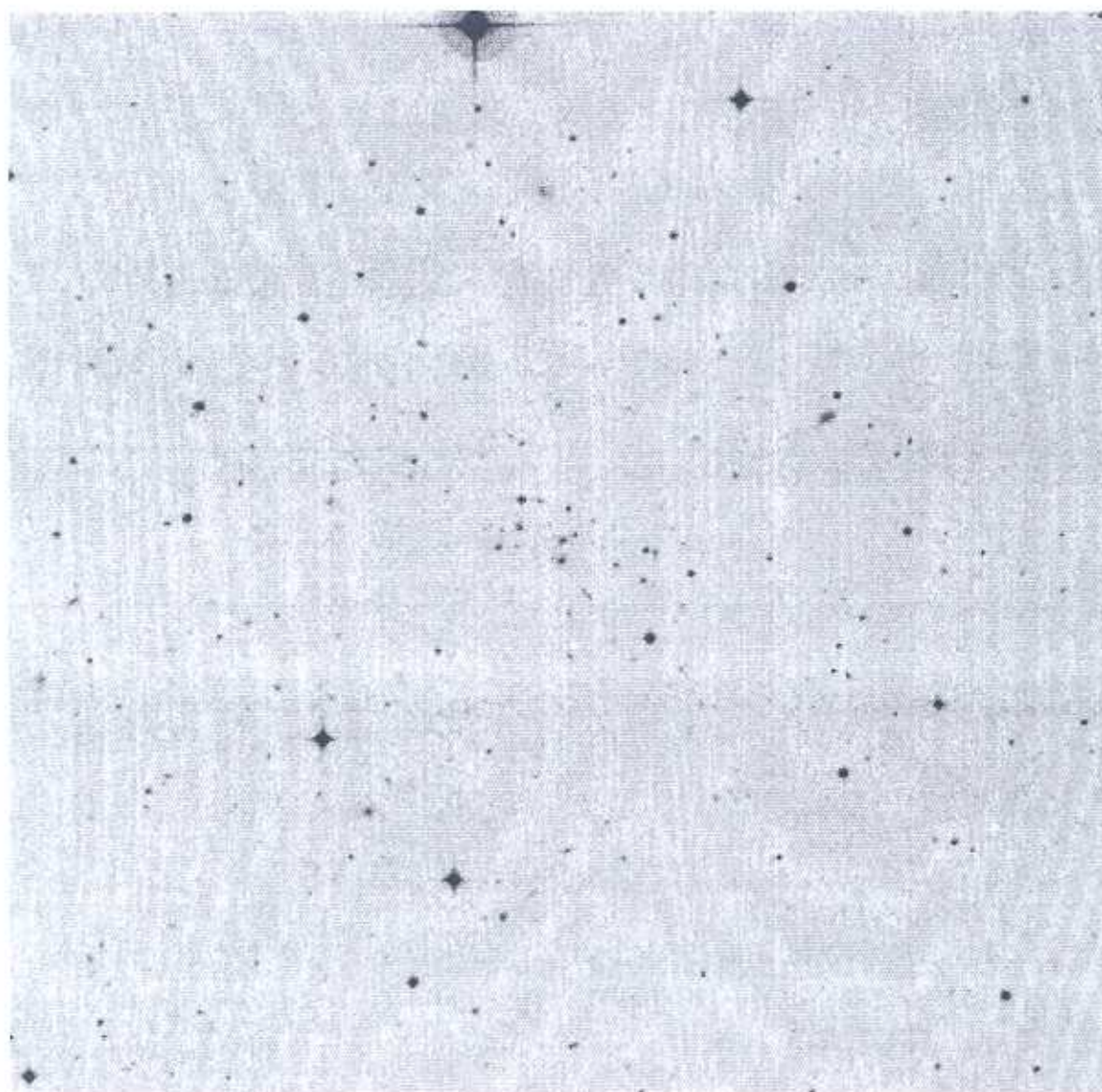
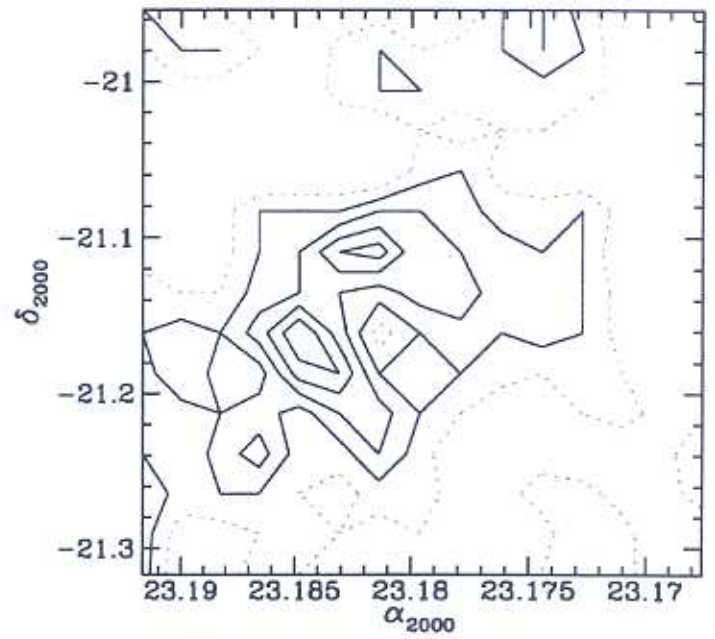
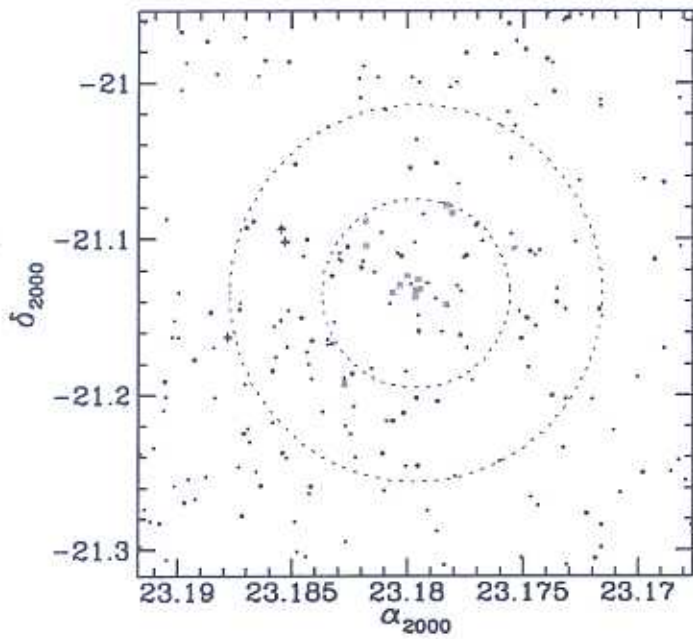


Figura C.35: AqrCC 029 — DSS 14.5' × 14.5'



AqrCC 029 (A2547)

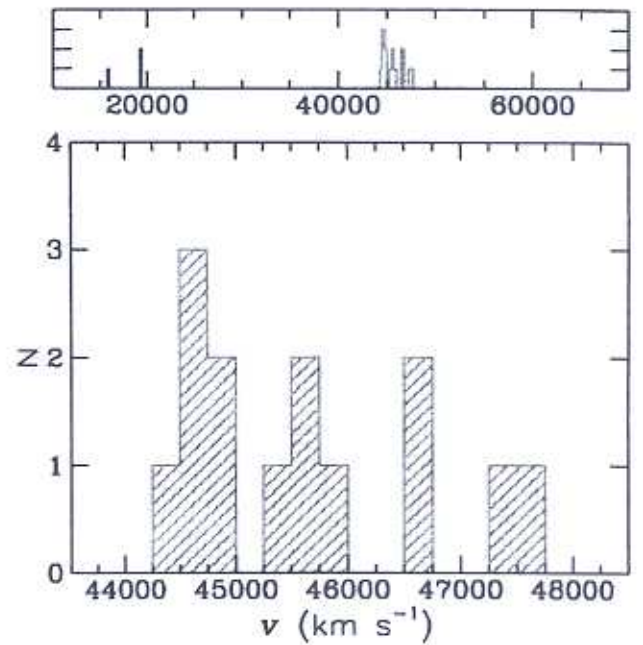
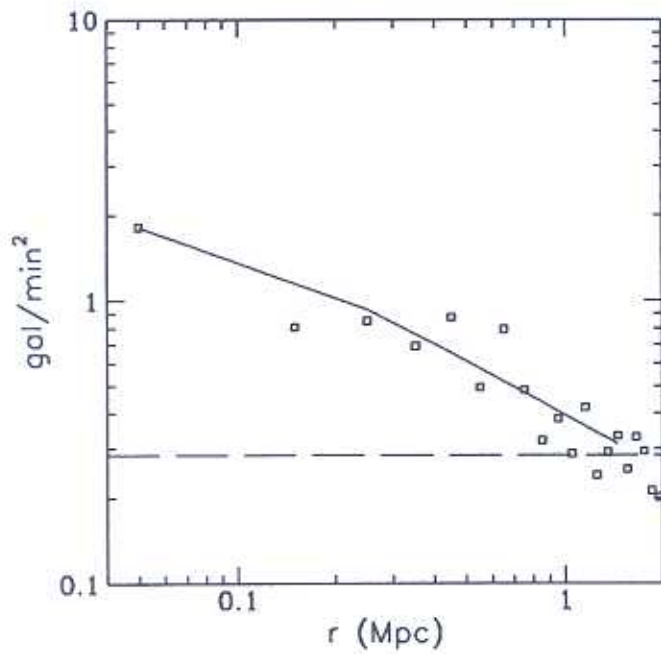


Figura C.36: AqrCC 029 — gráficos

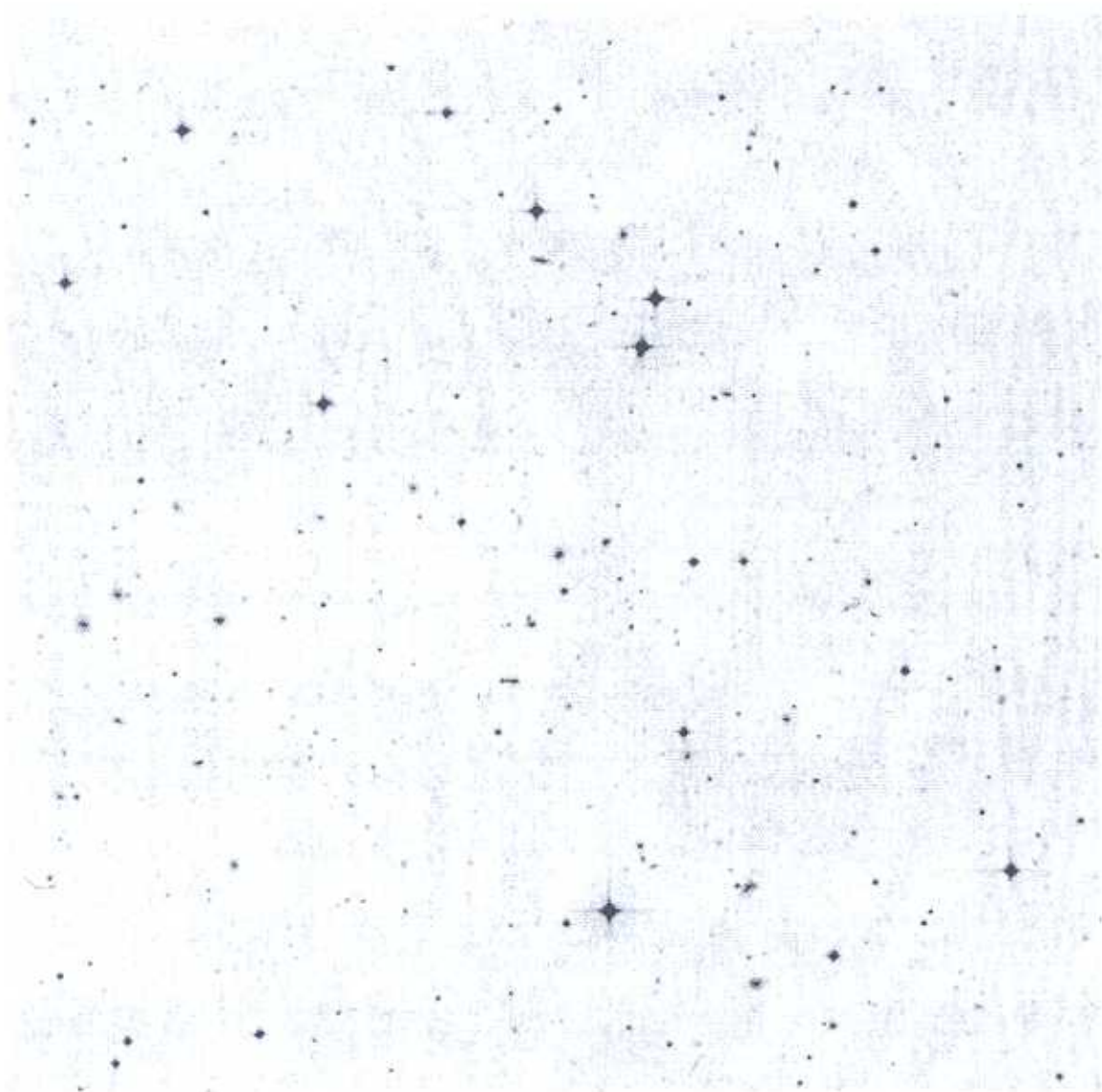
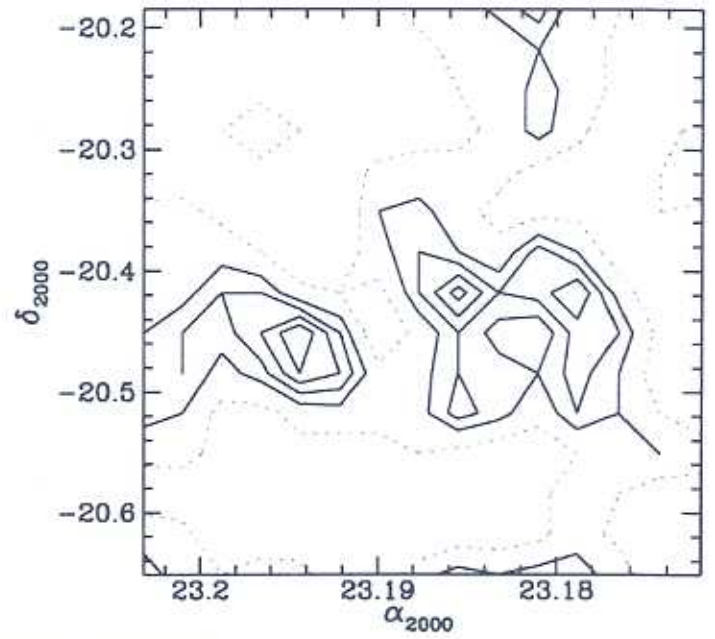
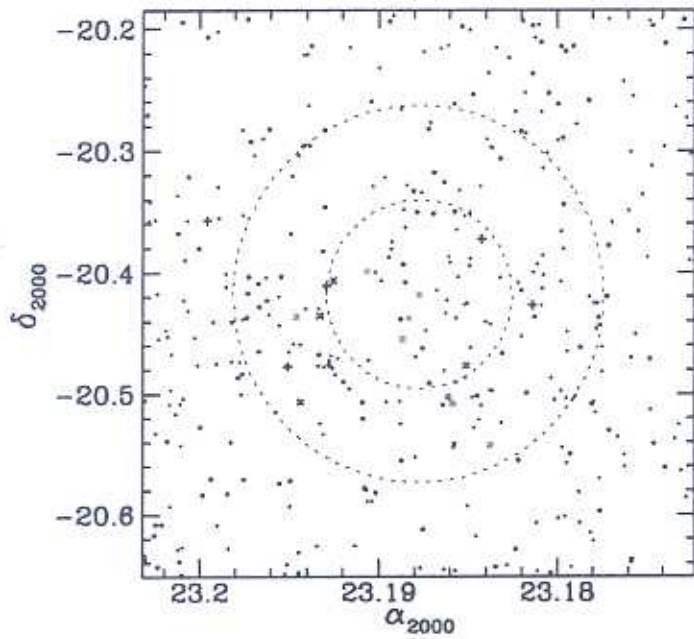


Figura C.37: AqrCC 031 — DSS 18.7' × 18.7'



AqrCC 031 (A2548)

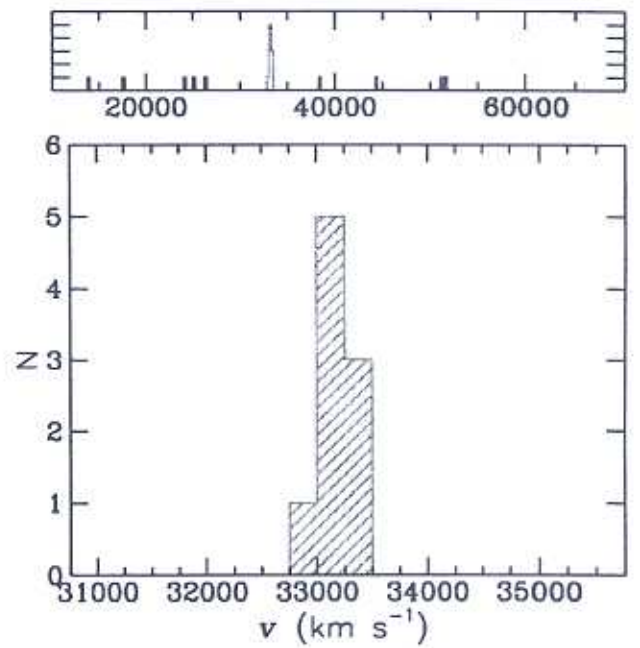
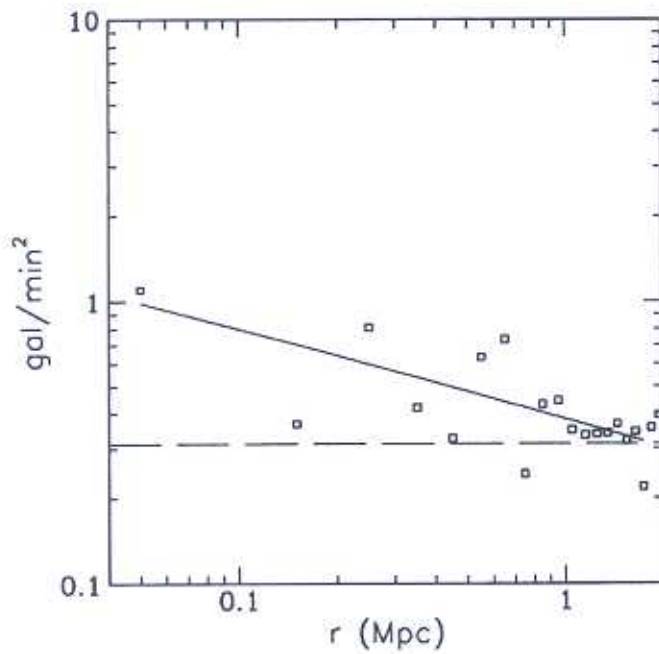


Figura C.38: AqrCC 031 — gráficos

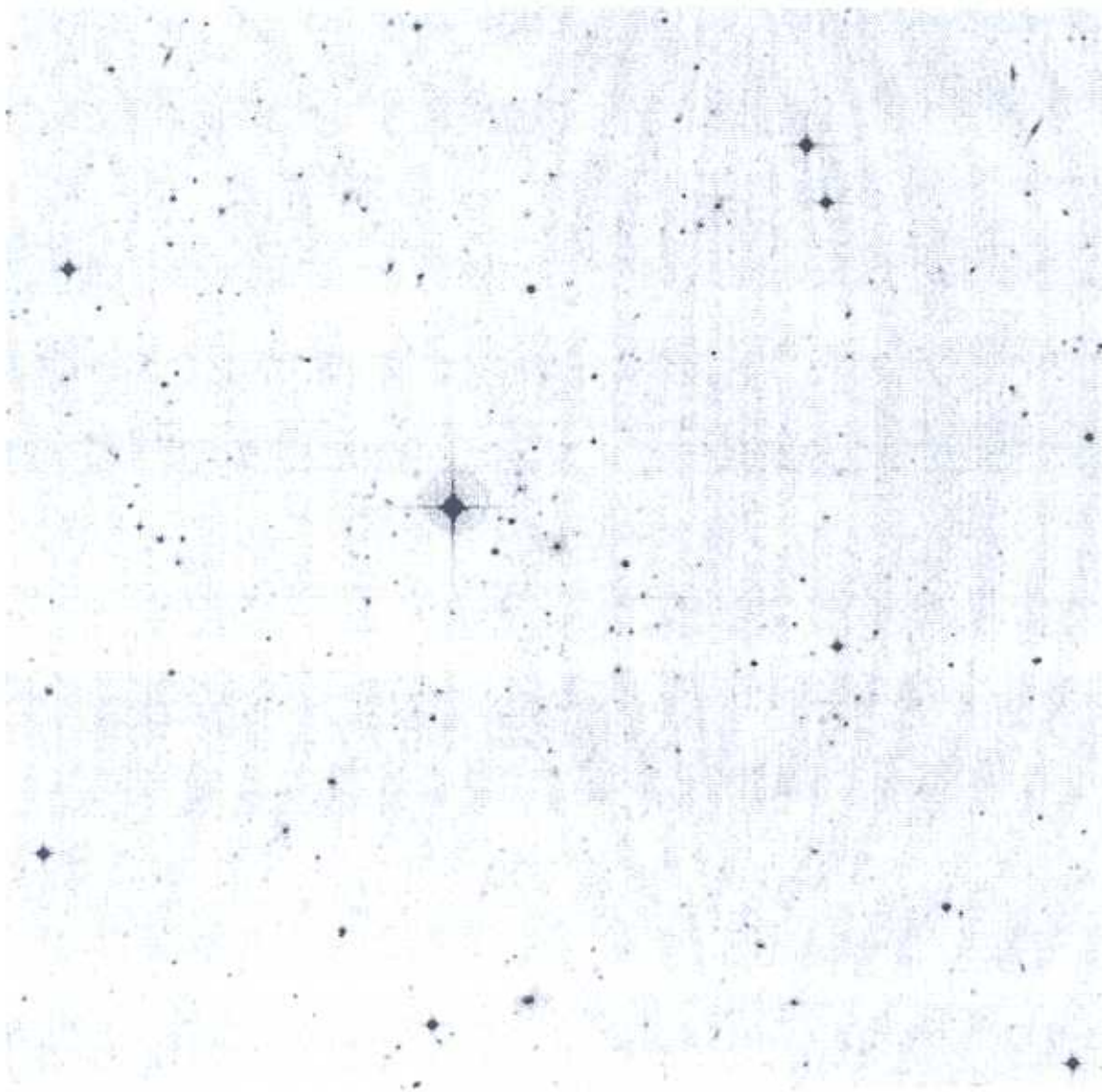
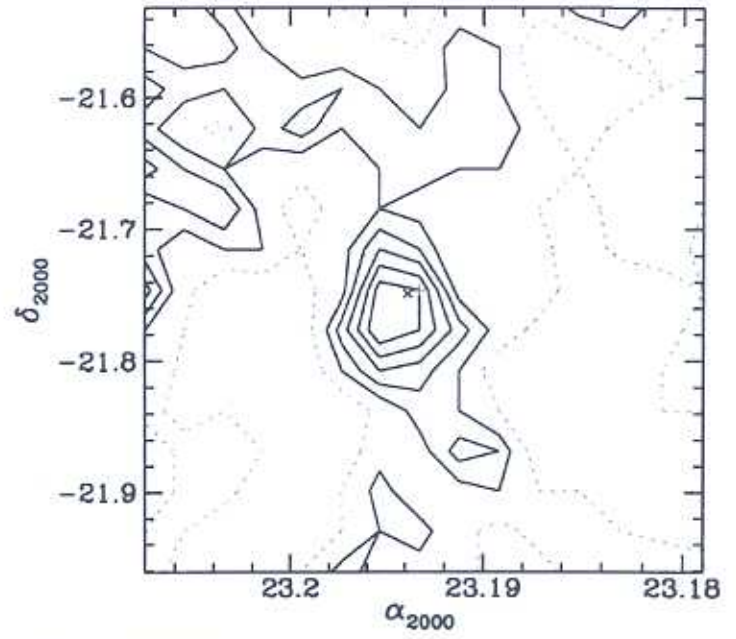
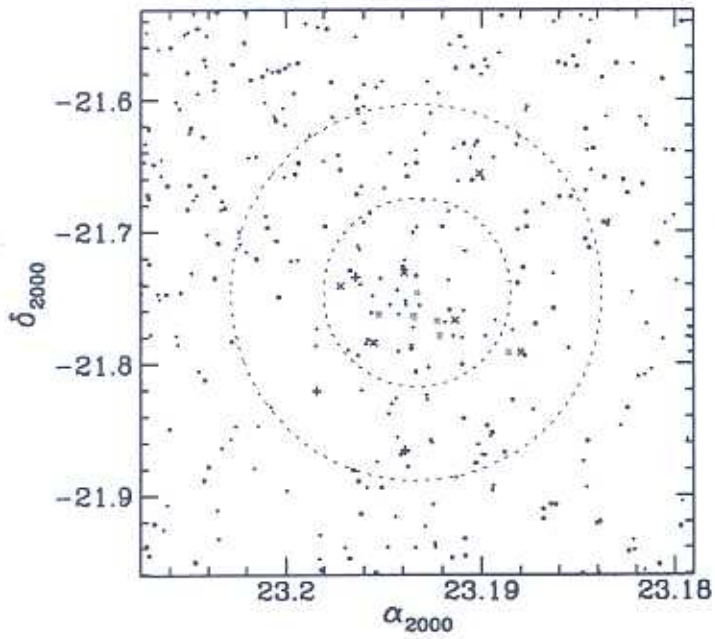


Figura C.39: AqrCC 033 — DSS 17.2' × 17.2'



AqrCC 033 (A2550)

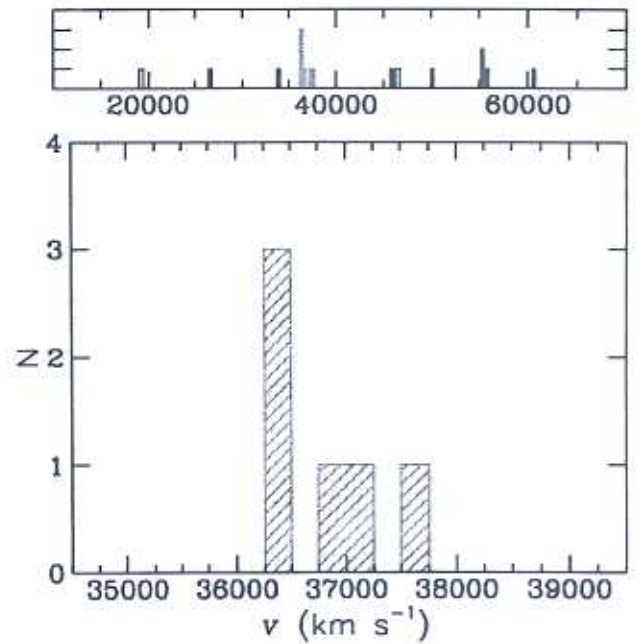
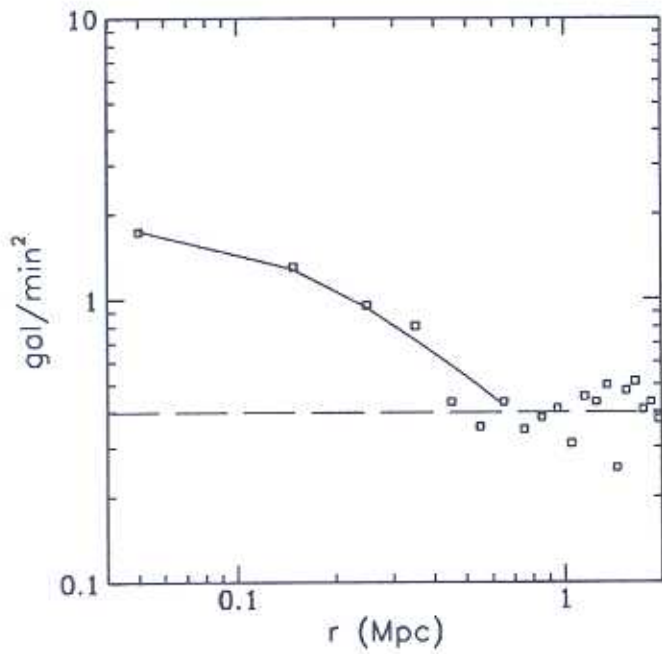


Figura C.40: AqrCC 033 — gráficos

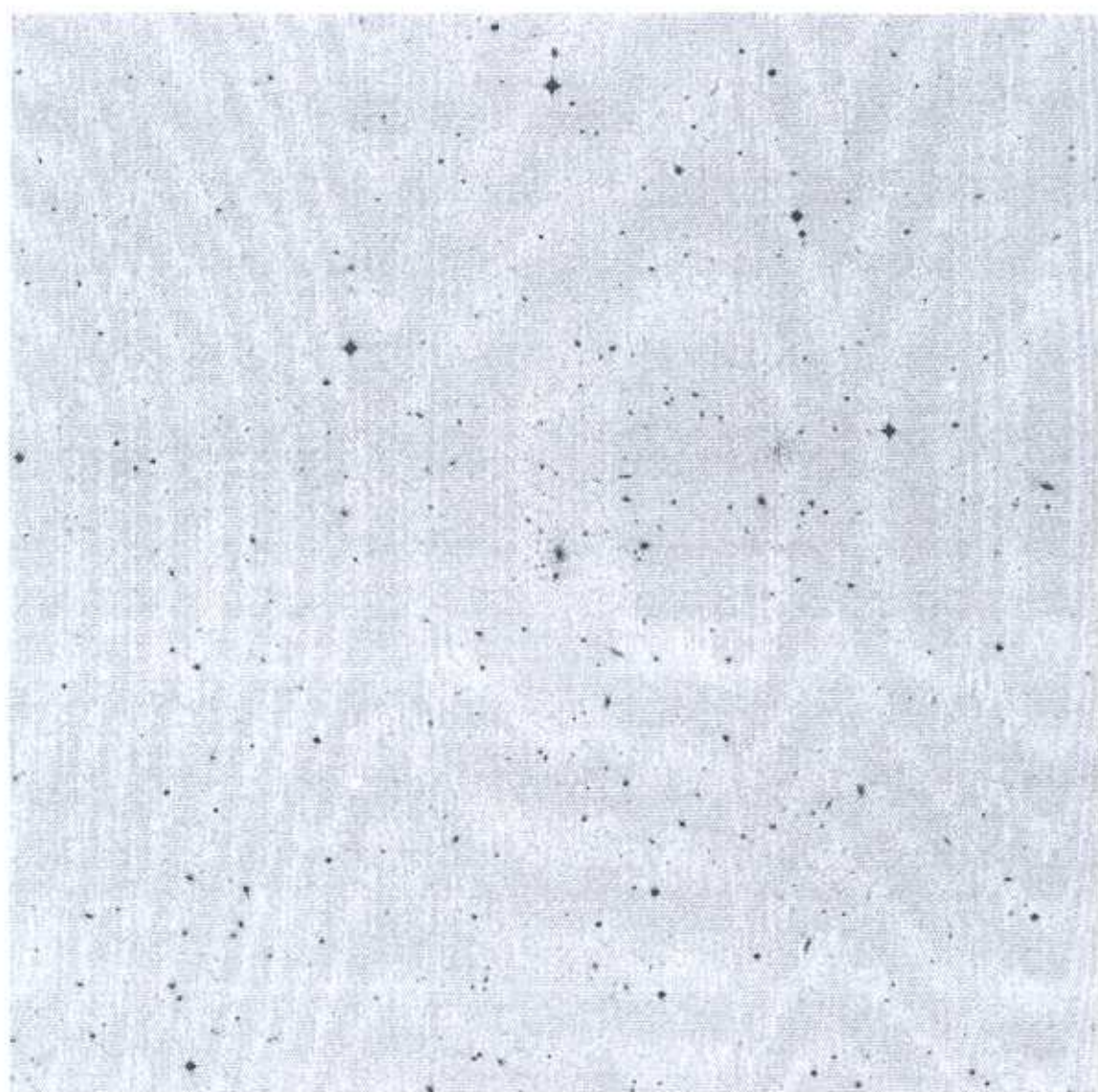
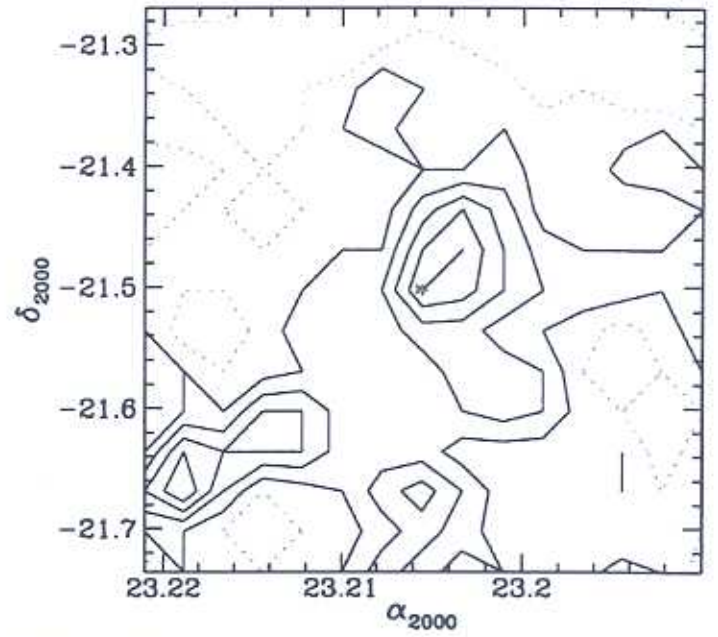
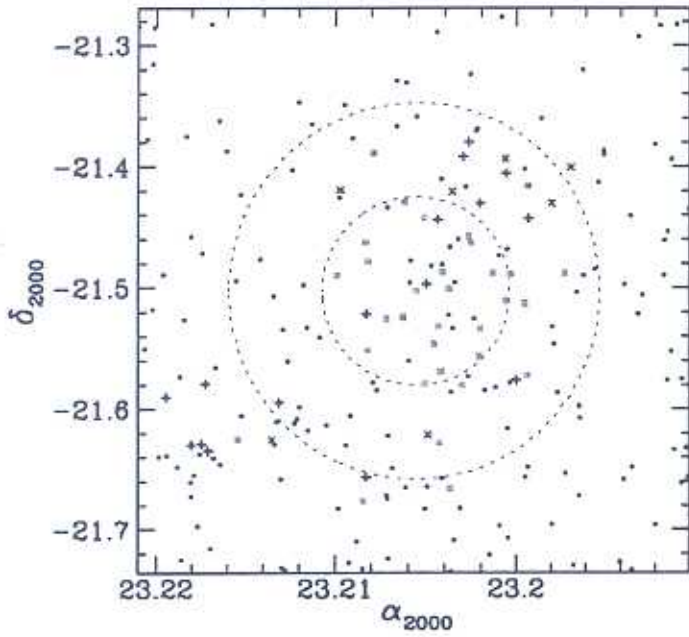


Figura C.41: AqrCC 035 — DSS 18.7' × 18.7'



AqrCC 035 (A2554)

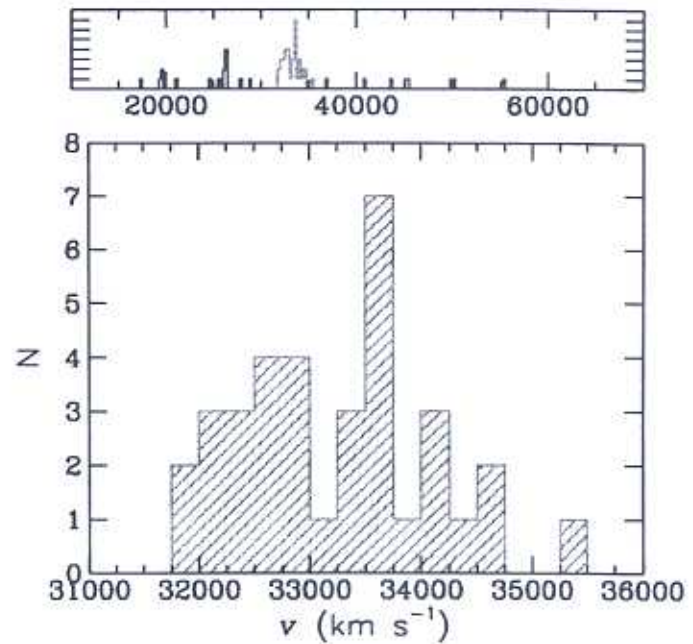
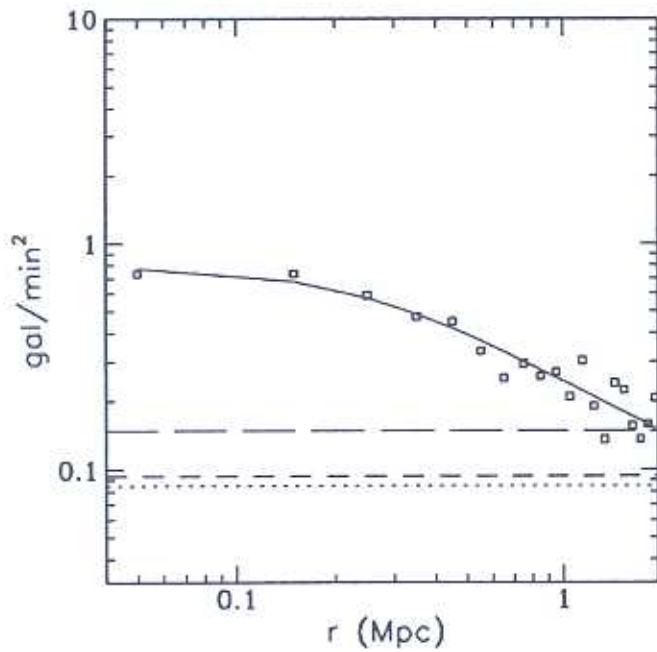


Figura C.42: AqrCC 035 — gráficos

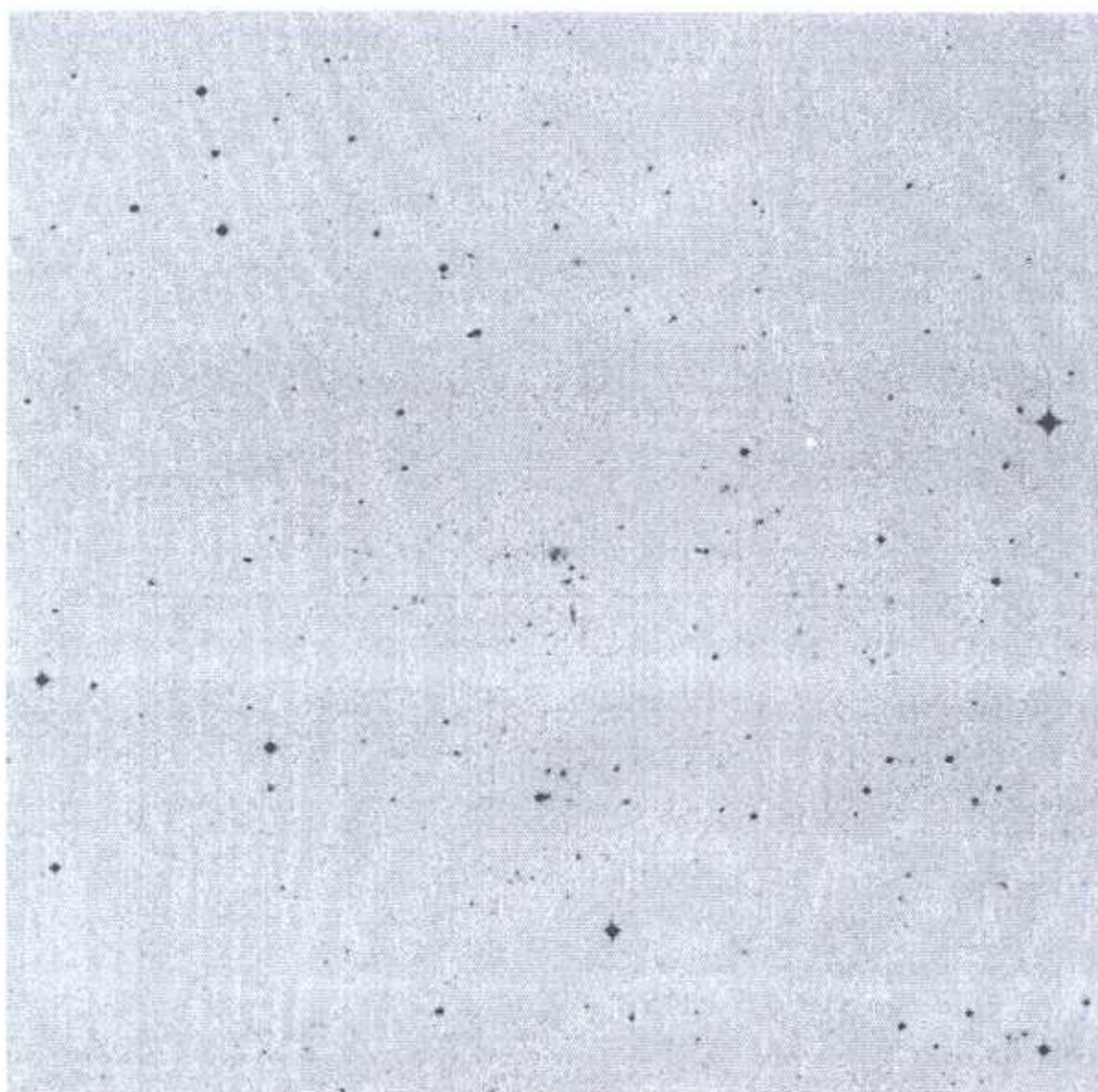
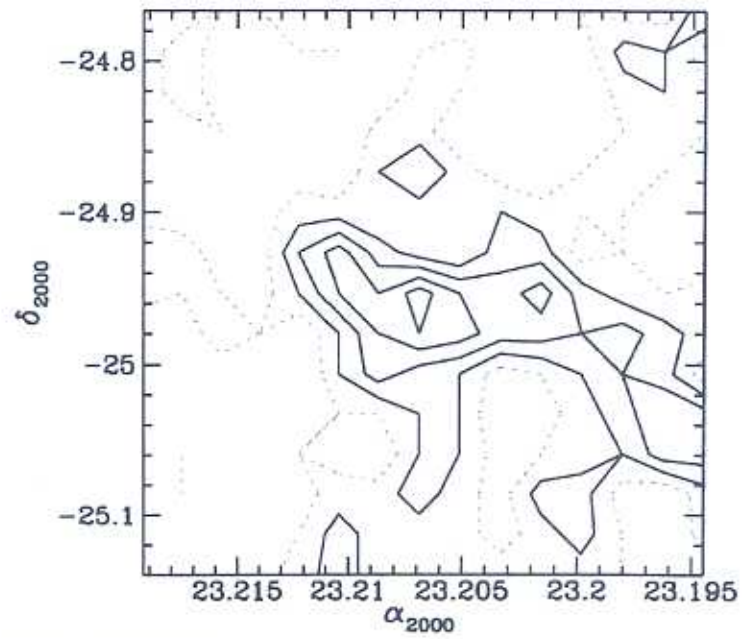
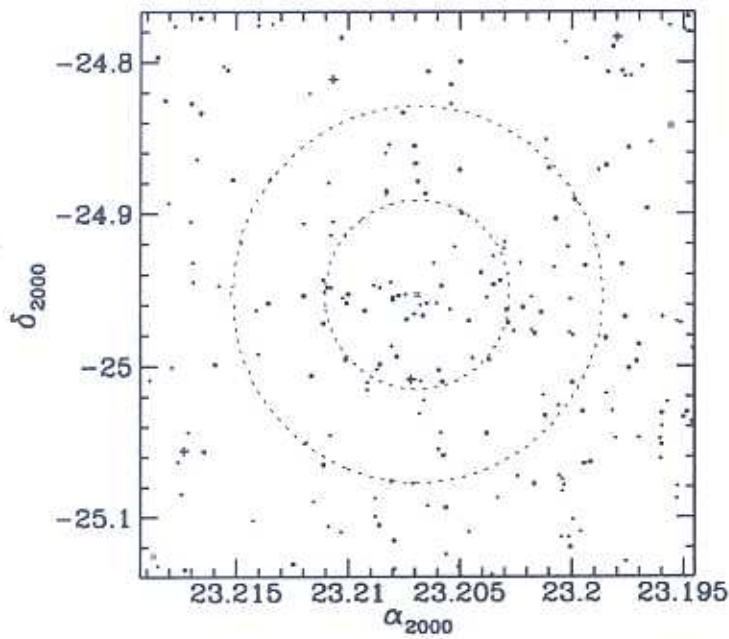


Figura C.43: AqrCC 036 — DSS 14.8' × 14.8'



AqrCC 036 (A2553)

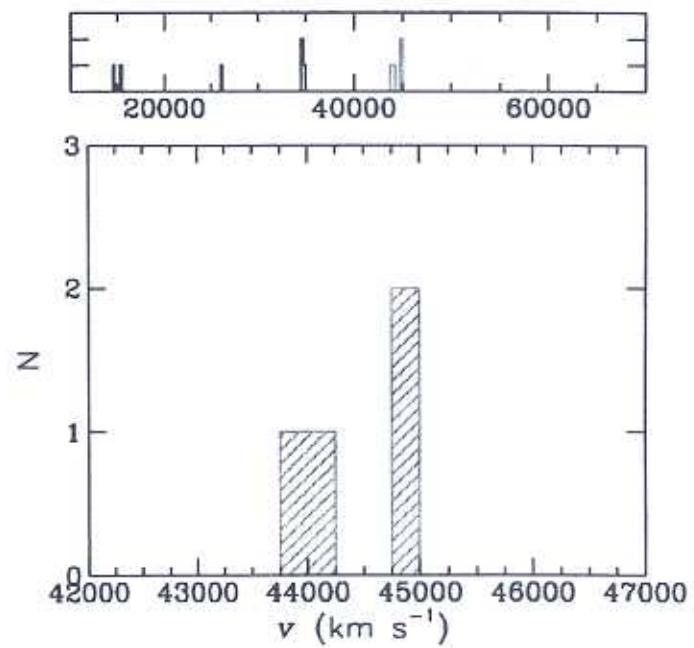
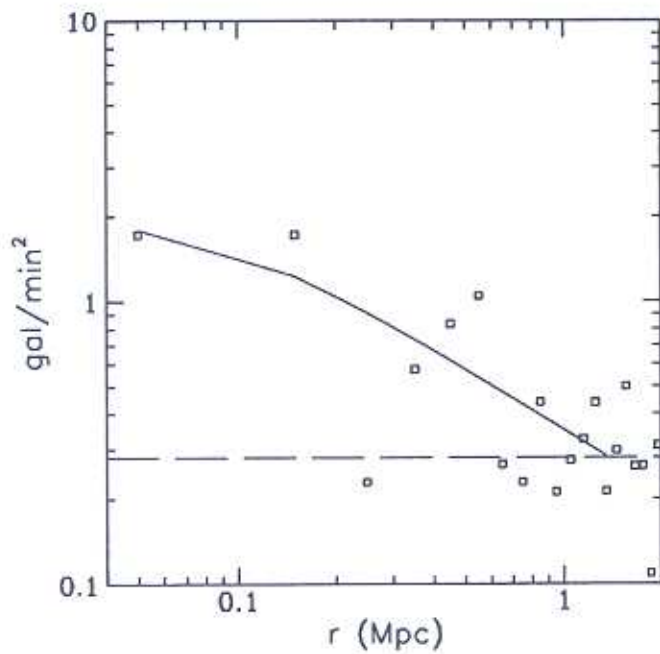


Figura C.44: AqrCC 036 — gráficos

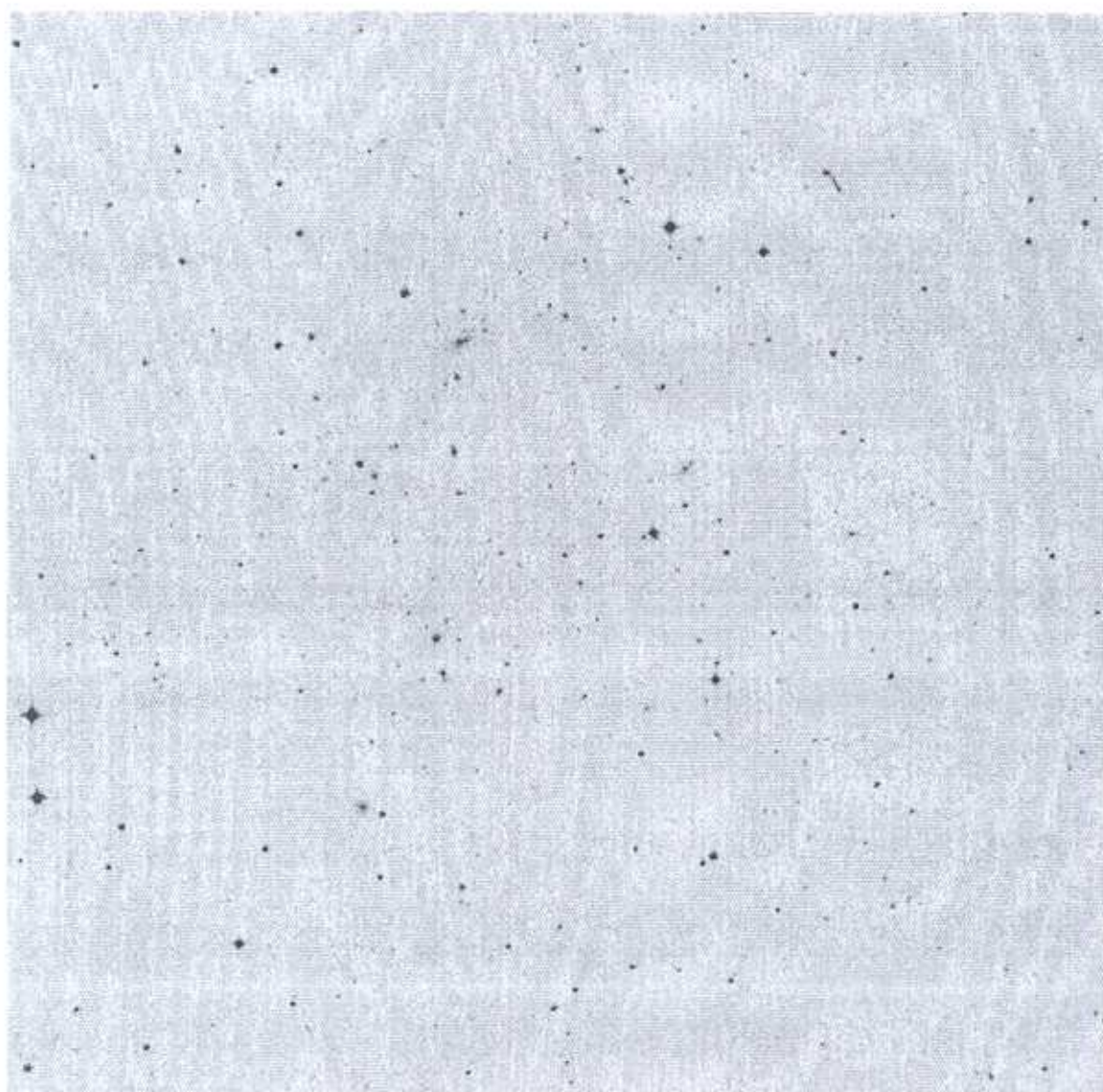
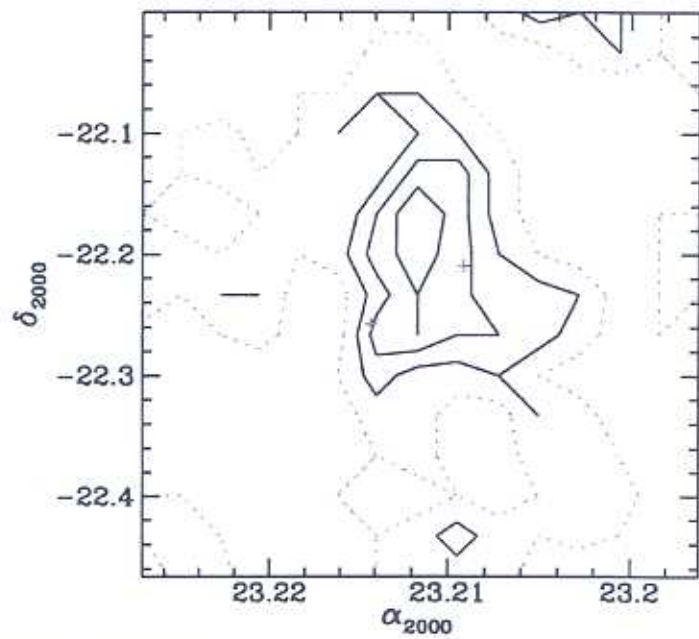
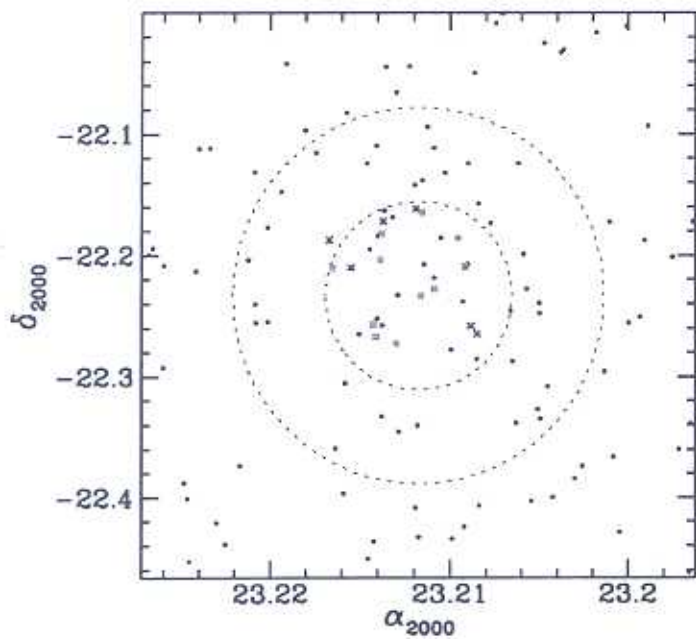


Figura C.45: AqrCC 037 — DSS 18.7' × 18.7'



AqrCC 037 (A2555)

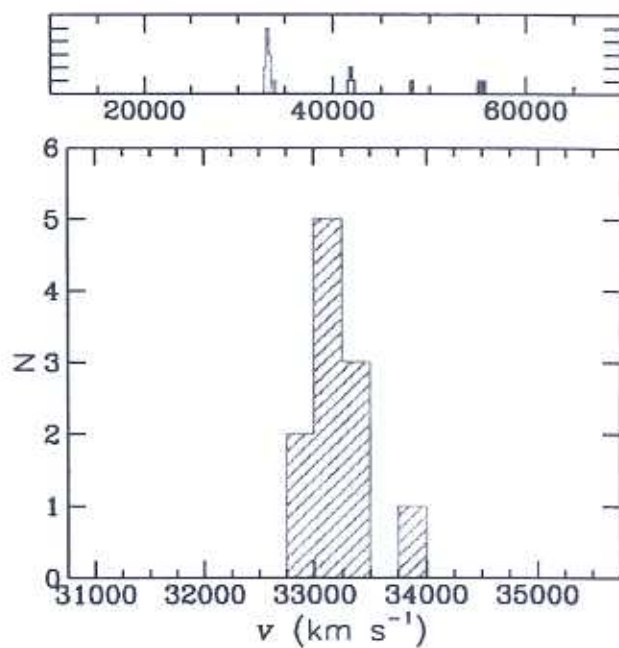
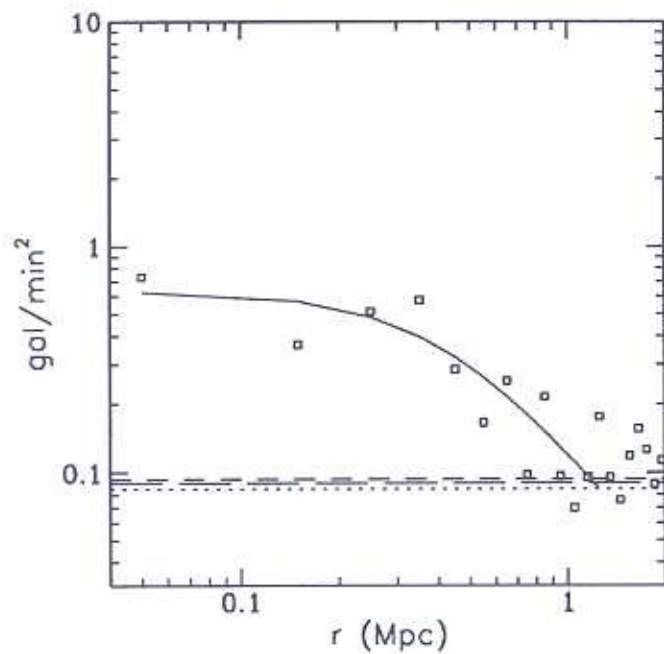


Figura C.46: AqrCC 037 — gráficos

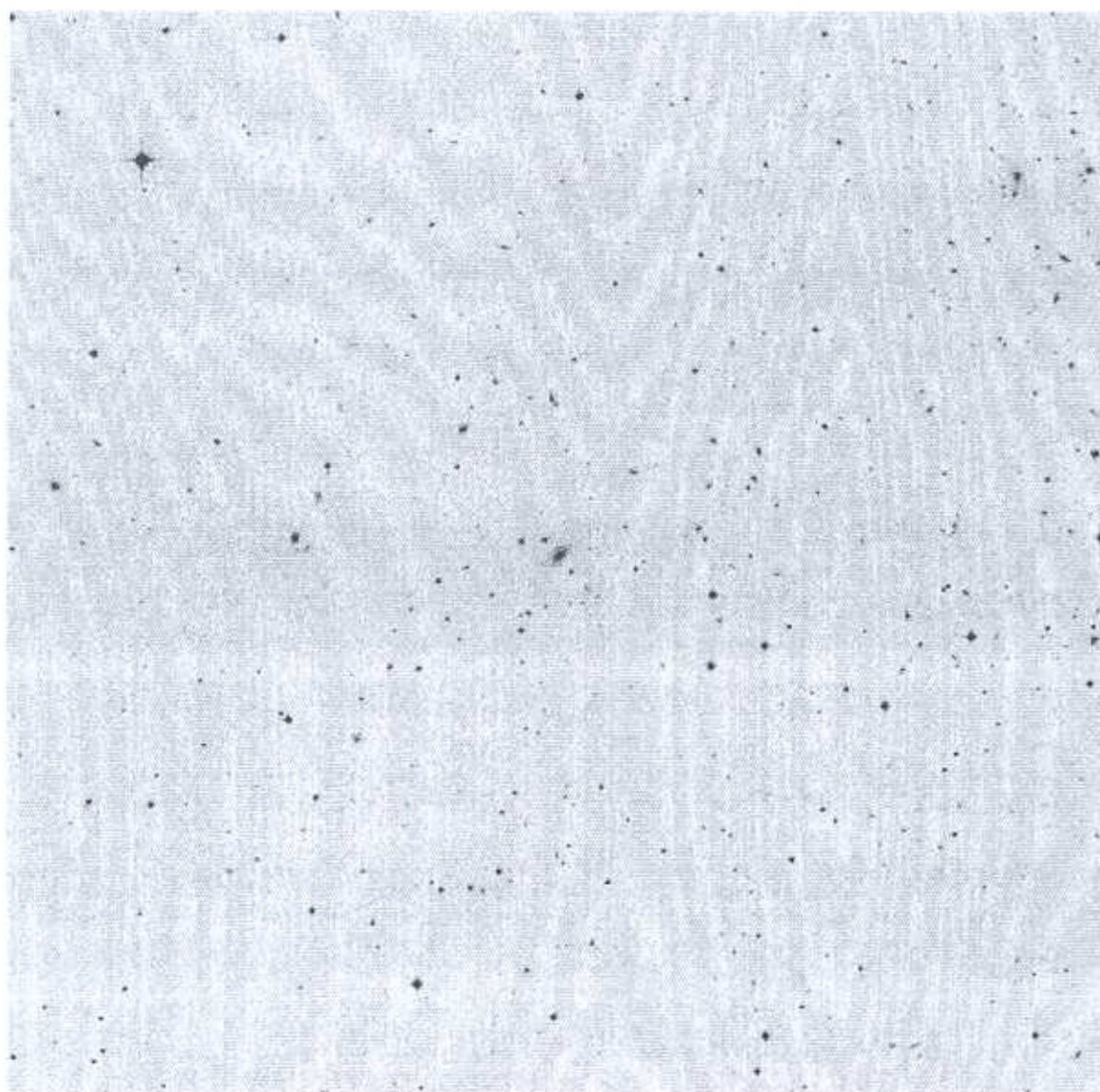
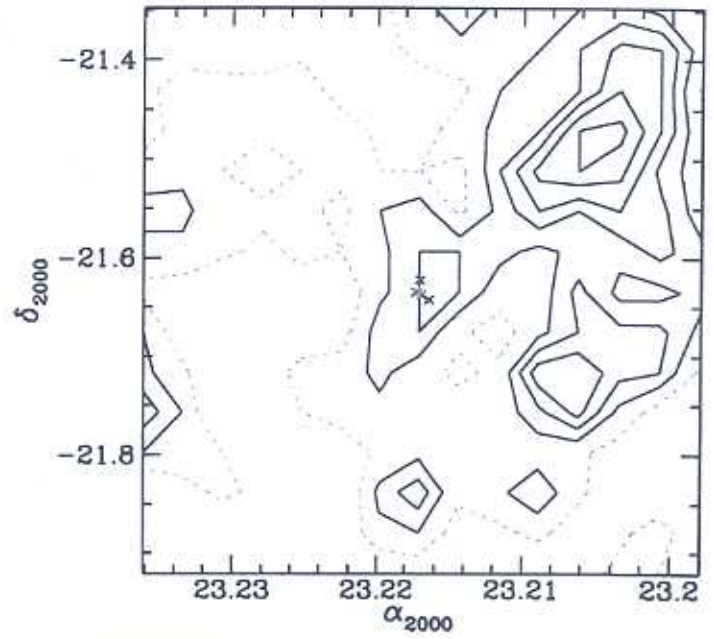
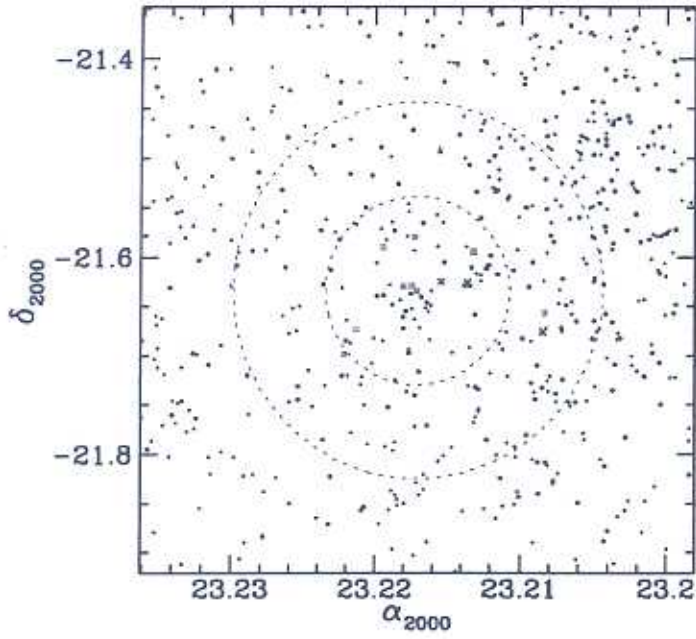


Figura C.47: AqrCC 038 — DSS 22.9' × 22.9'



AqrCC 038 (A2556)

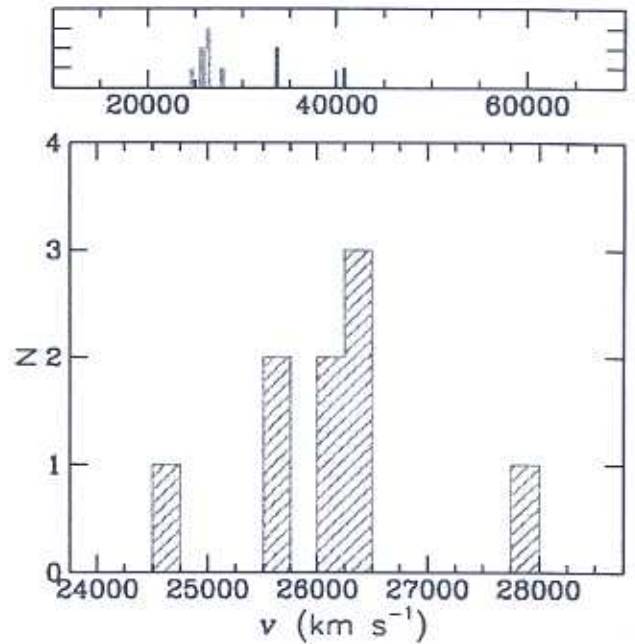
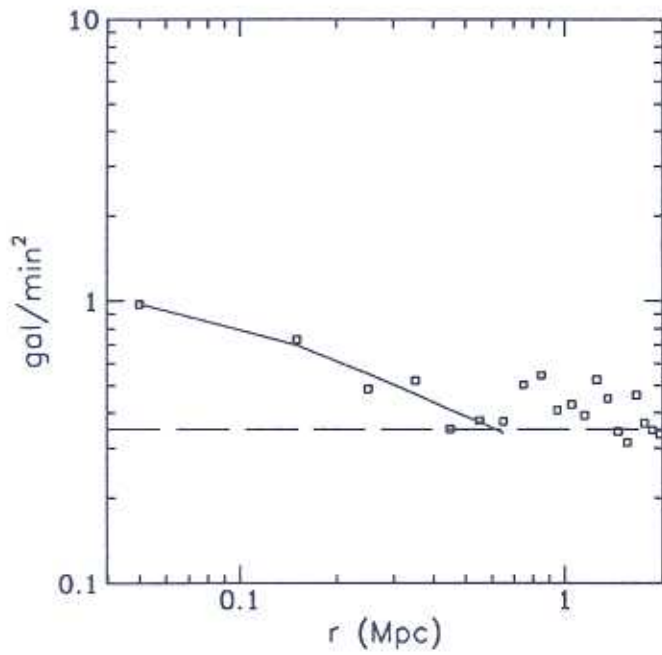


Figura C.48: AqrCC 038 — gráficos

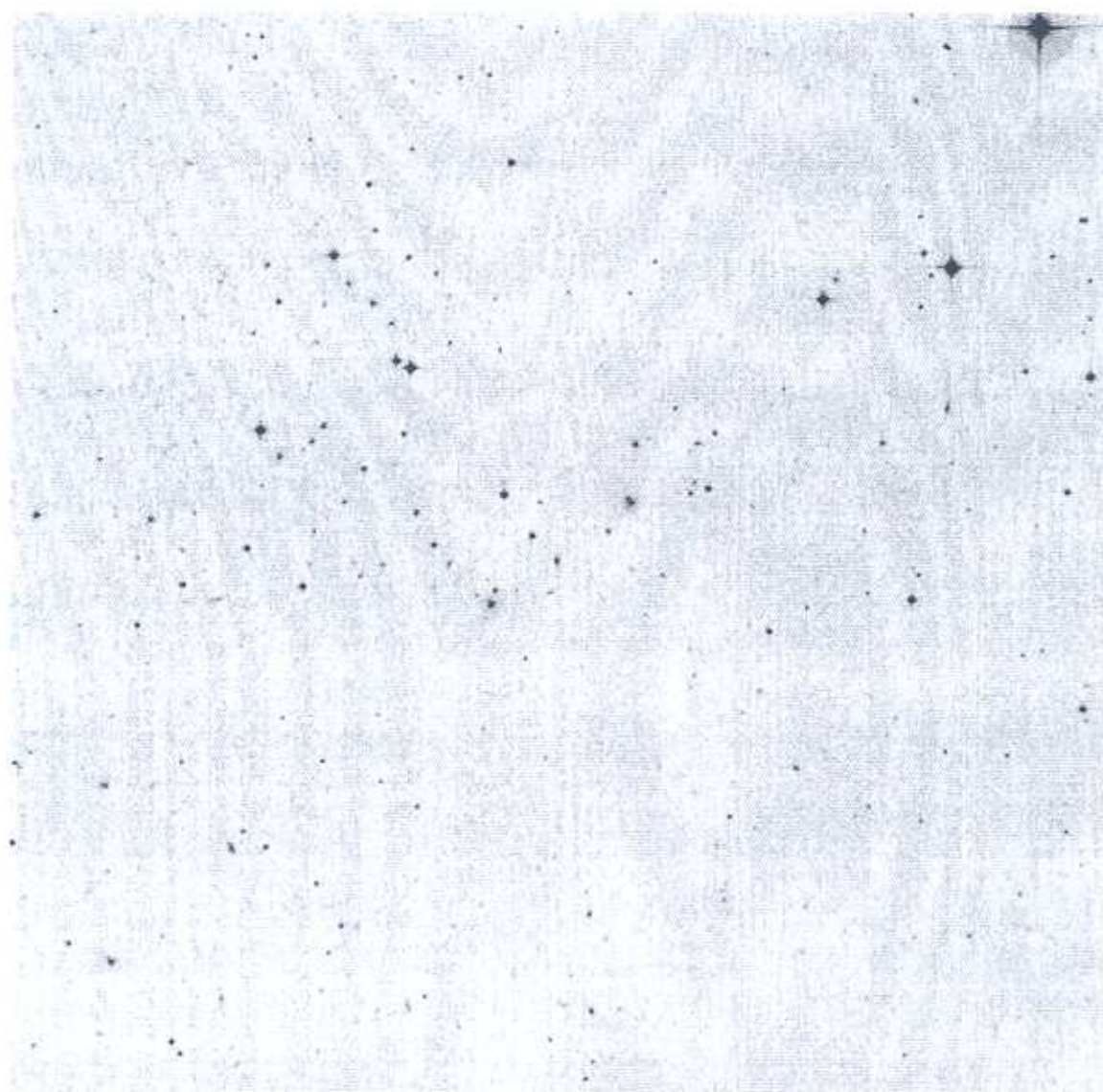
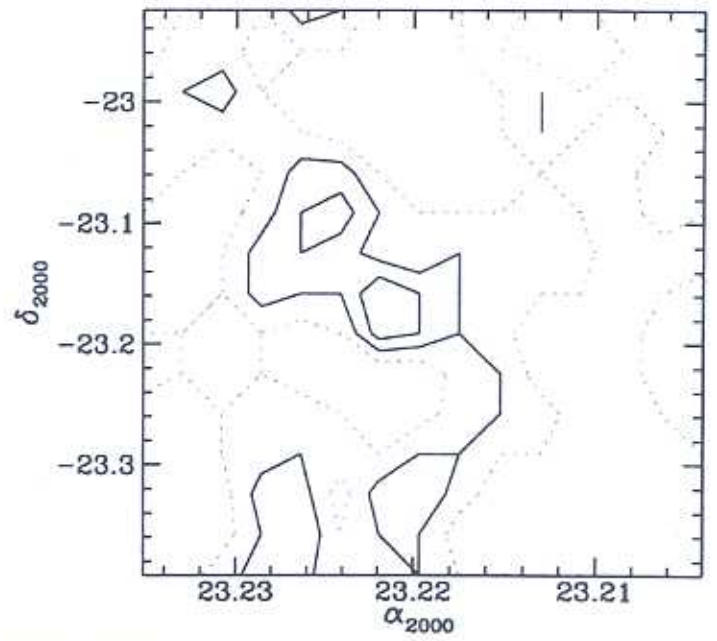
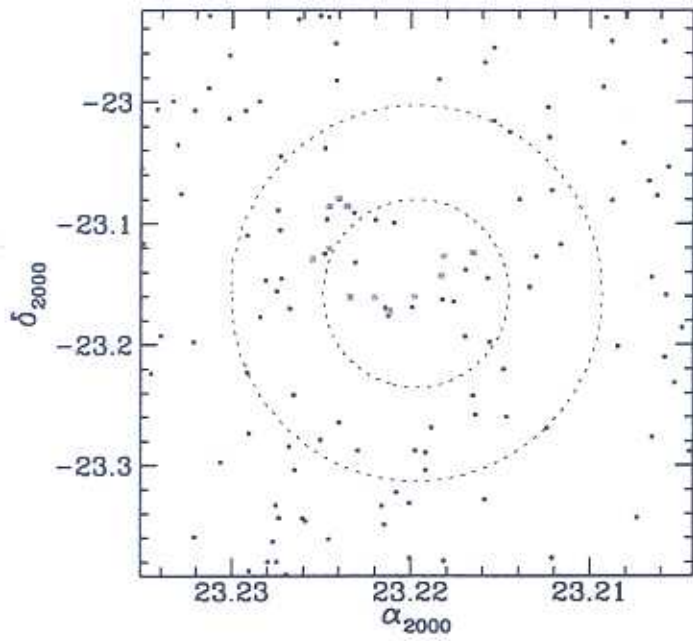


Figura C.49: AqrCC 039 — DSS 18.7' × 18.7'



AqrCC 039 (S1099)

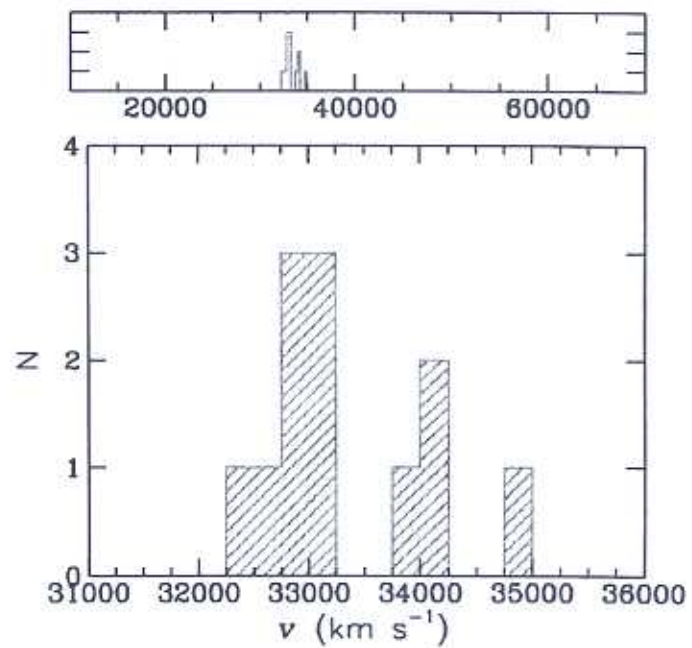
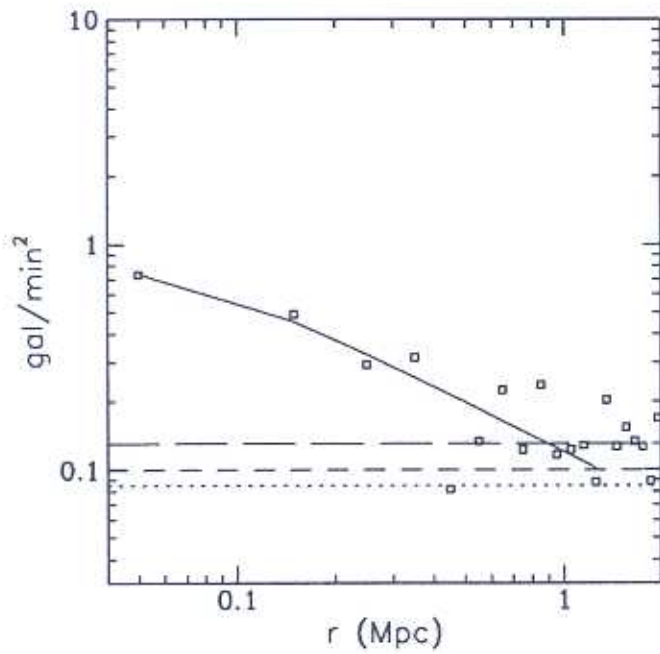


Figura C.50: AqrCC 039 — gráficos

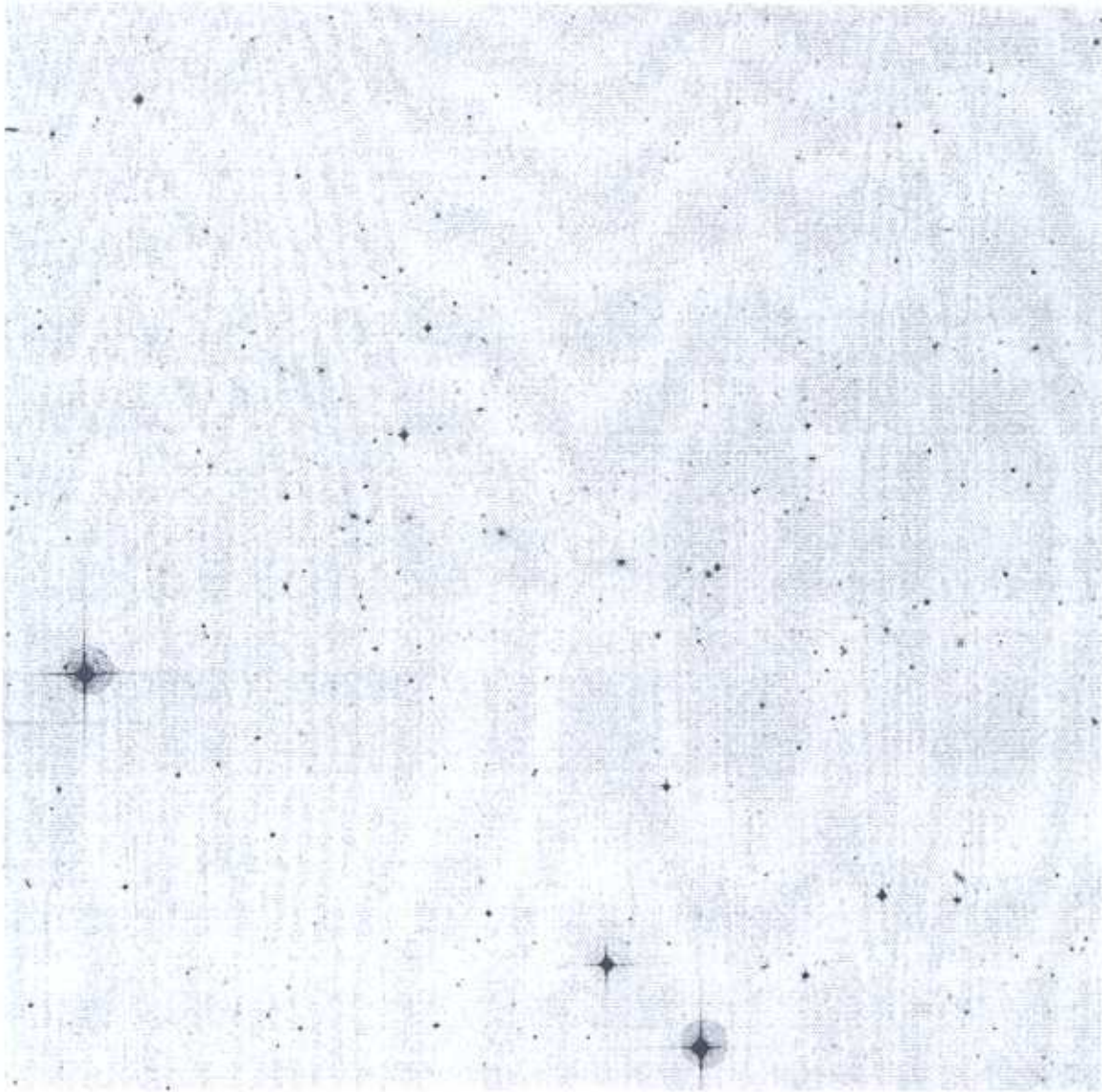
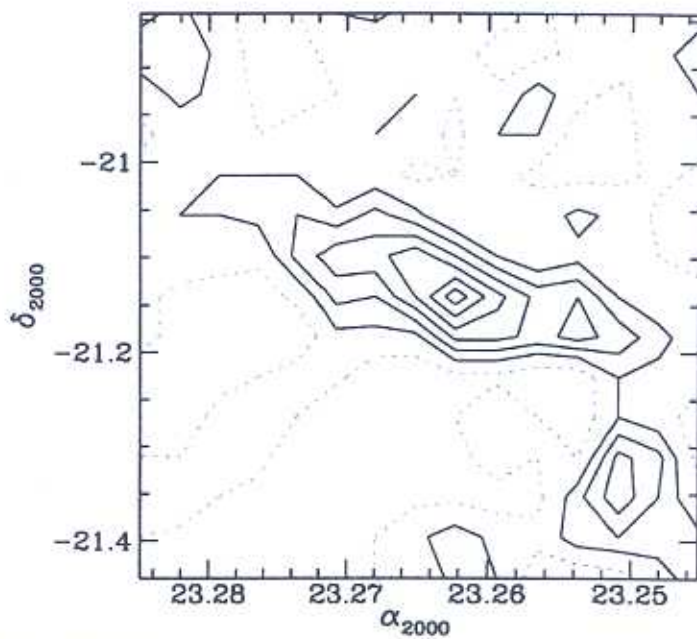
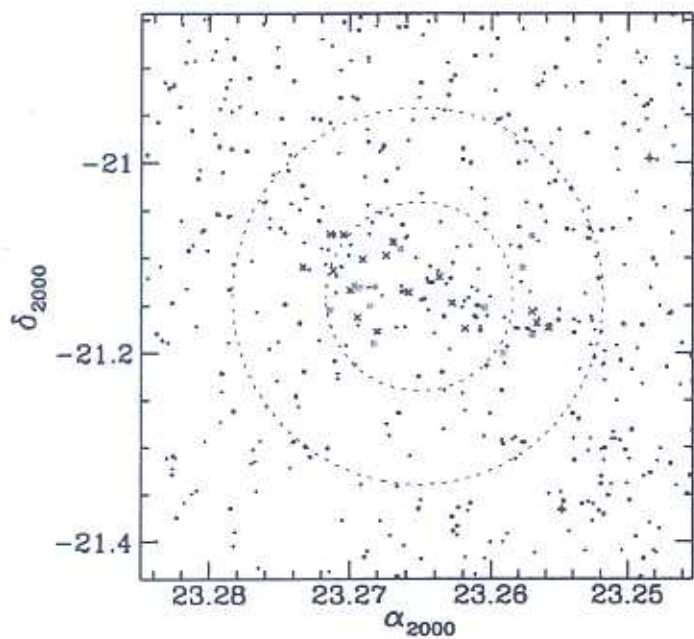


Figura C.51: AqrCC 041-A — DSS 23.9' × 23.9'



AqrCC 041 (A2565-A)

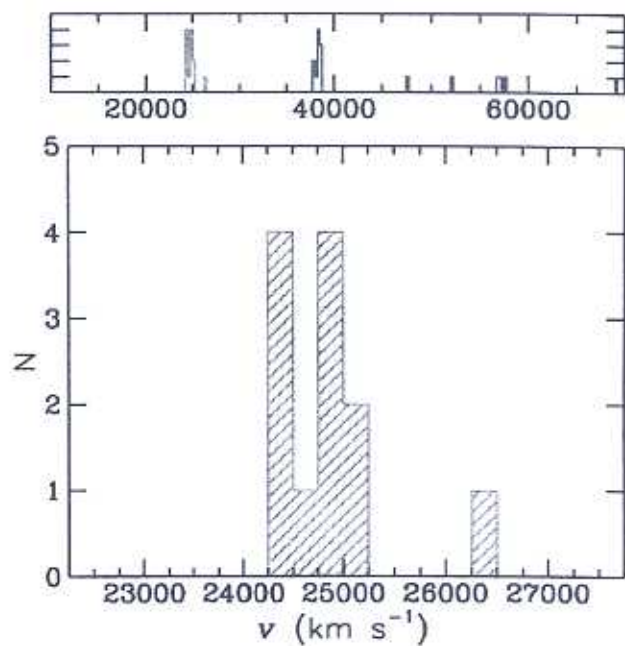
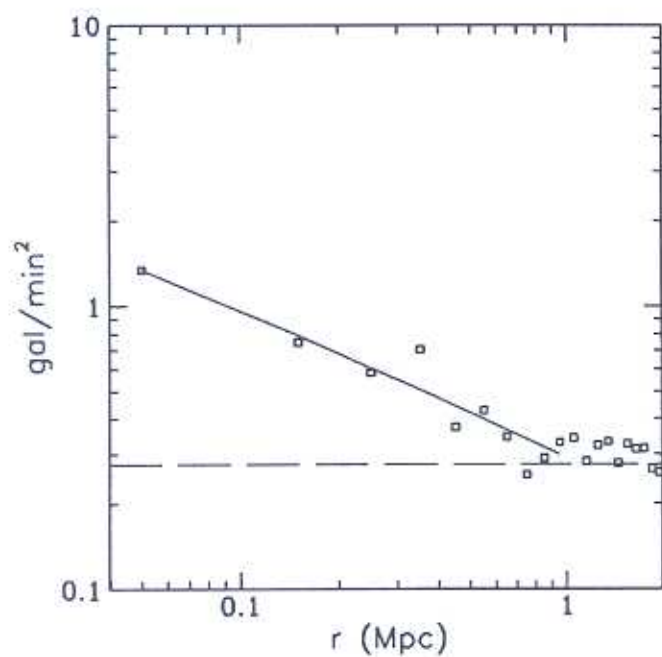


Figura C.52: AqrCC 041-A — gráficos

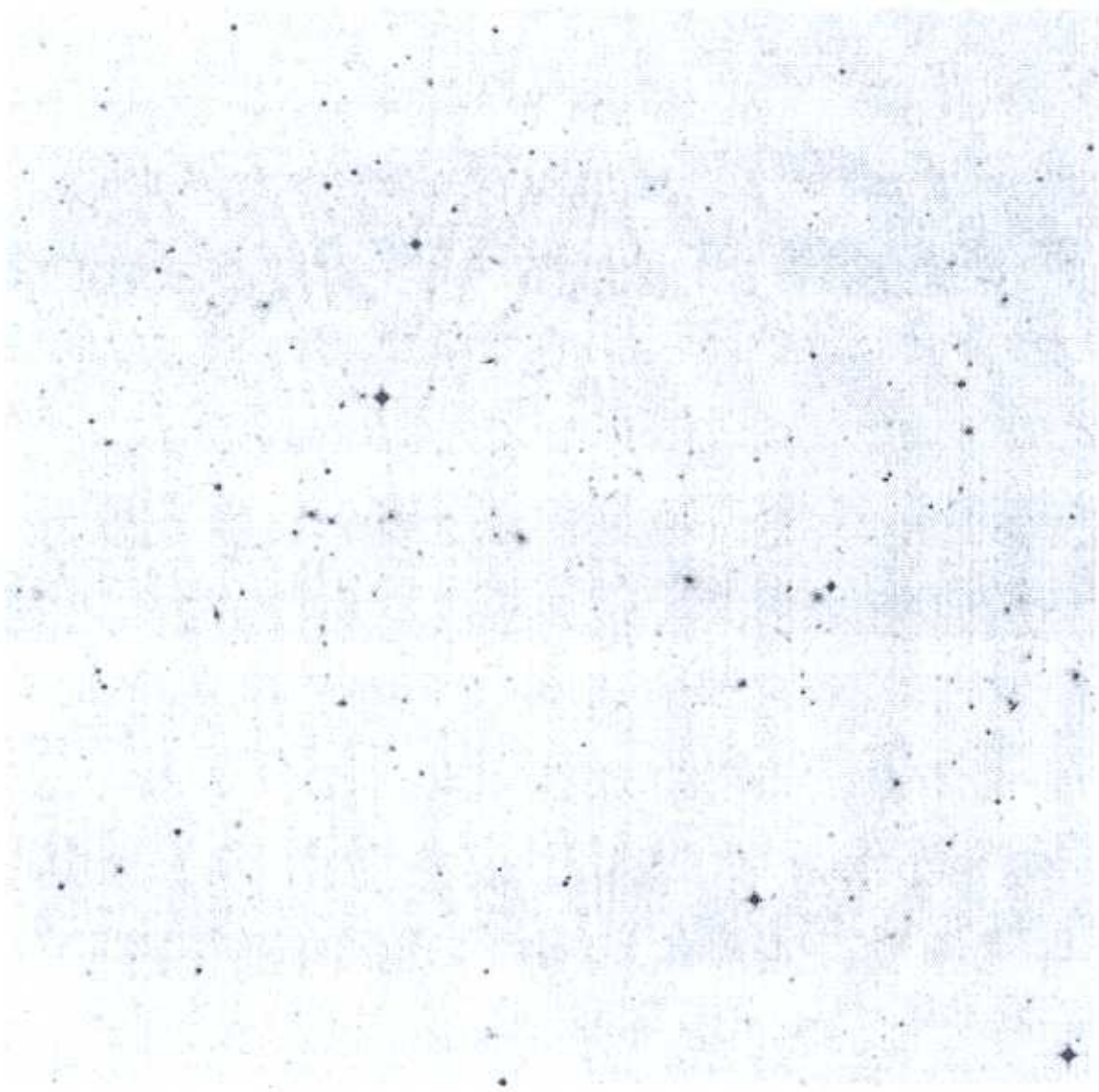
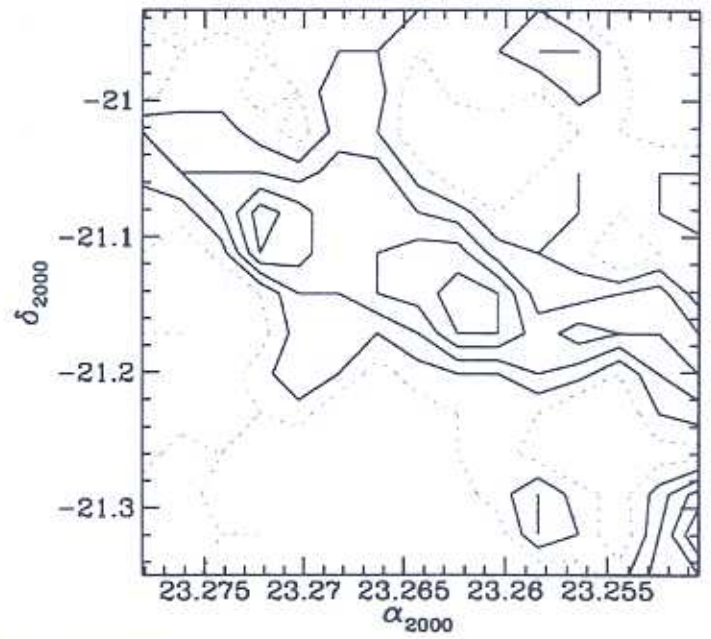
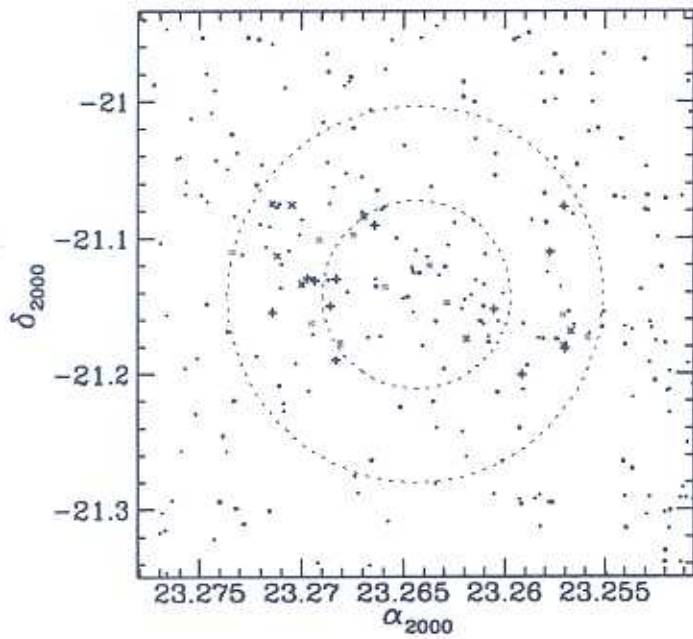


Figura C.53: AqrCC 041-B — DSS 16.6' × 16.6'



AqrCC 041 (A2565-B)

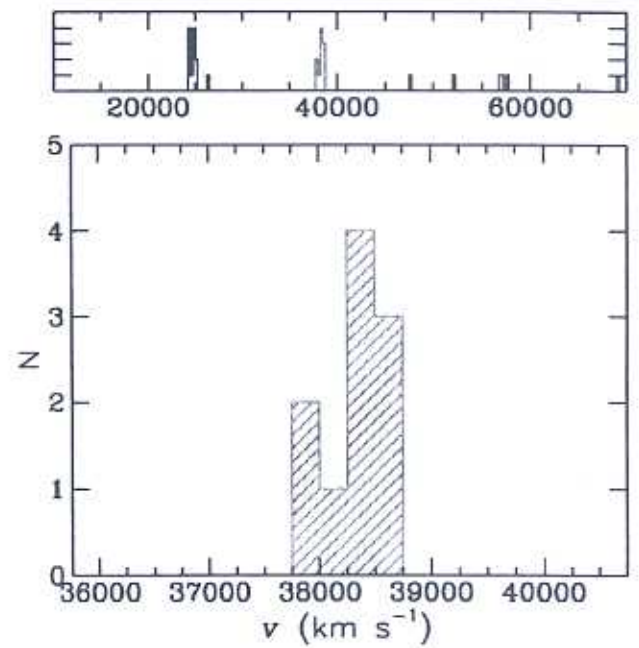
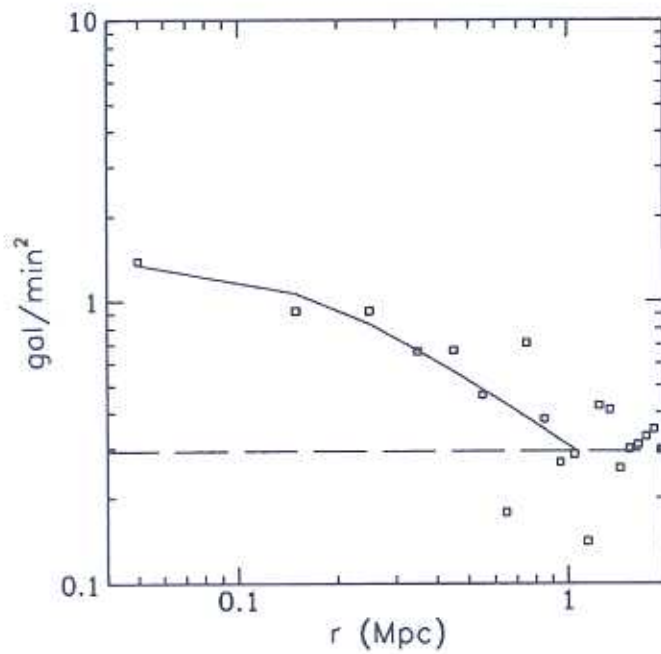
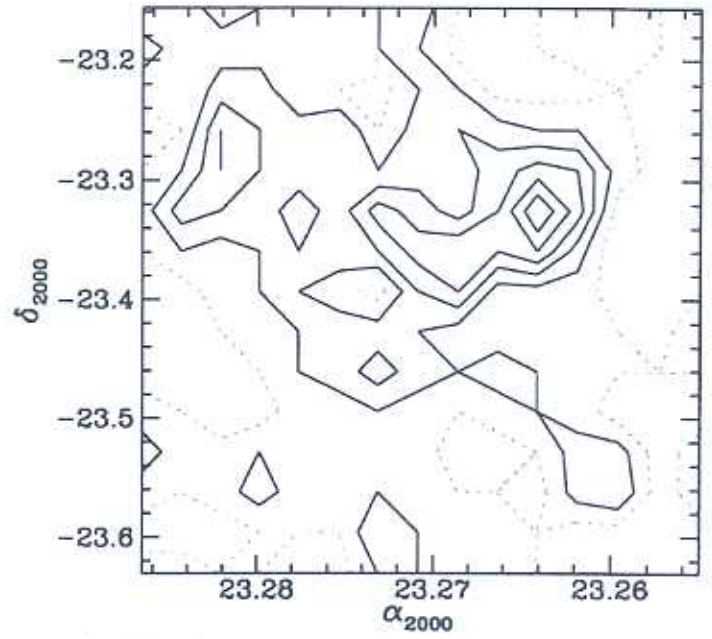
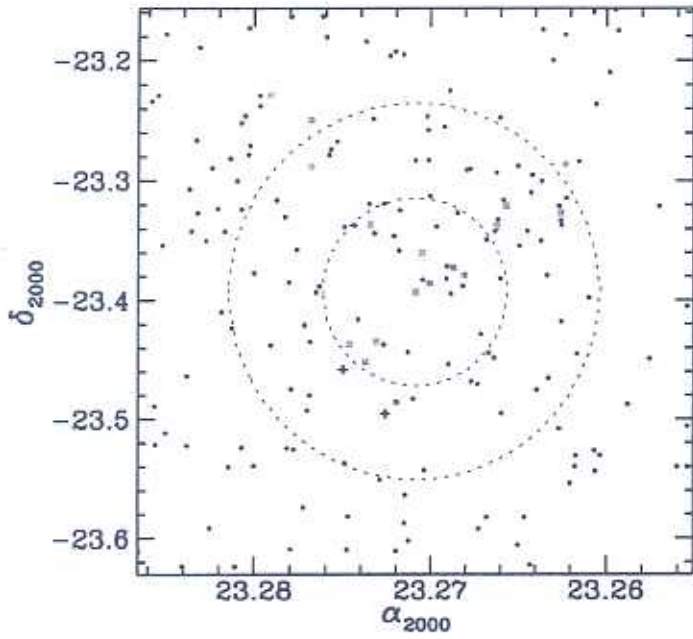


Figura C.54: AqrCC 041-B — gráficos



Figura C.55: AqrCC 042 — DSS 18.9' × 18.9'



AqrCC 042 (A3985)

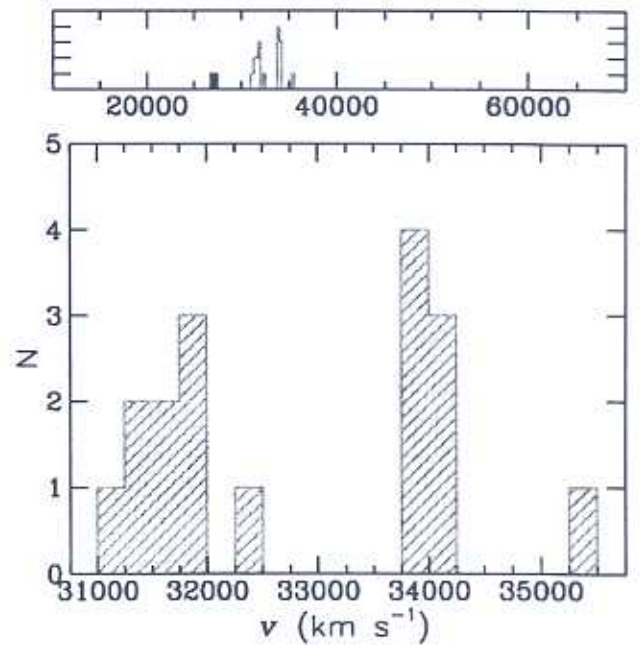
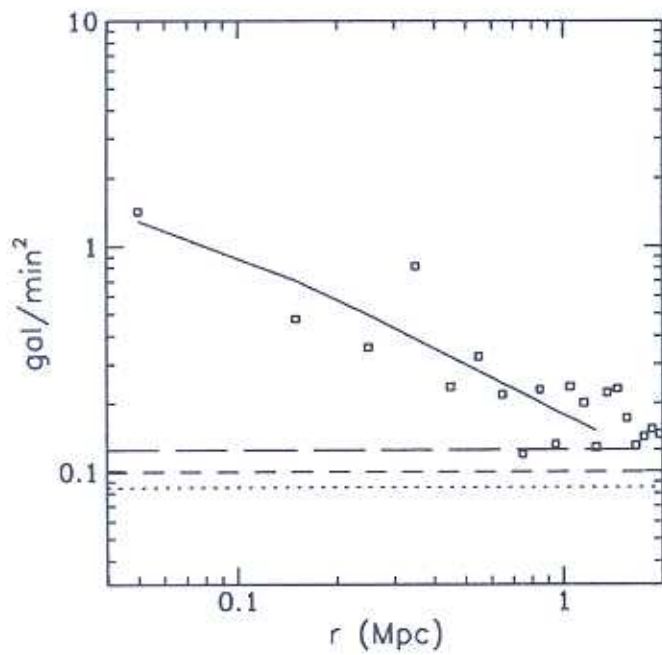


Figura C.56: AqrCC 042 — gráficos

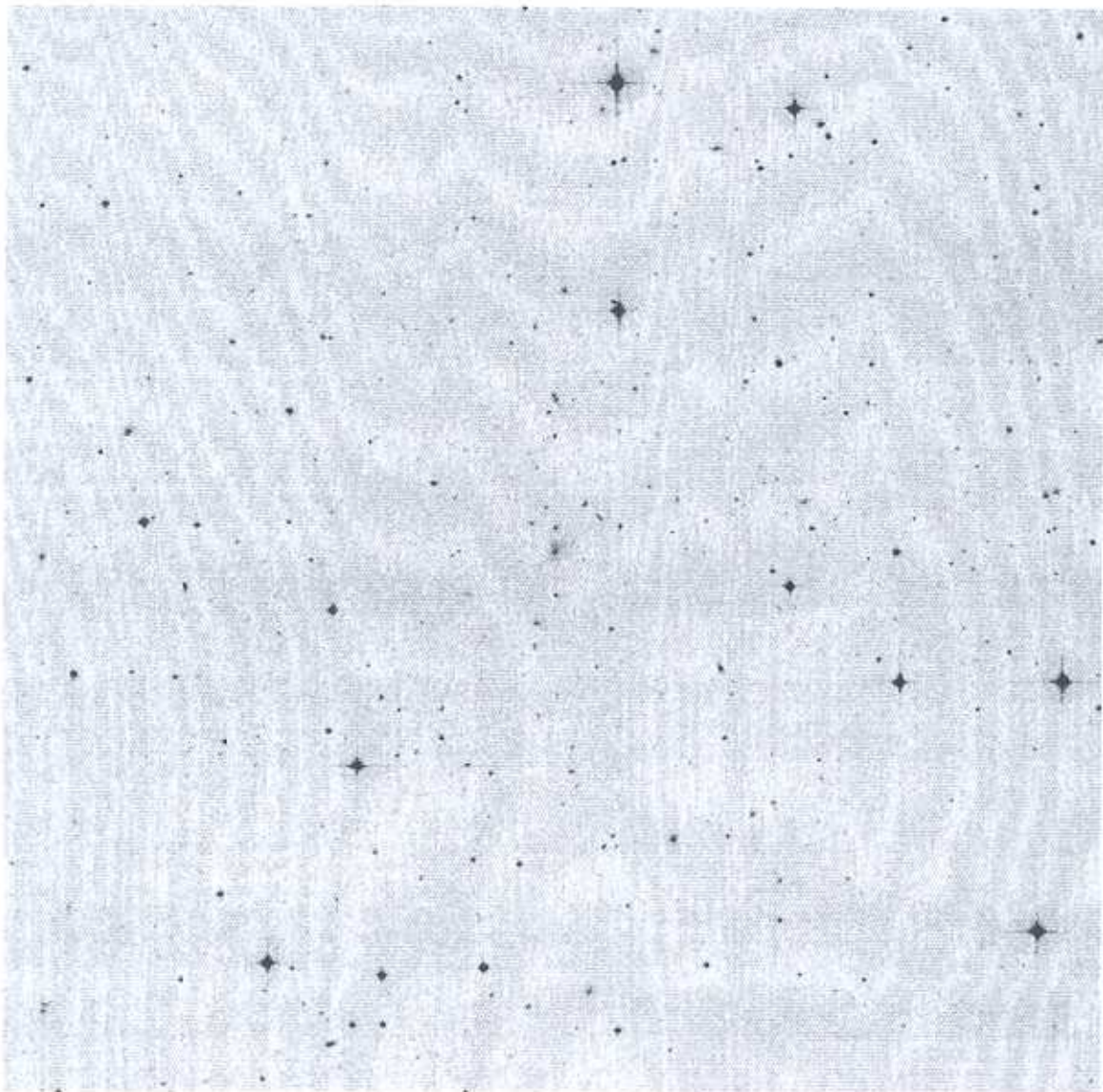
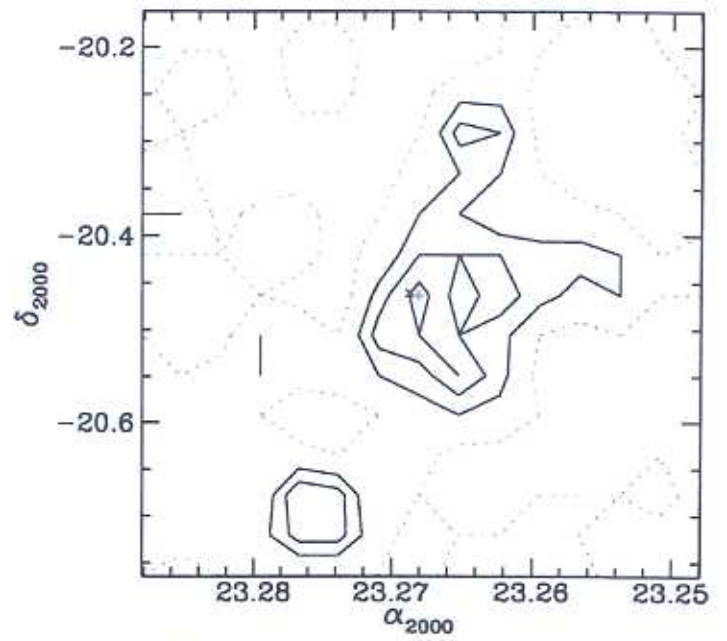
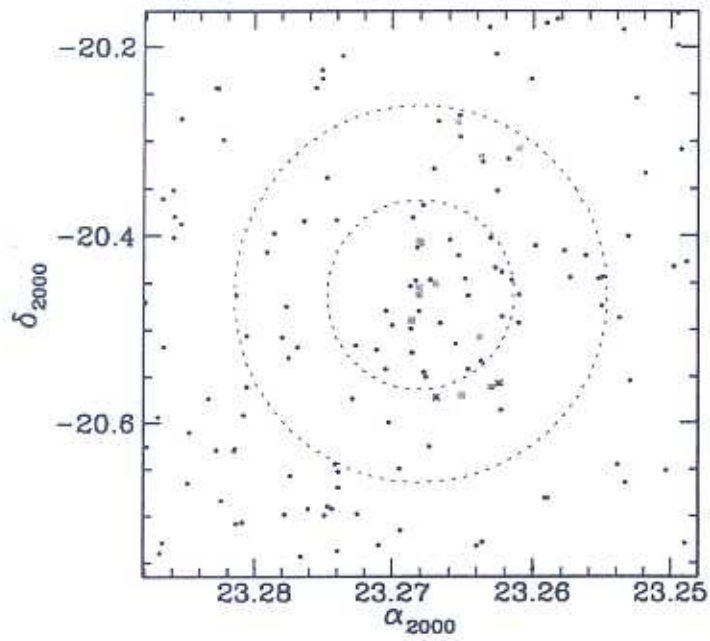


Figura C.57: AqrCC 044 — DSS 24.0' × 24.0'



AqrCC 044 (A2566)

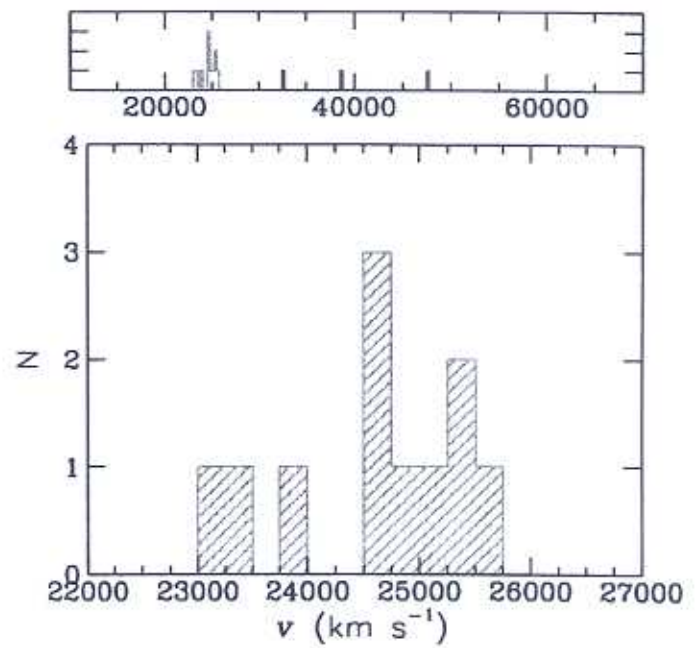
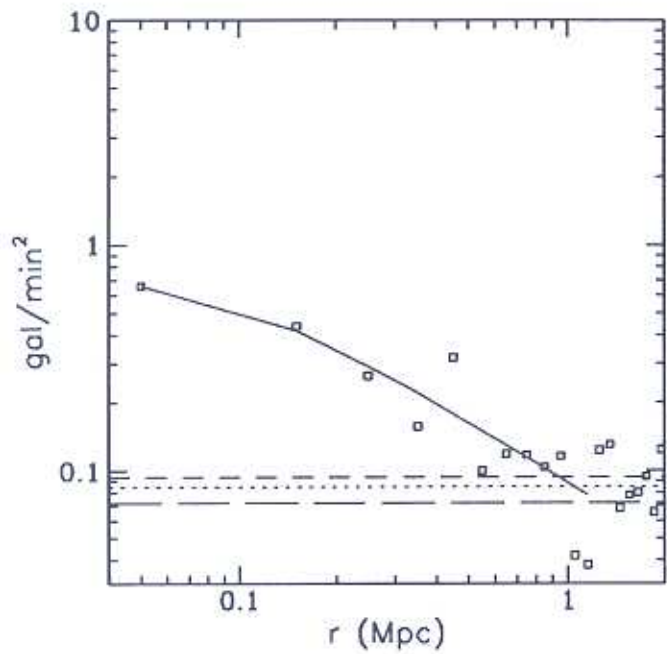
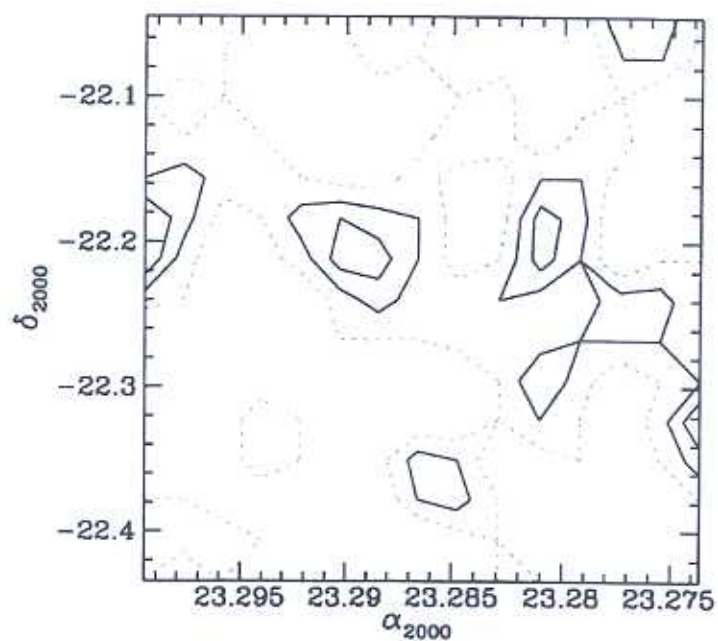
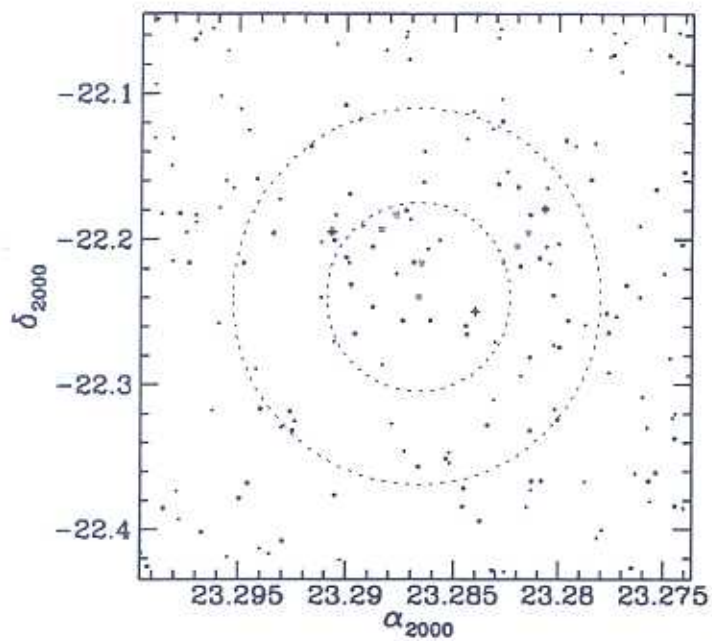


Figura C.58: AqrCC 044 — gráficos



Figura C.59: AqrCC 046 — DSS 15.5' × 15.5'



AqrCC 046 (A2568)

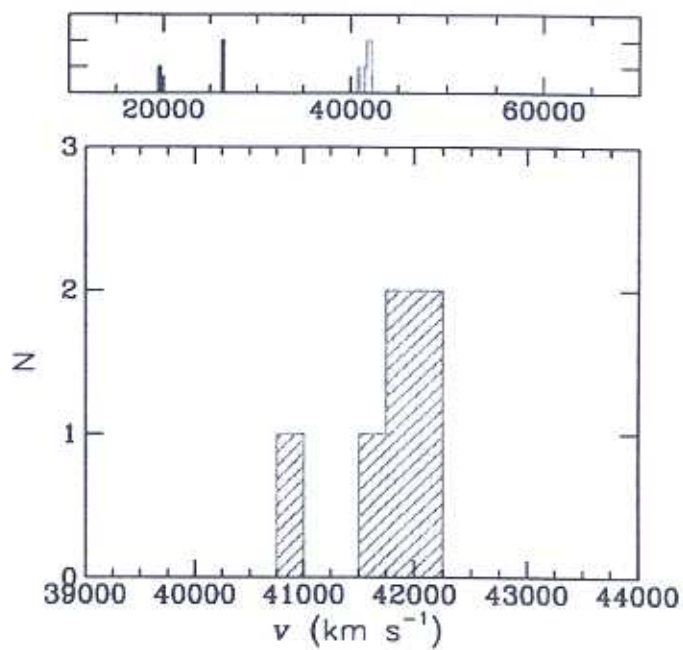
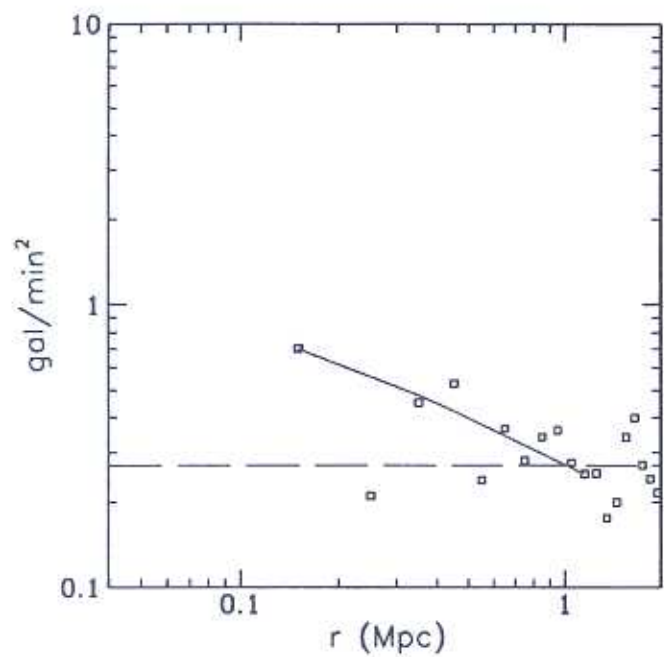


Figura C.60: AqrCC 046 — gráficos

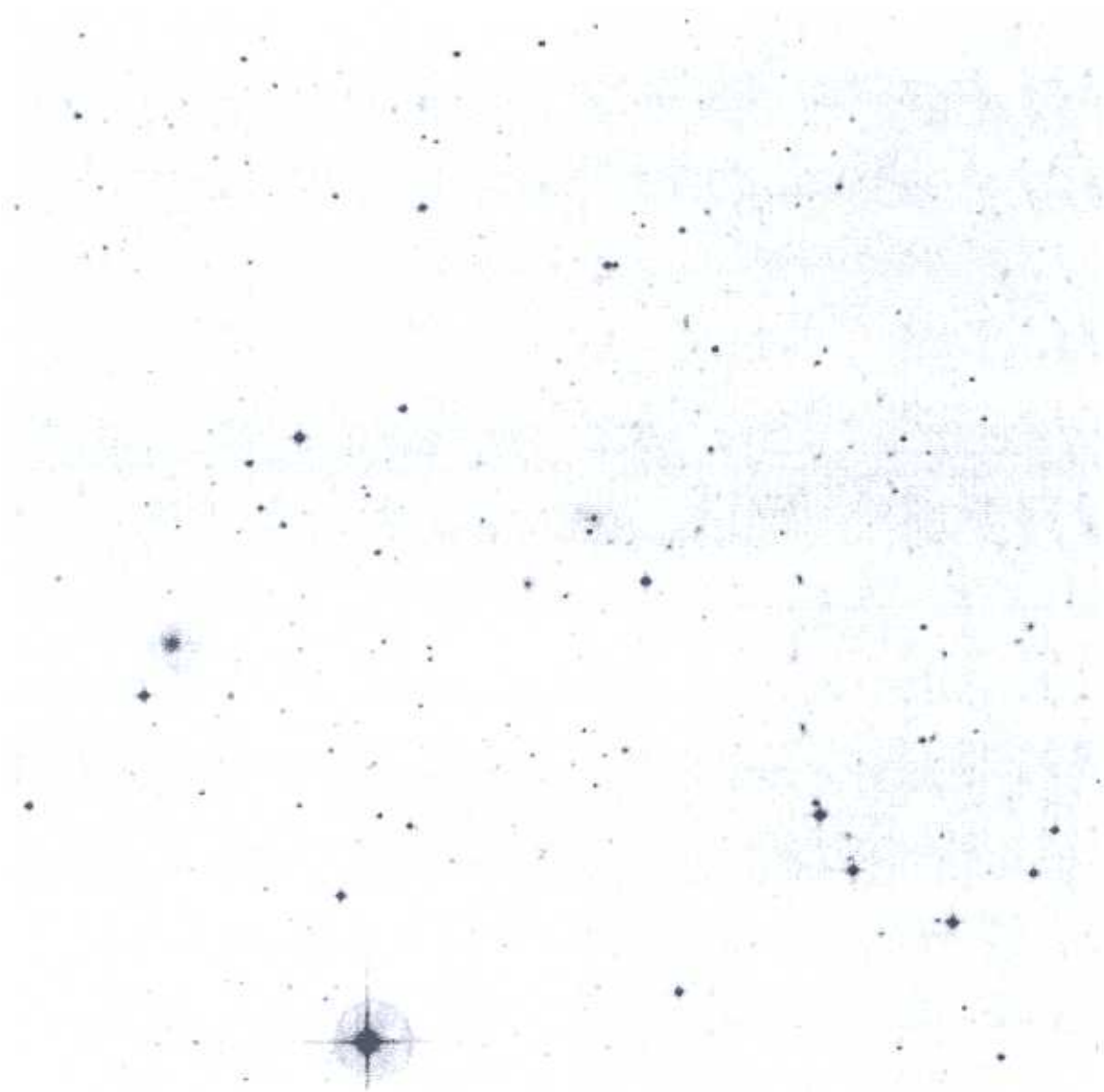
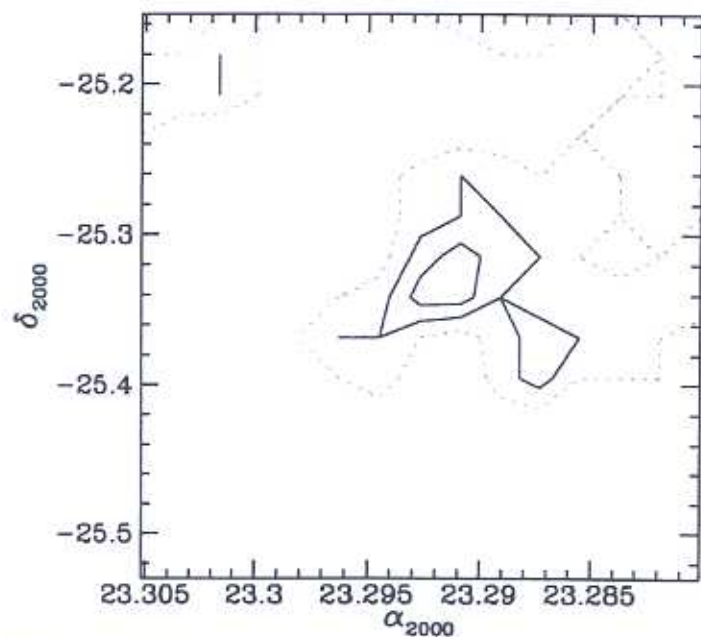
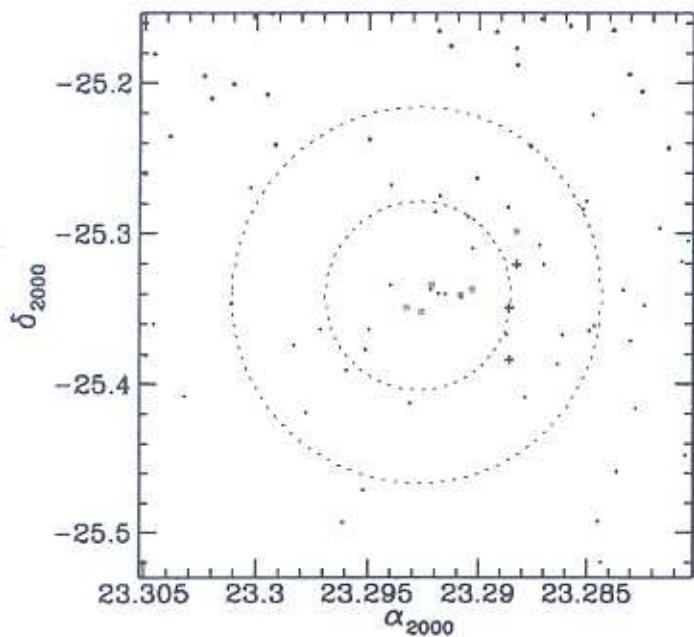


Figura C.61: AqrCC 047 — DSS 15.0' × 15.0'



AqrCC 047 (ED275)

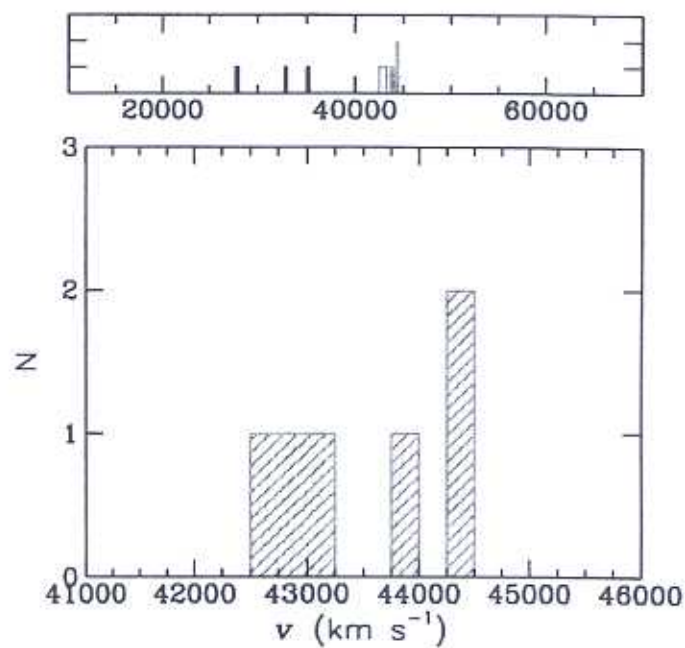
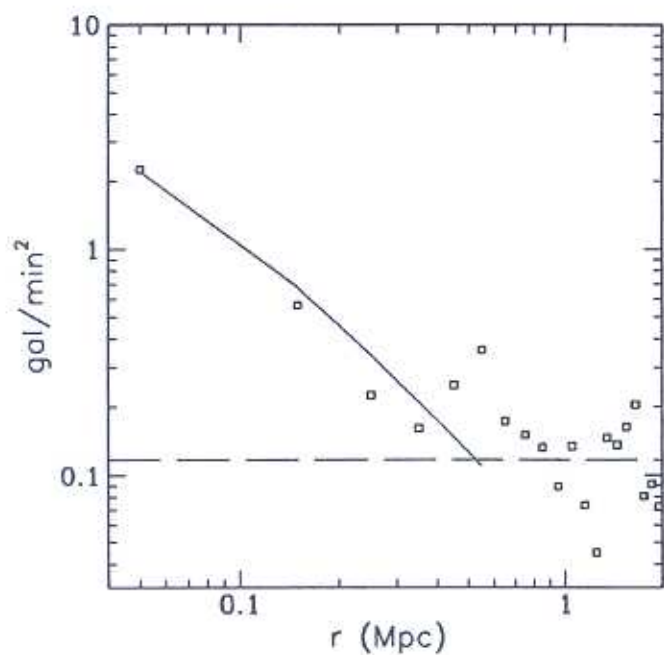
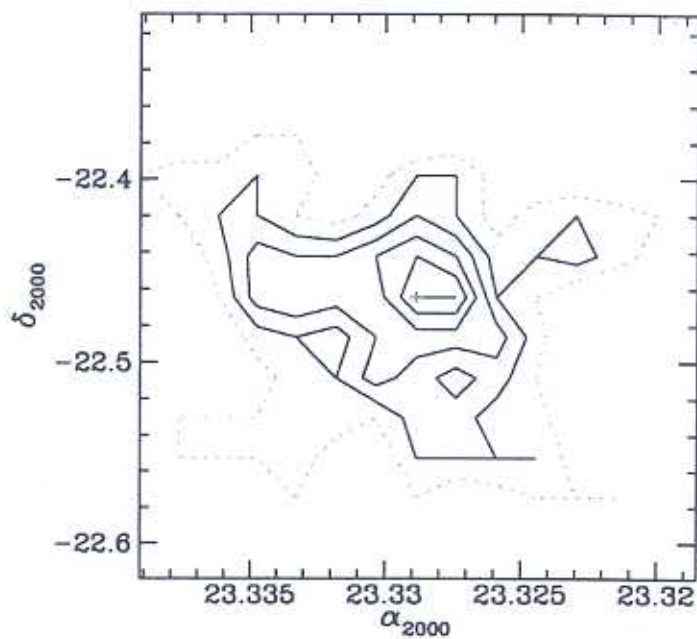
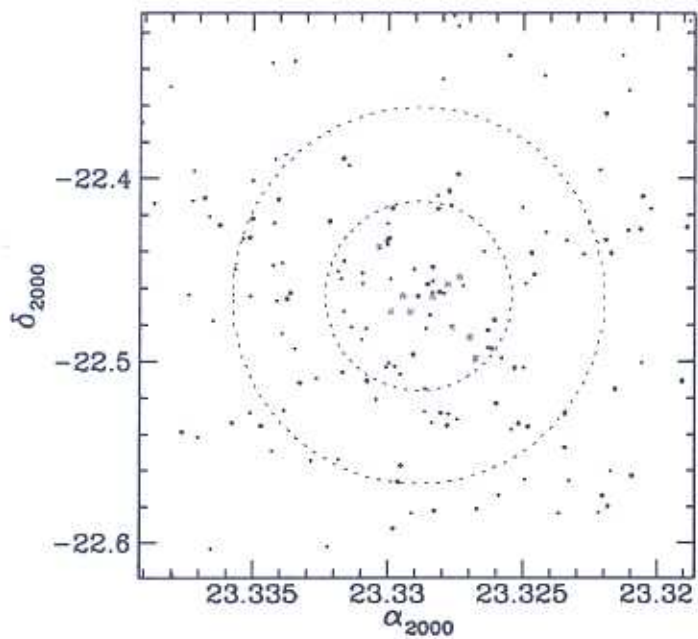


Figura C.62: AqrCC 047 — gráficos



Figura C.63: AqrCC 051 — DSS 12.4' × 12.4'



AqrCC 051 (A2576)

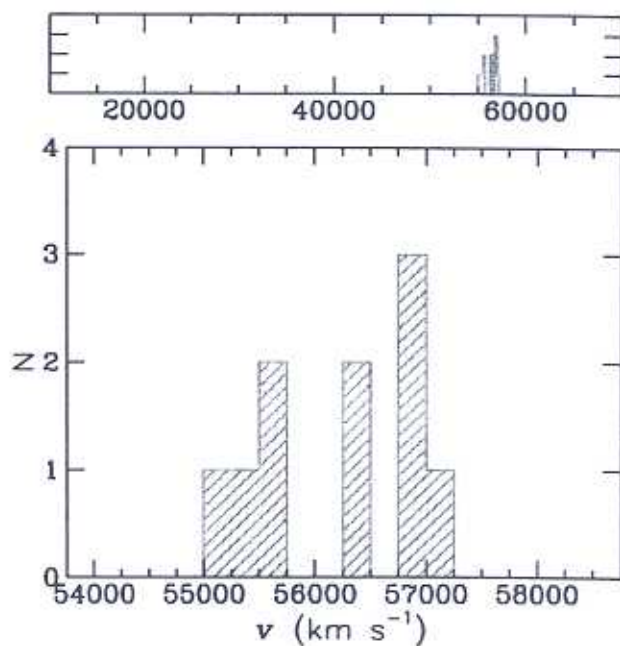
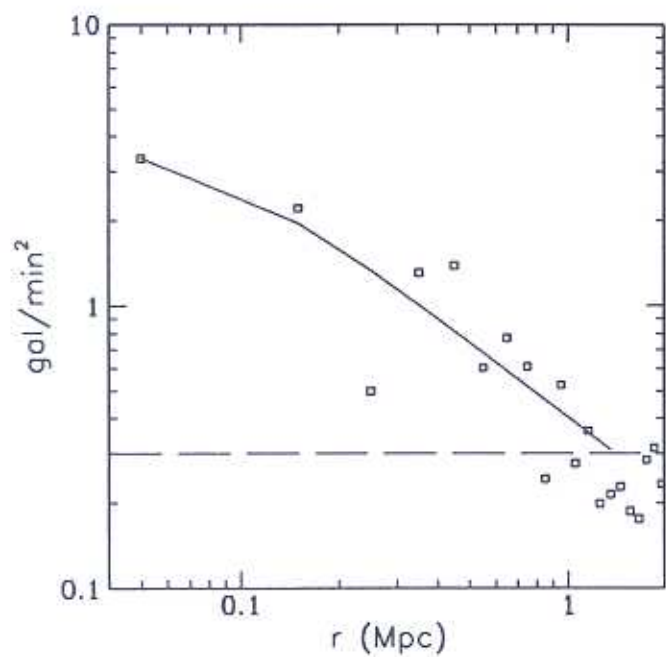


Figura C.64: AqrCC 051 — gráficos

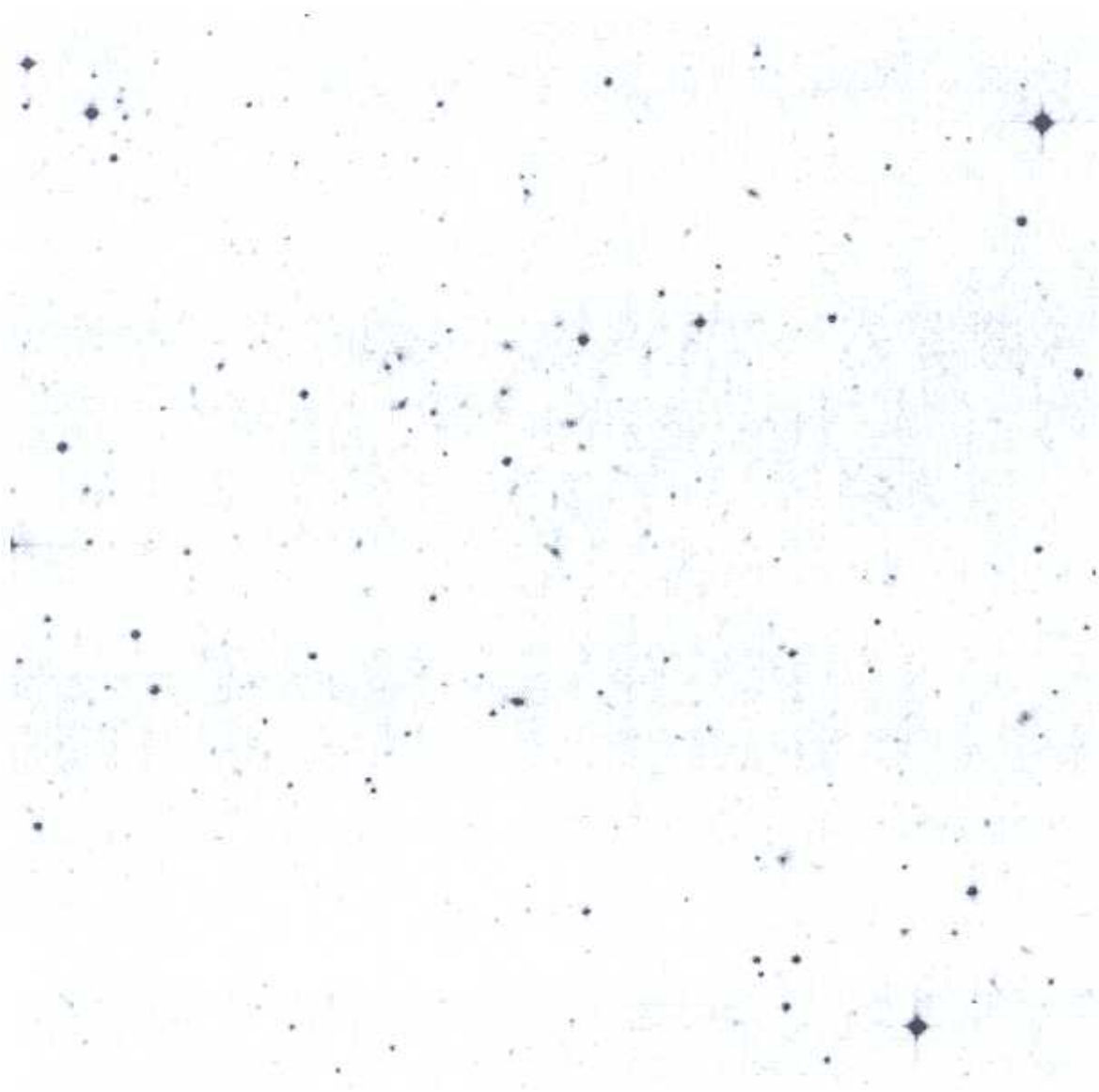
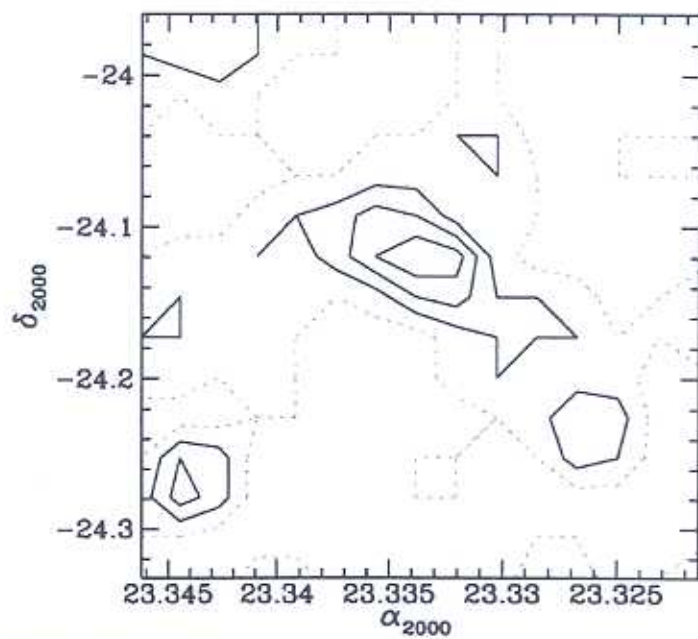
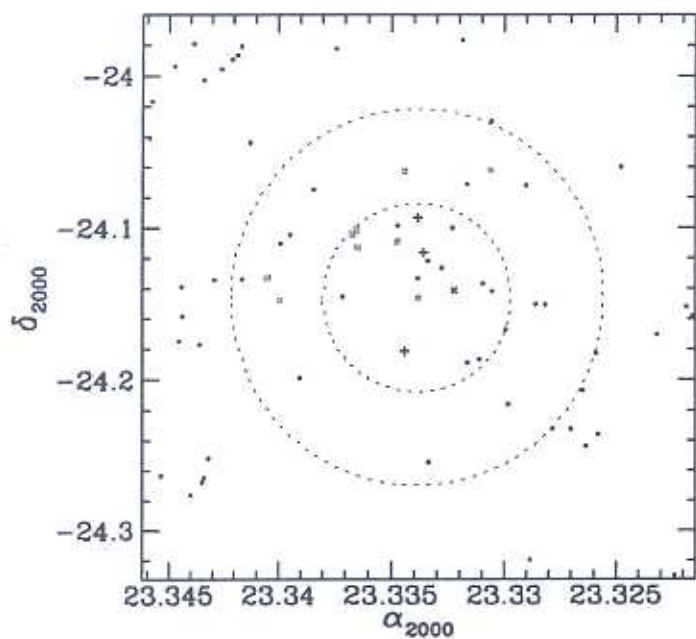


Figura C.65: AqrCC 052 — DSS 14.9' × 14.9'



AqrCC 052 (S1113)

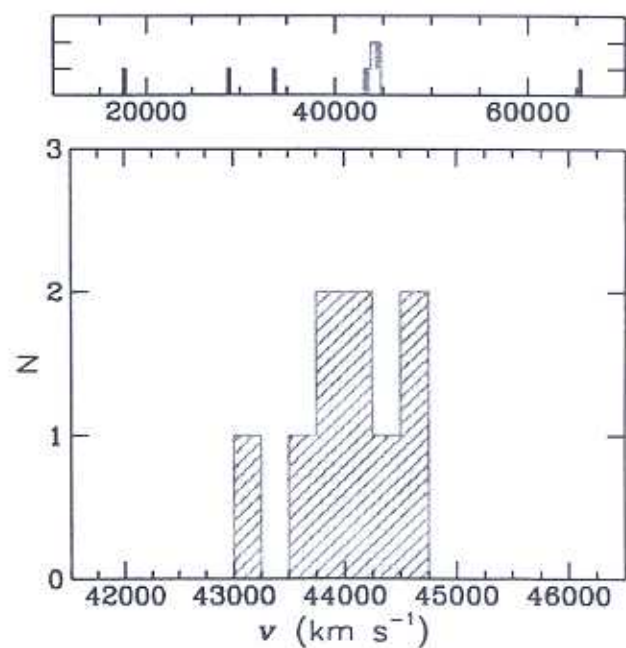
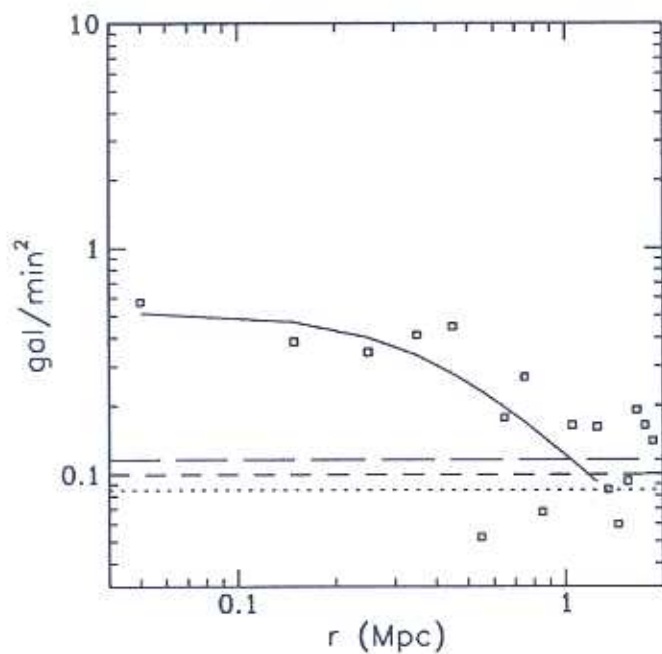


Figura C.66: AqrCC 052 — gráficos

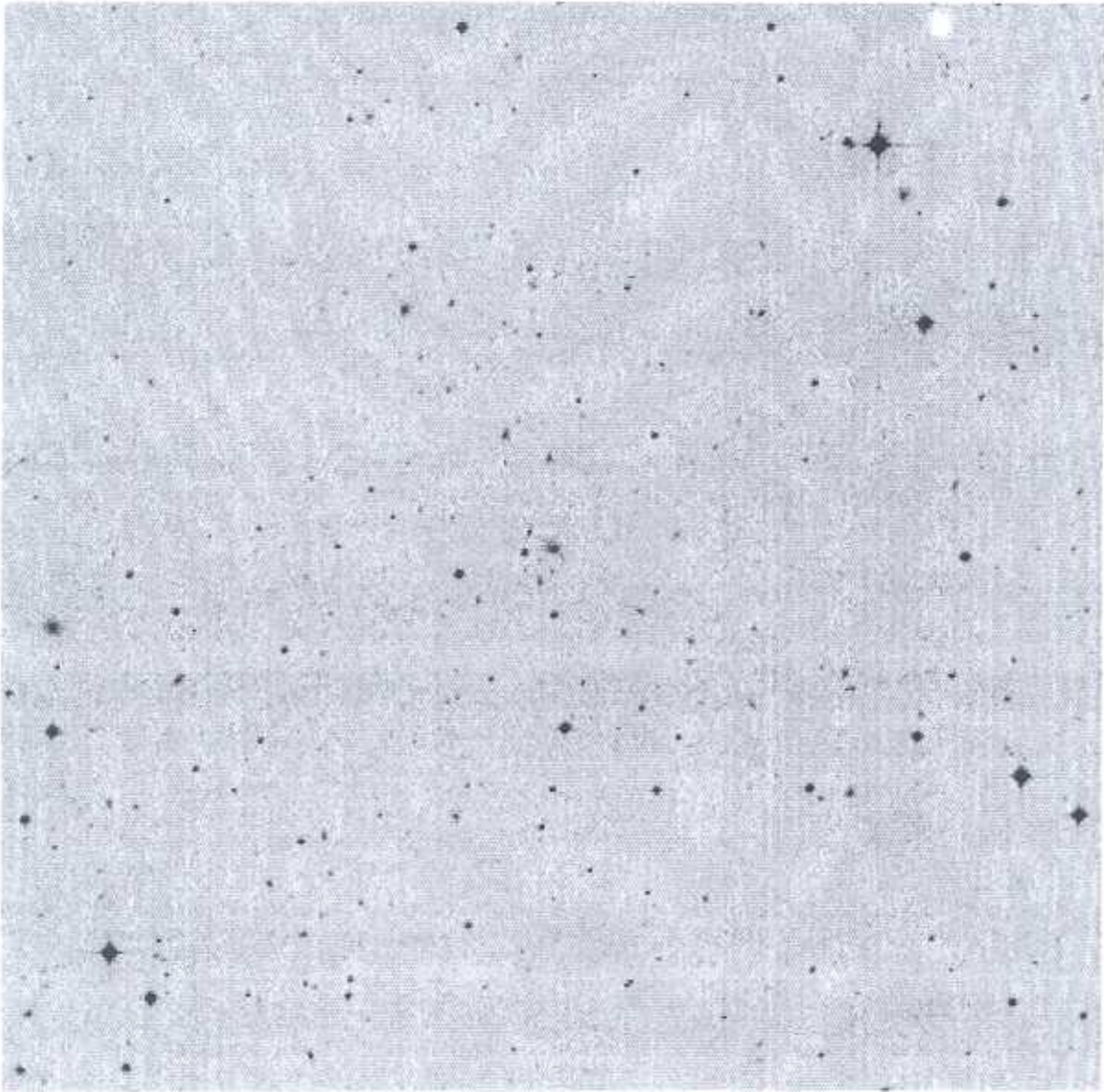
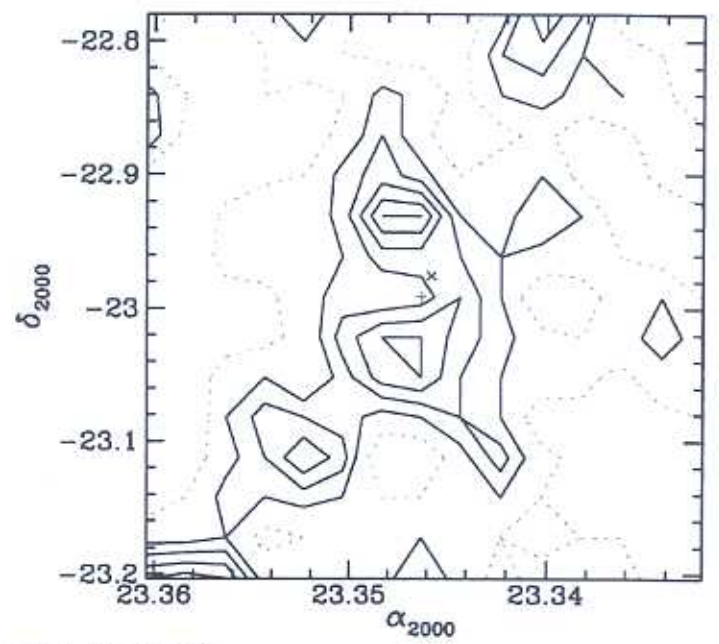
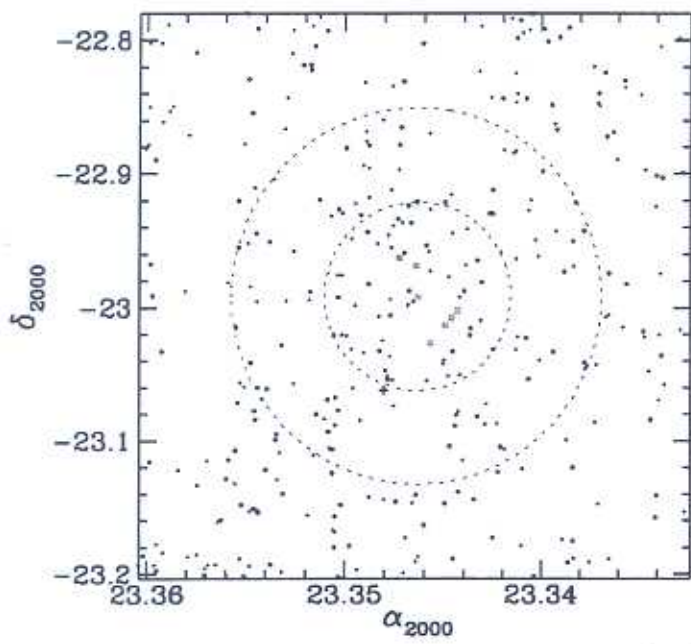


Figura C.67: AqrCC 055 — DSS 16.9' × 16.9'



AqrCC 055 (A2577)

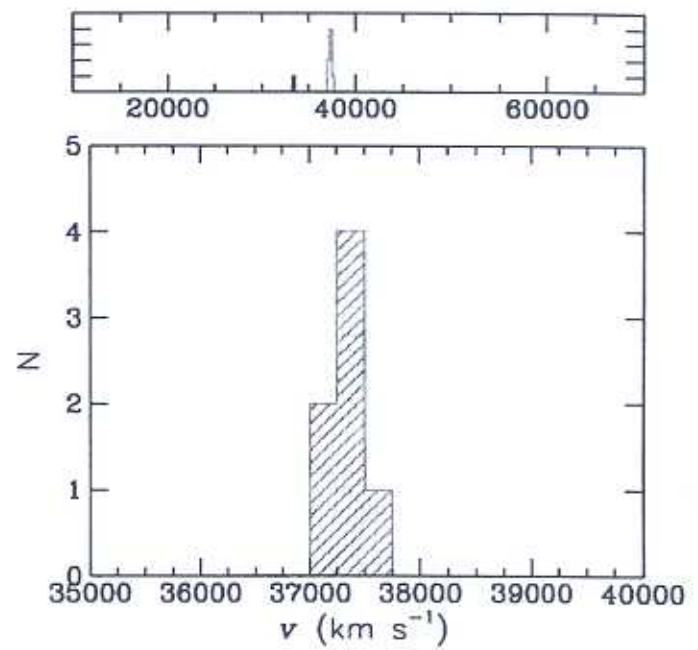
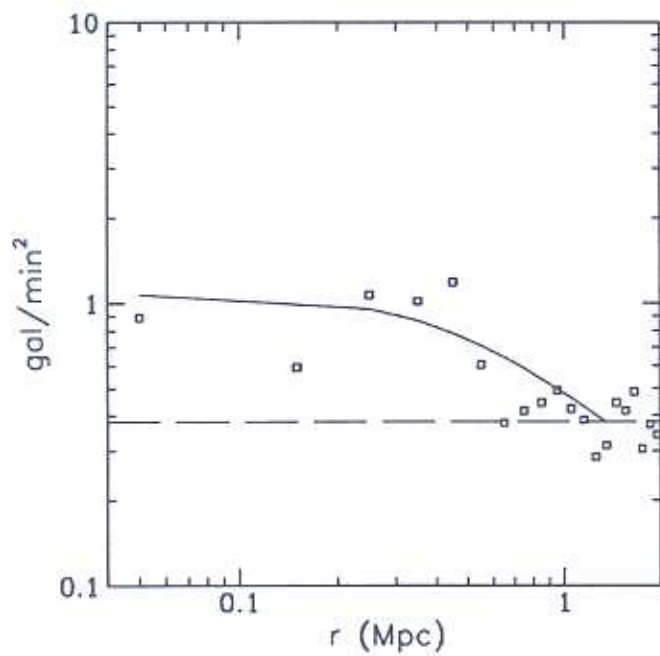
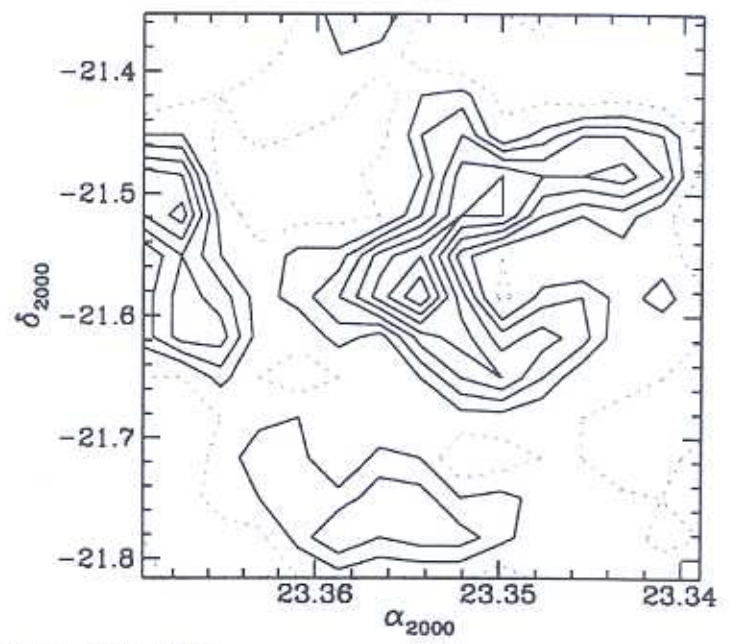
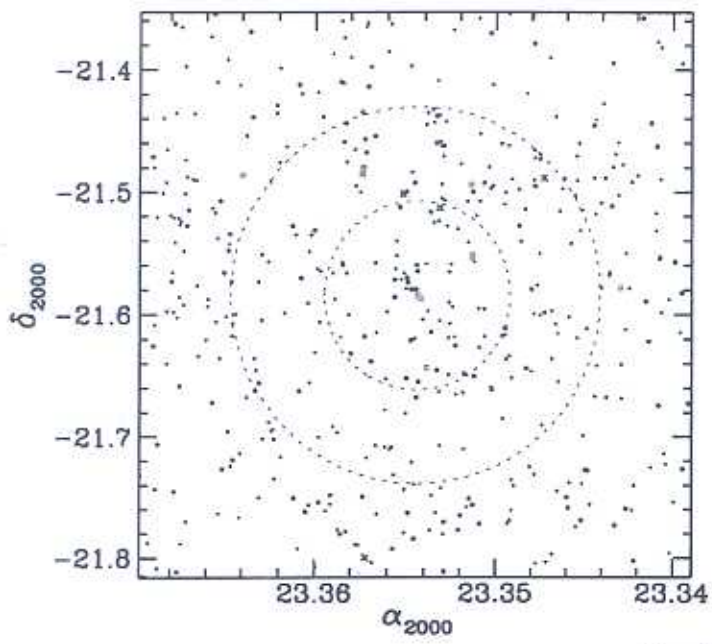


Figura C.68: AqrCC 055 — gráficos



Figura C.69: AqrCC 057 — DSS 18.6' × 18.6'



AqrCC 057 (A2579)

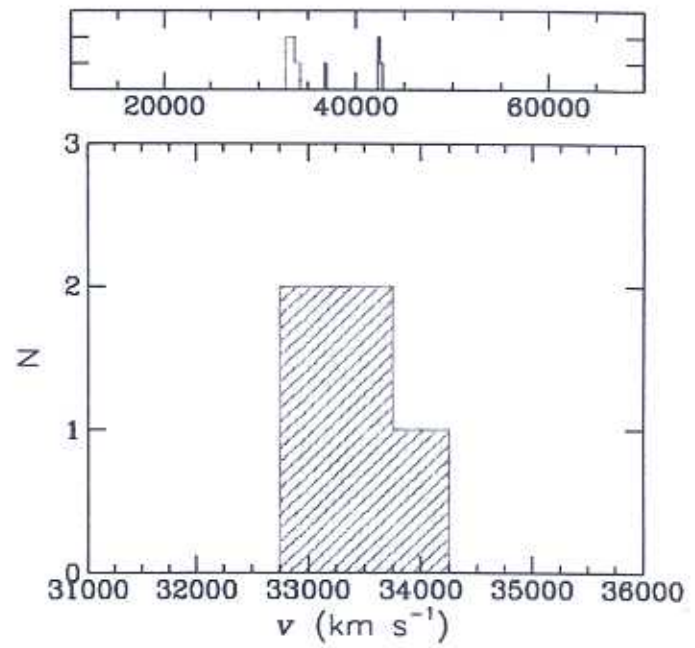
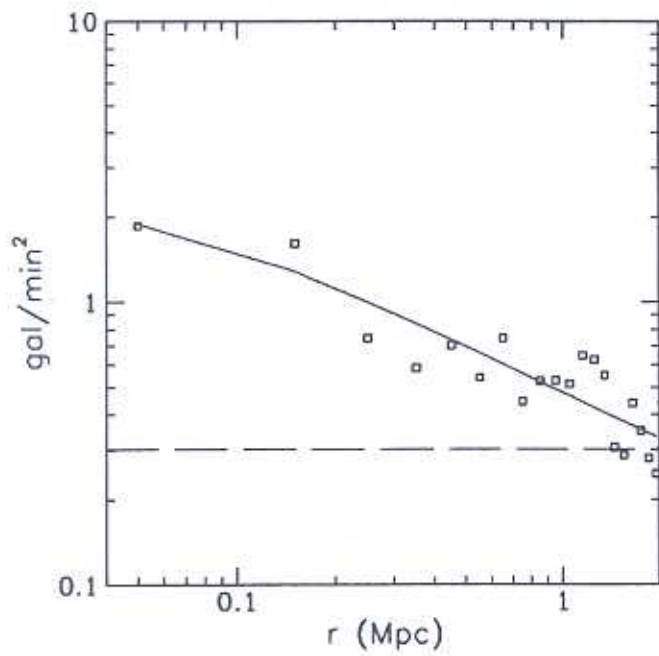


Figura C.70: AqrCC 057 — gráficos

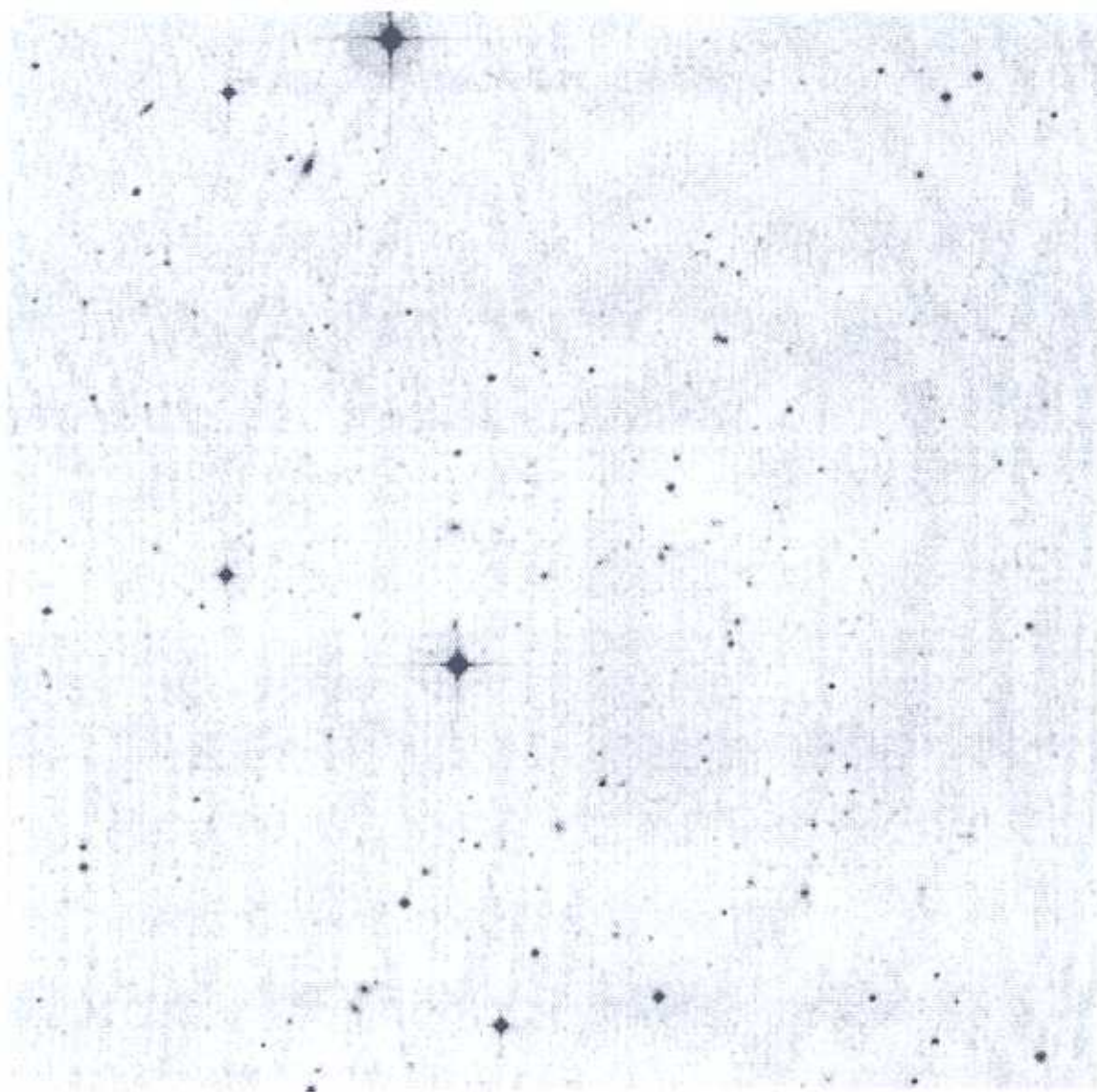
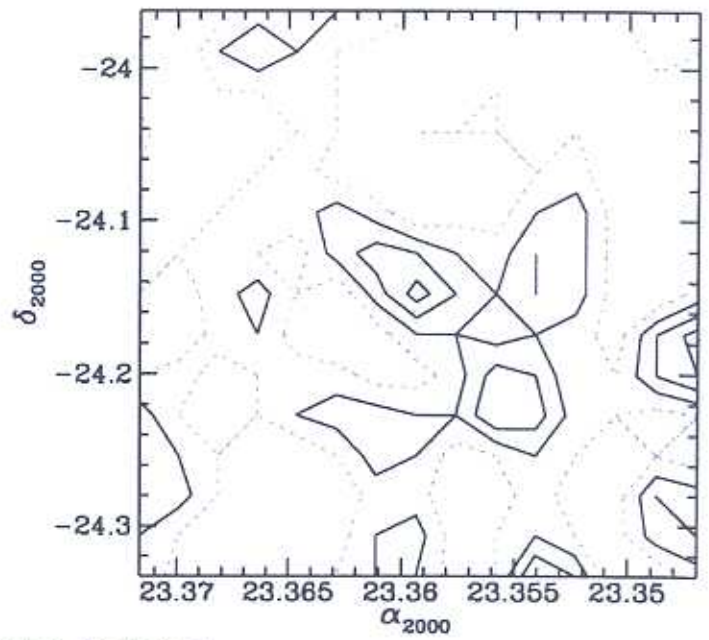
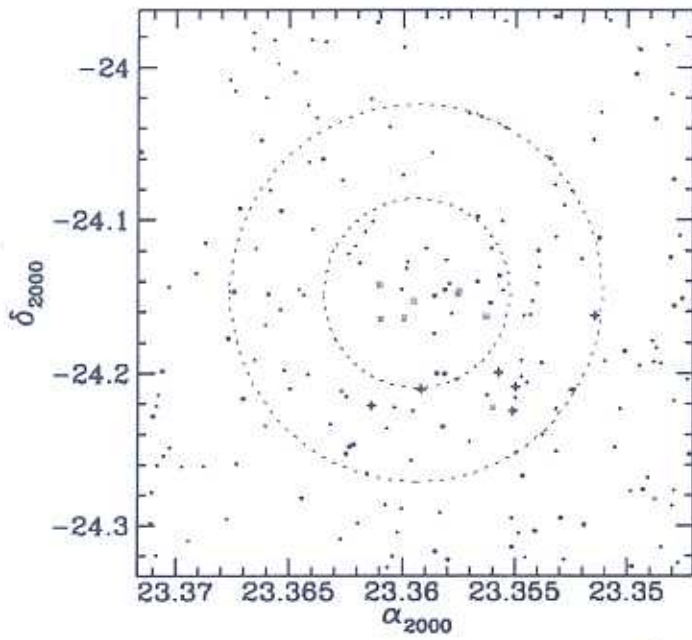


Figura C.71: AqrCC 059 — DSS 14.8' × 14.8'



AqrCC 059 (A3997)

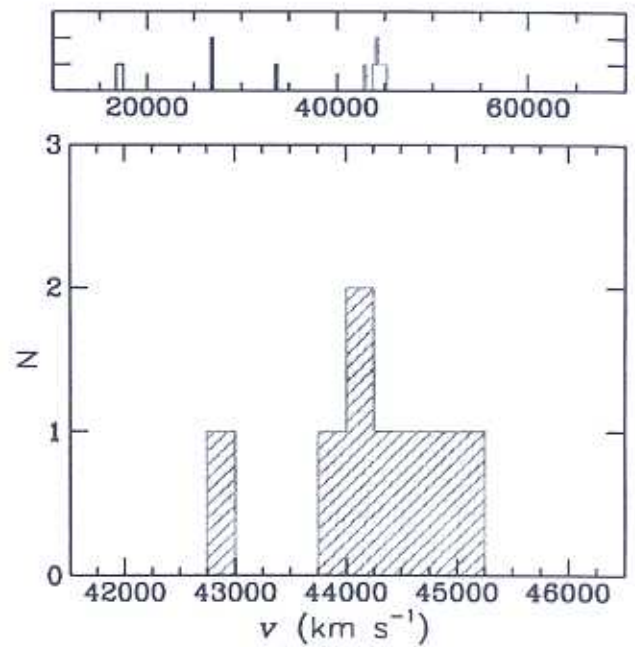
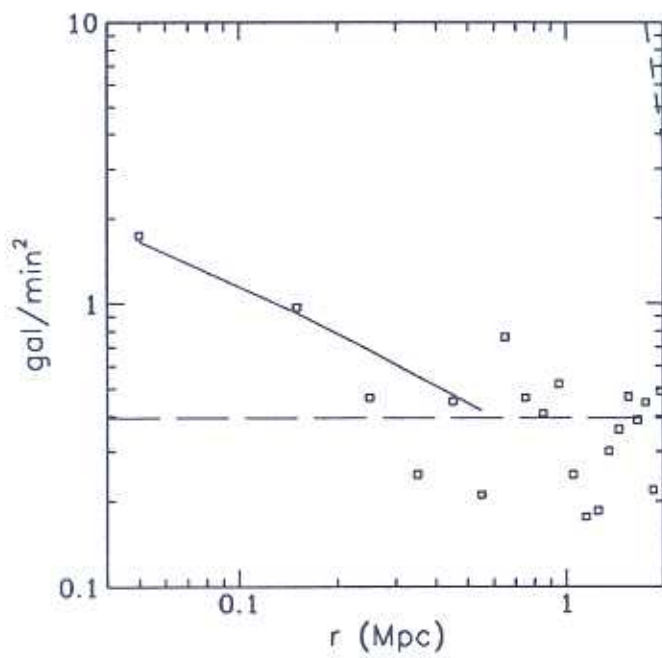


Figura C.72: AqrCC 059 — gráficos

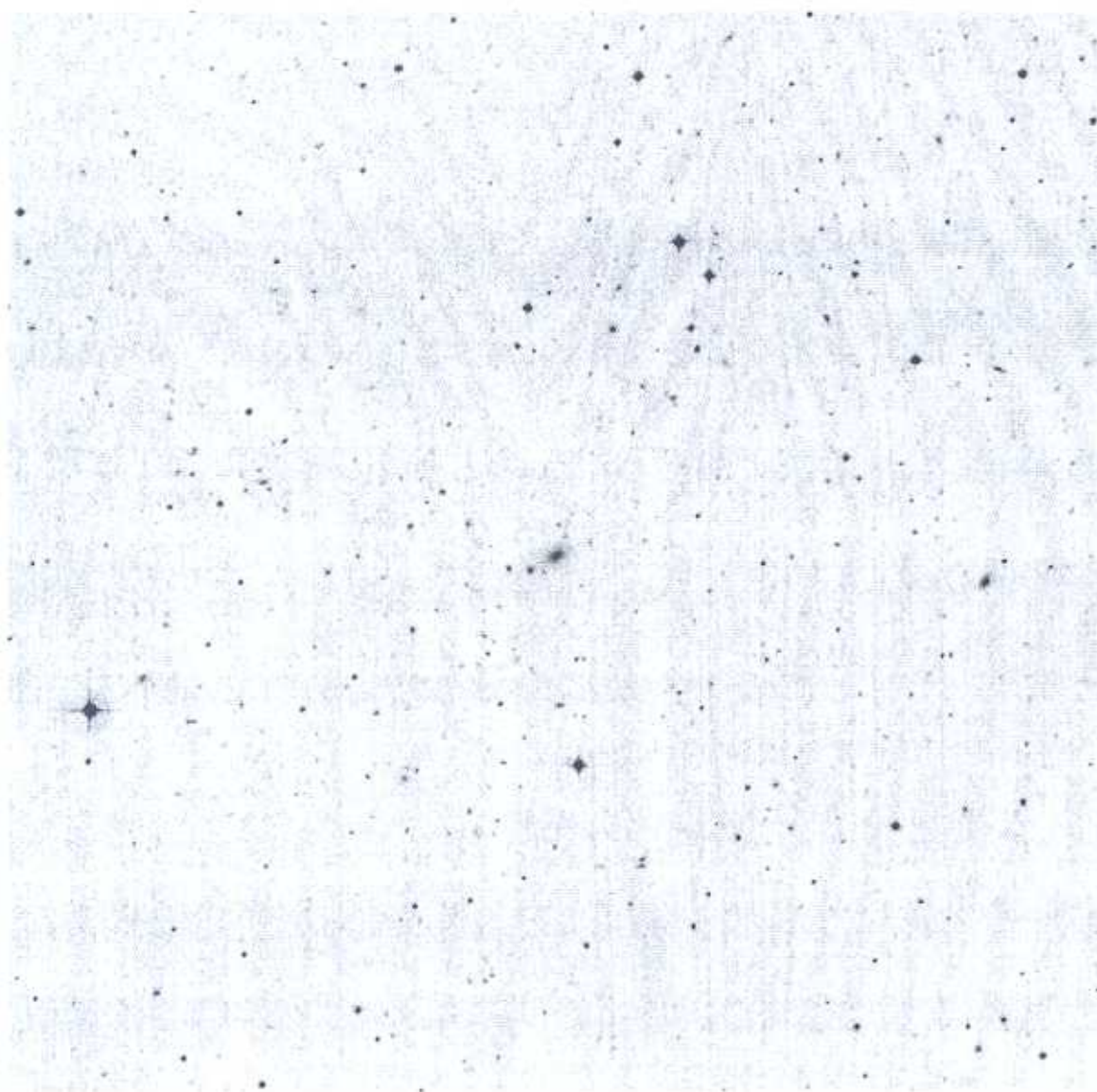
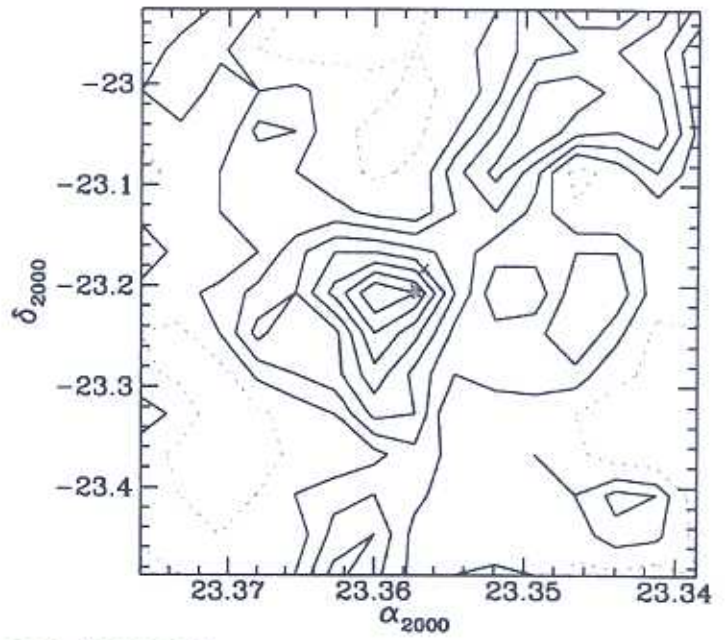
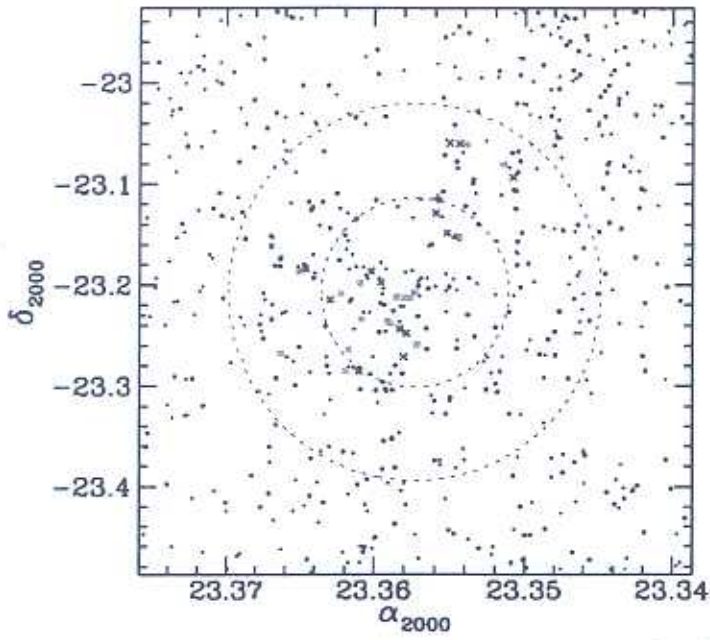


Figura C.73: AqrCC 061 — DSS 22.4' × 22.4'



AqrCC 061 (A2580)

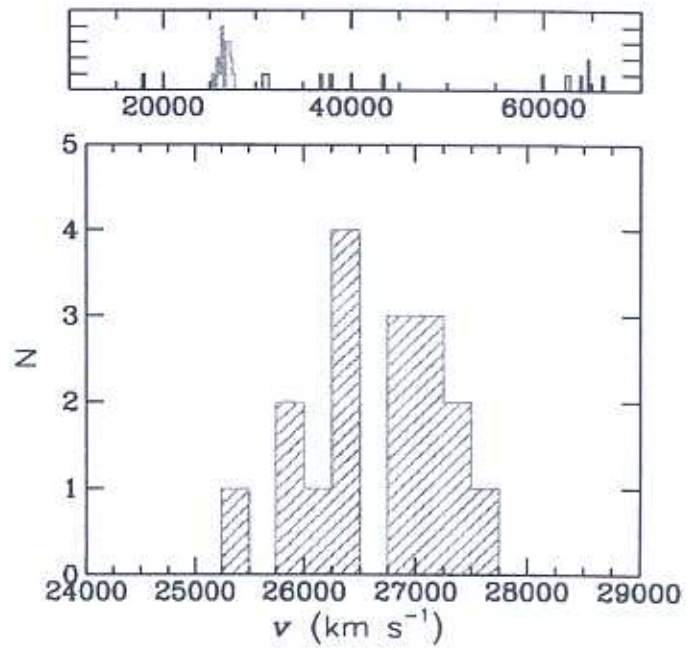
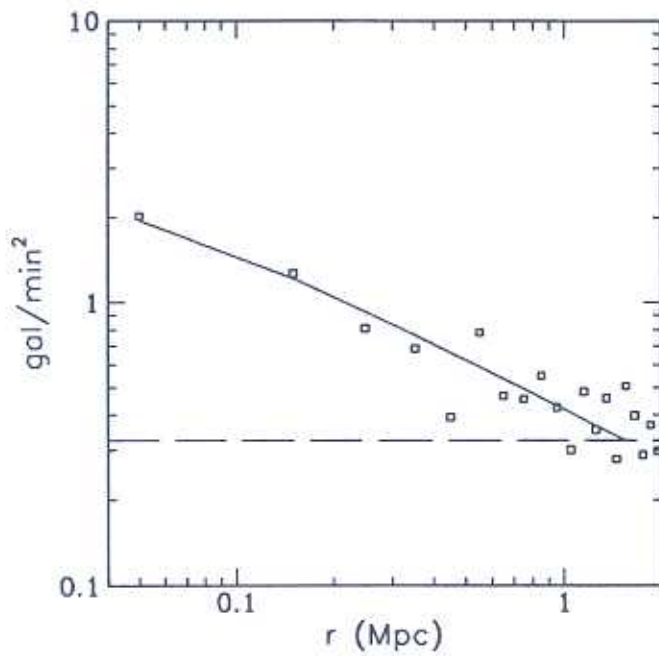
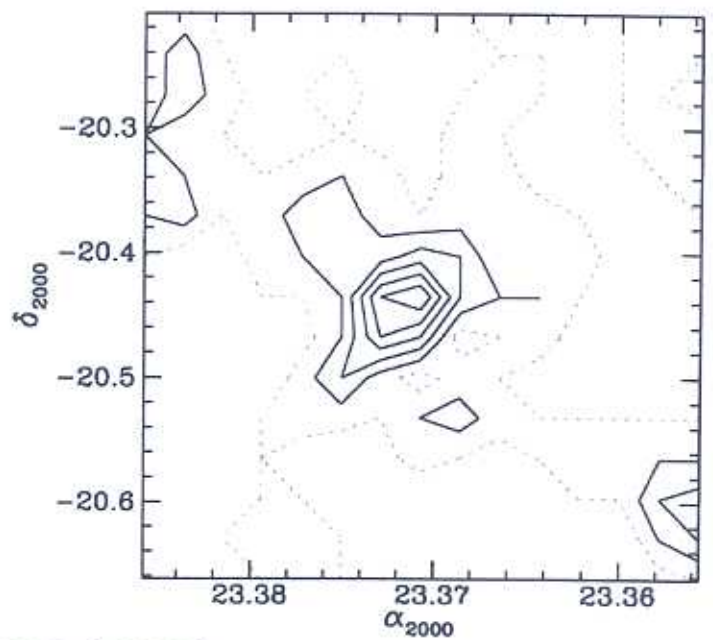
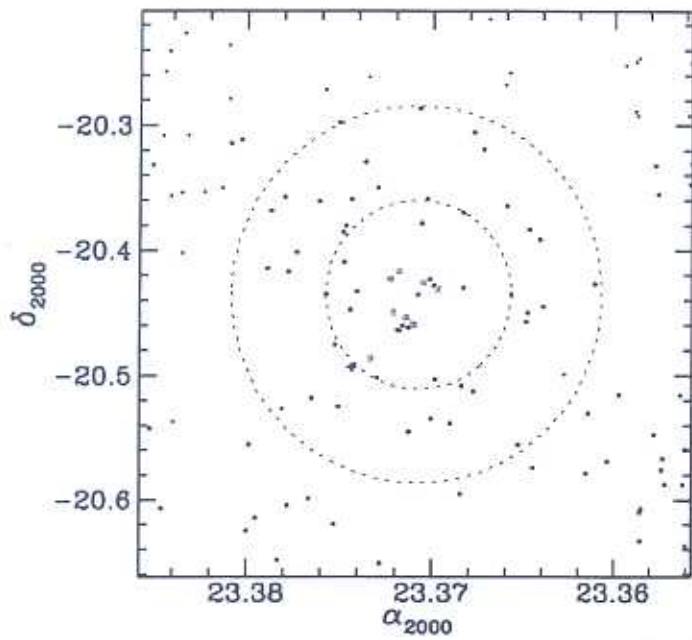


Figura C.74: AqrCC 061 — gráficos



Figura C.75: AqrCC 063 — DSS 18.2' × 18.2'



AqrCC 063 (A2583)

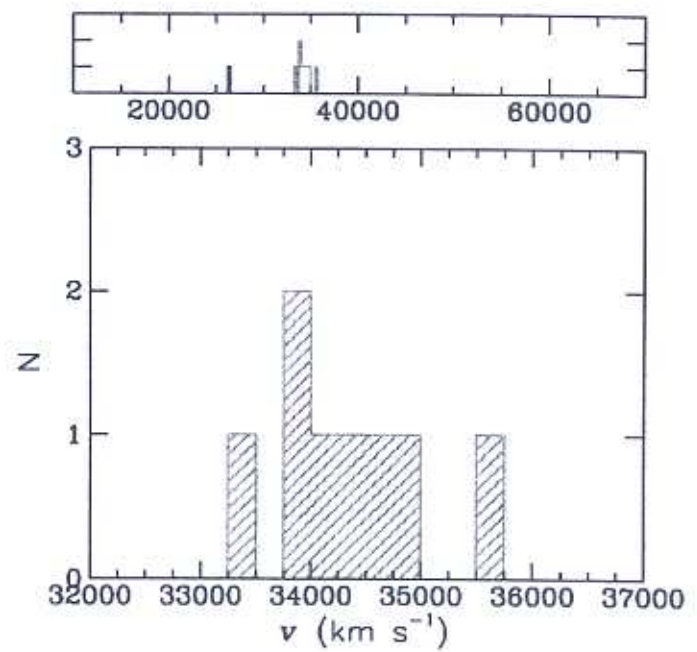
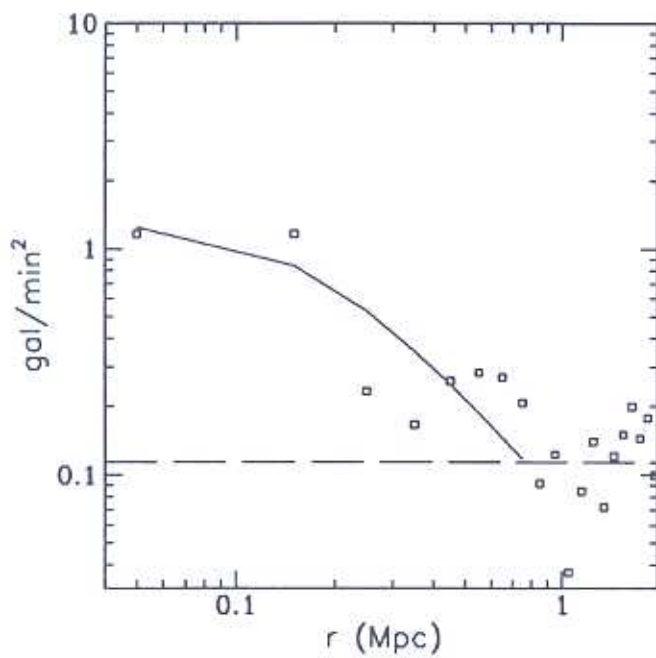
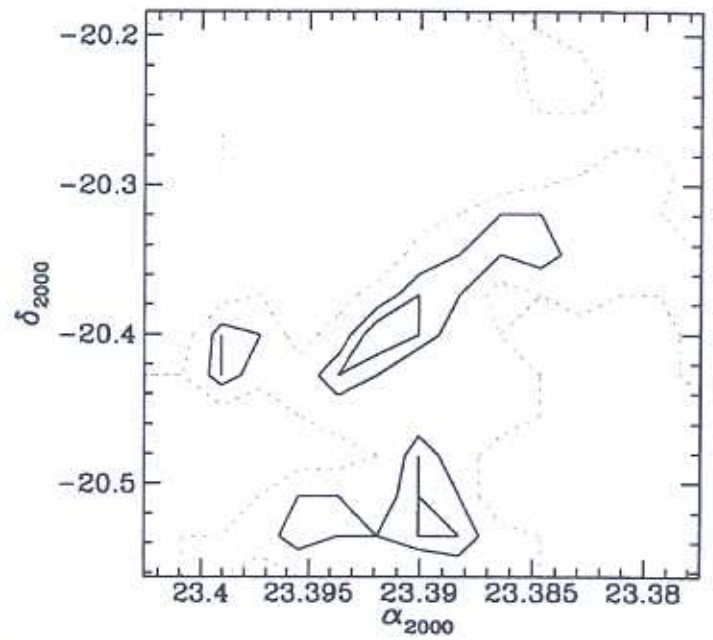
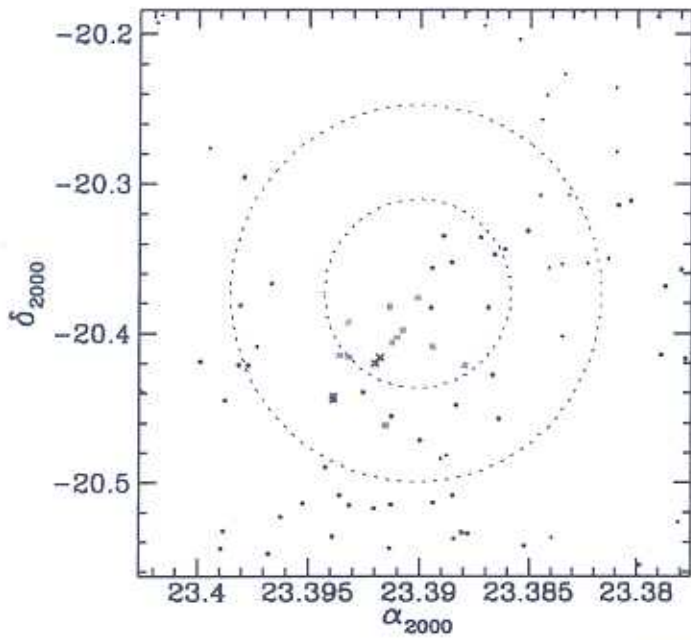


Figura C.76: AqrCC 063 — gráficos



Figura C.77: AqrCC 065 — DSS 15.1' x 15.1'



AqrCC 065 (A2586)

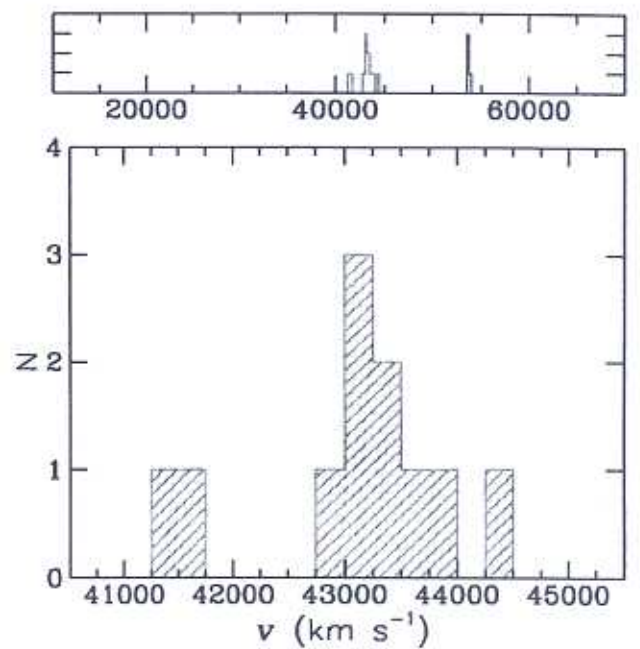
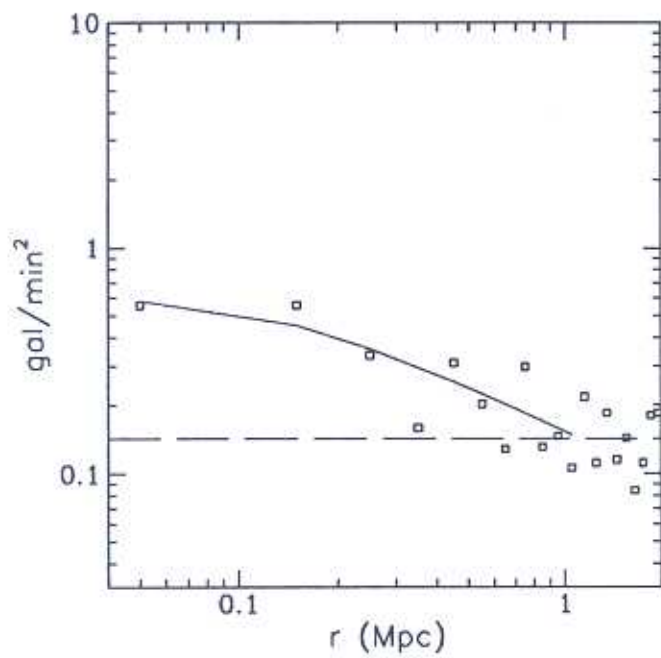


Figura C.78: AqrCC 065 — gráficos

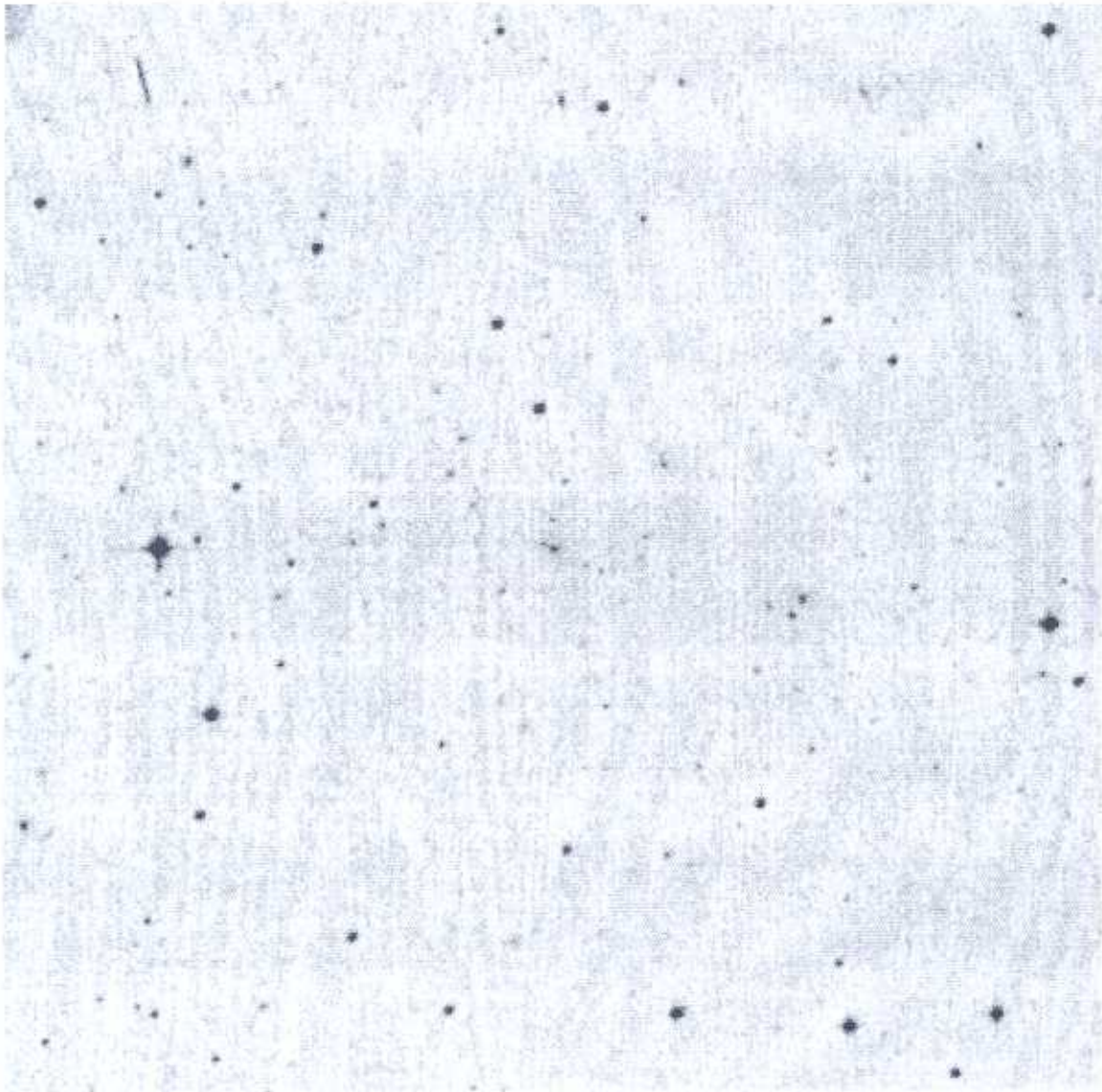
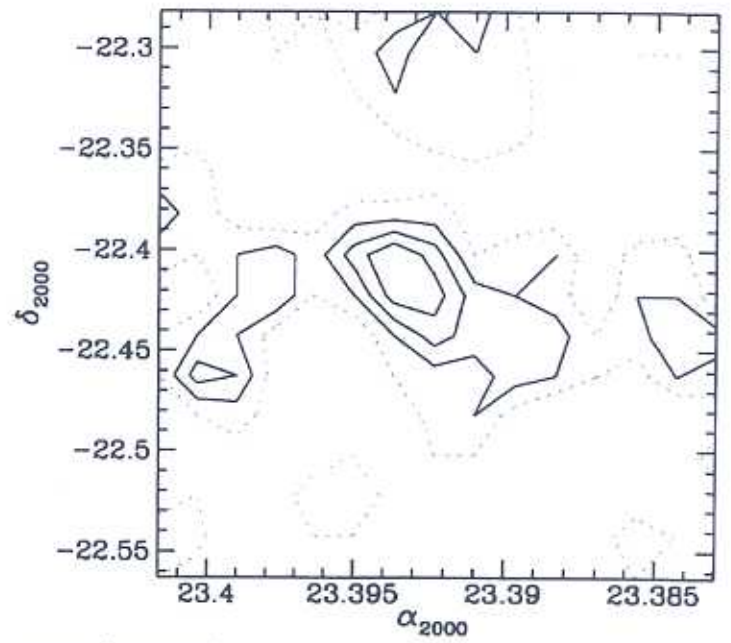
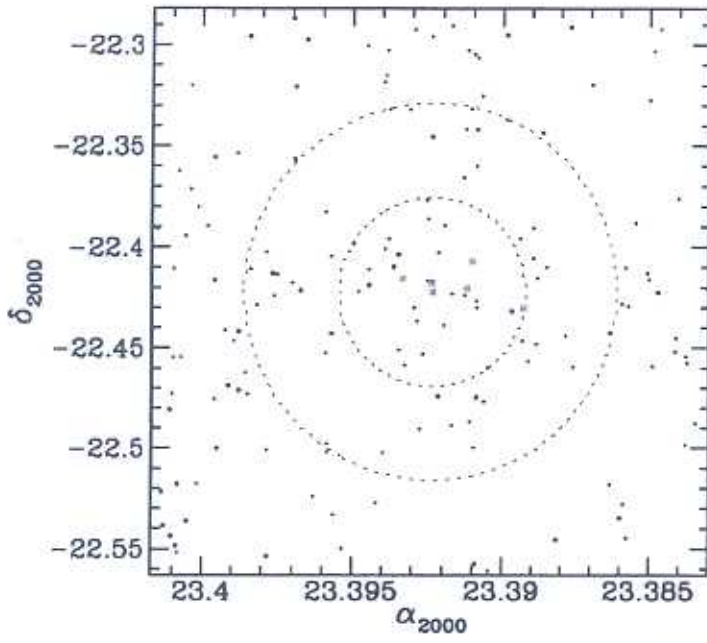


Figura C.79: AqrCC 066 — DSS 11.2' × 11.2'



AqrCC 066 (A2587)

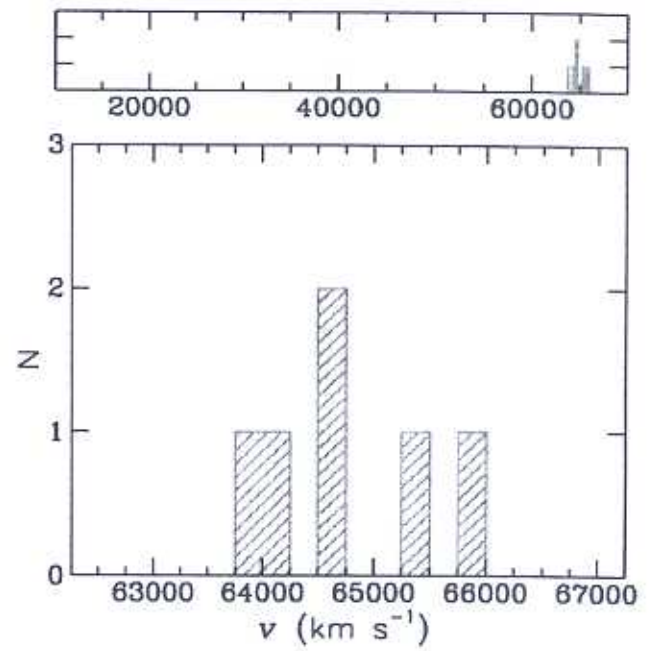
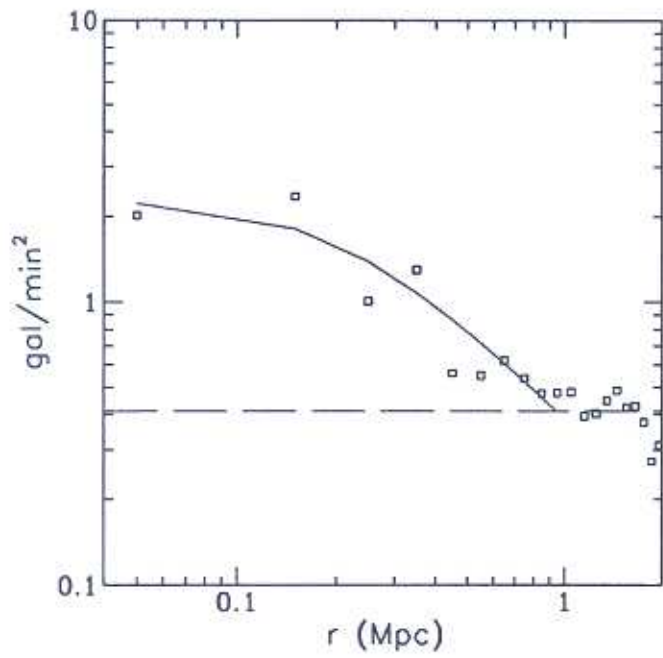


Figura C.80: AqrCC 066 — gráficos

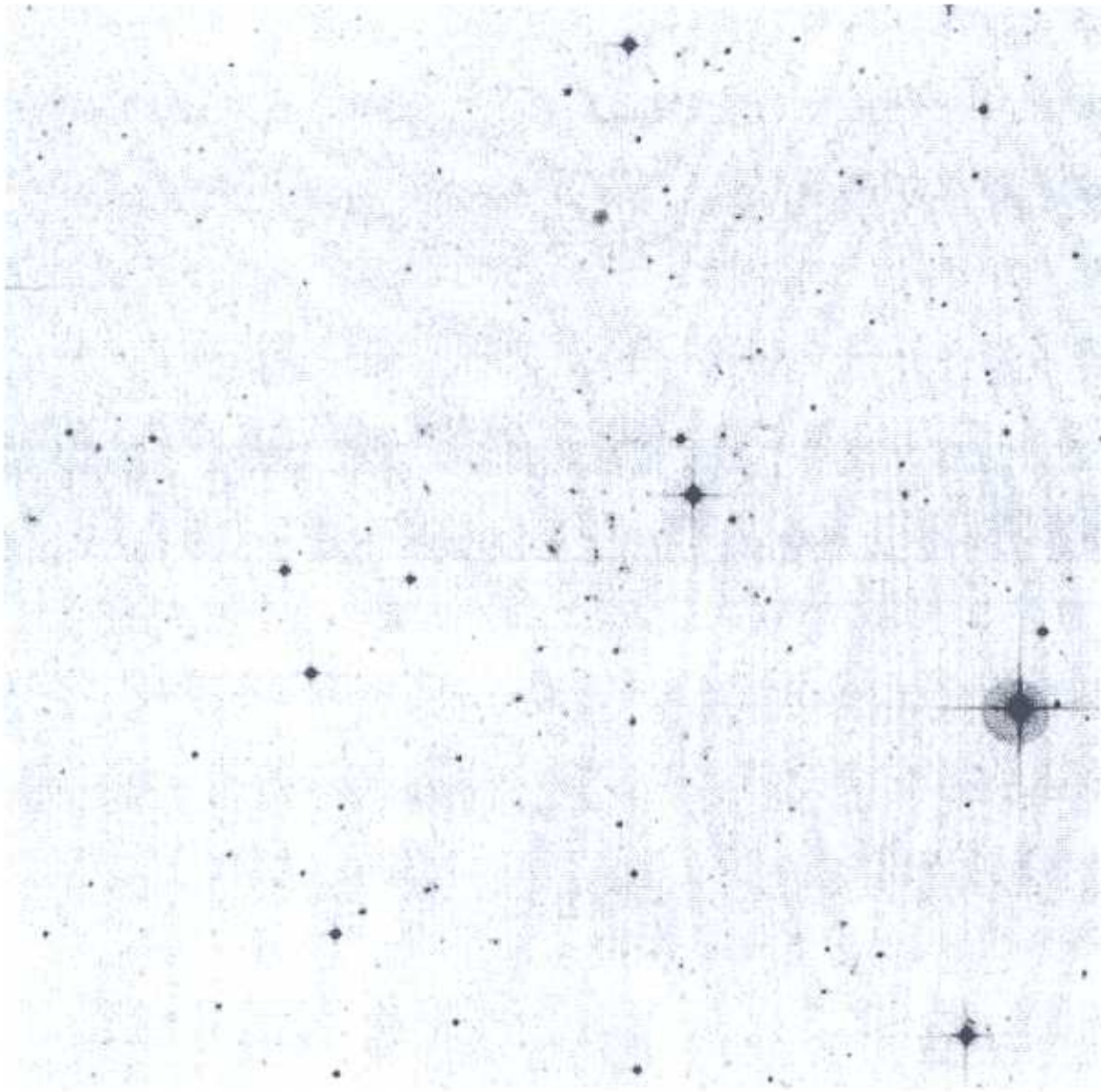
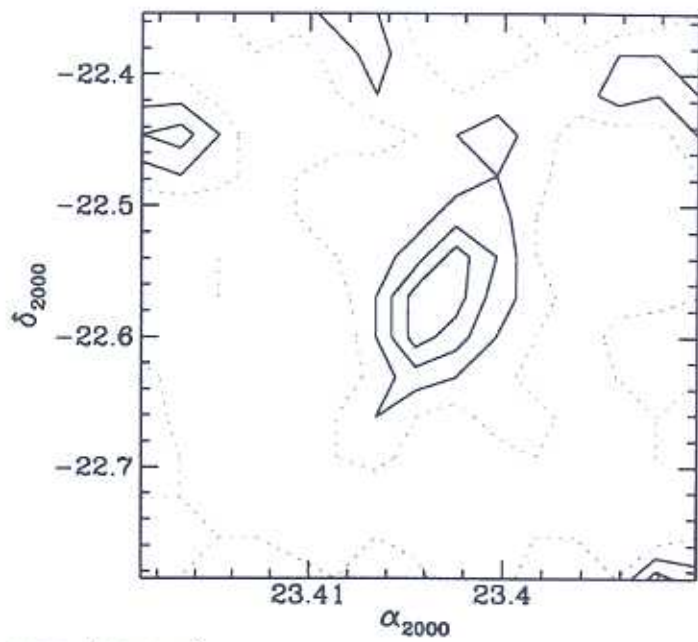
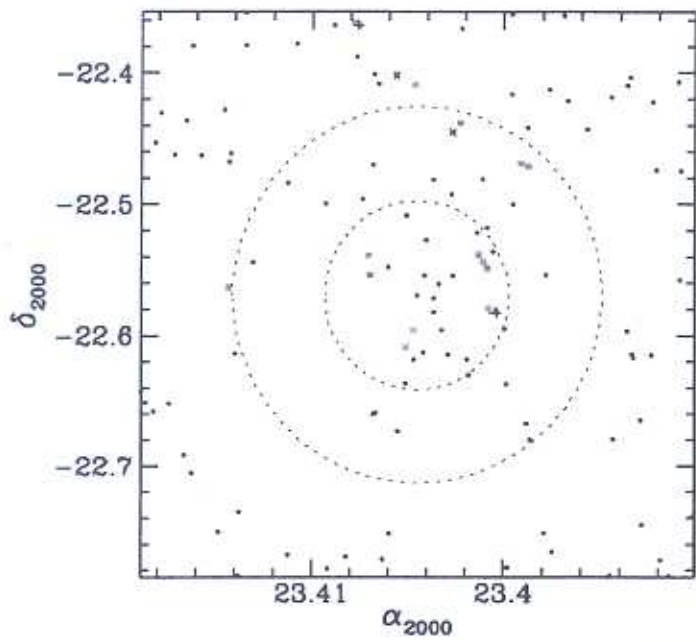


Figura C.81: AqrCC 067 — DSS 17.2' × 17.2'



AqrCC 067 (ED291)

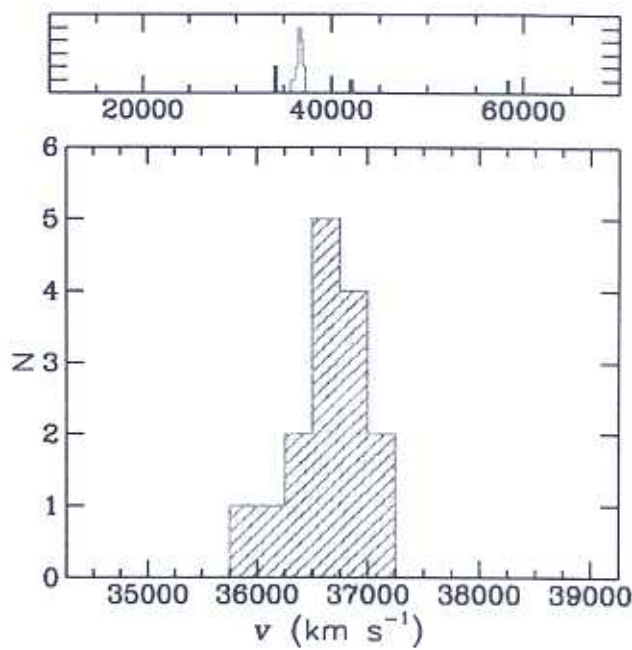
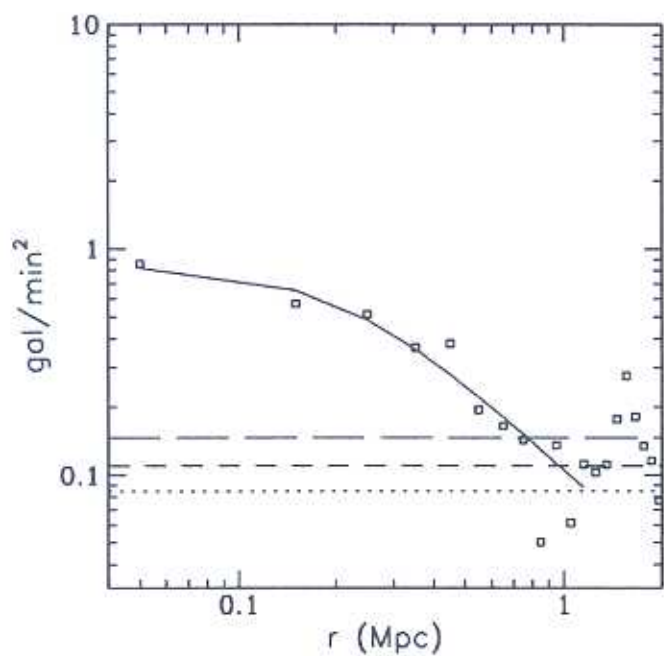


Figura C.82: AqrCC 067 — gráficos

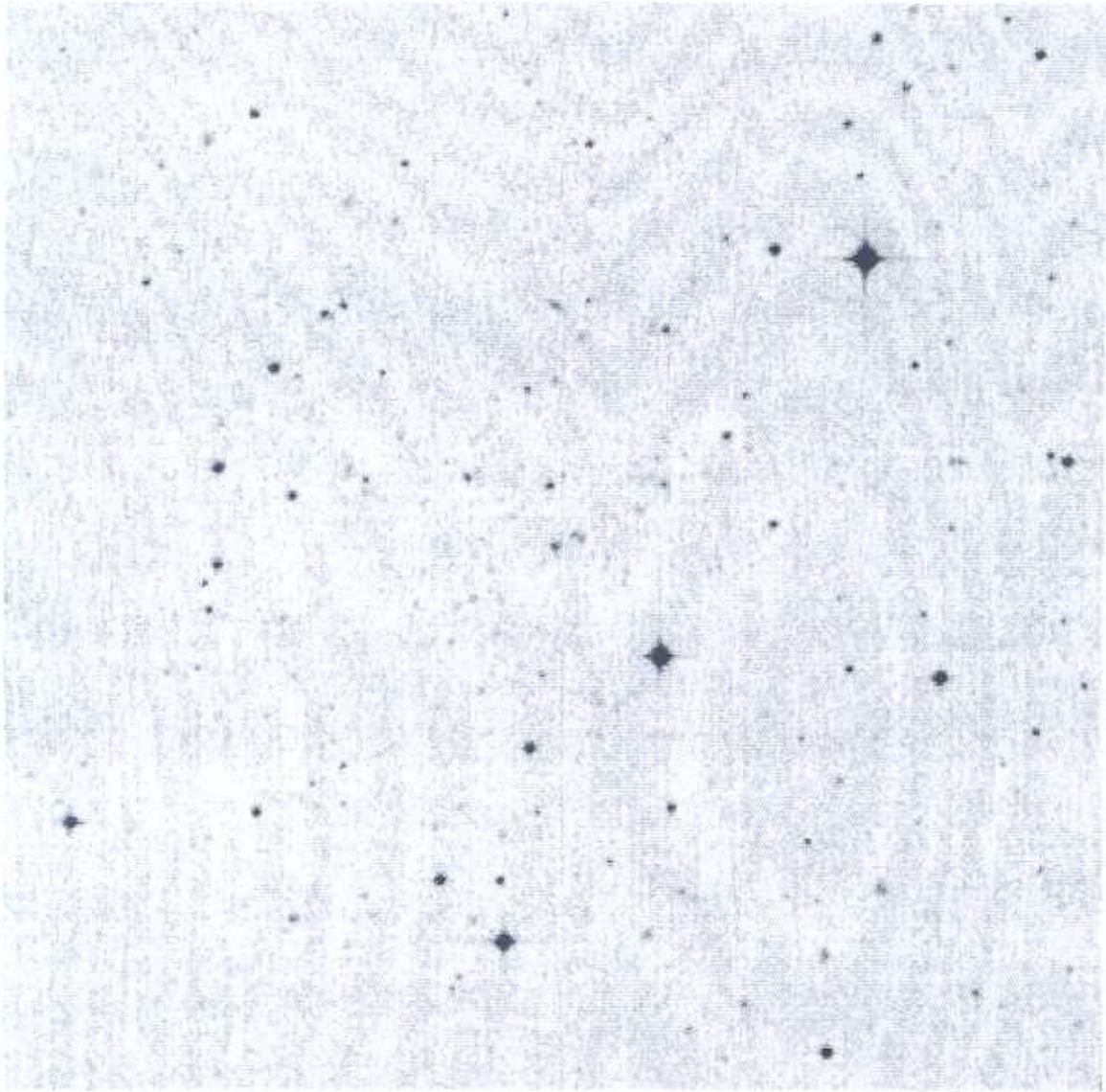
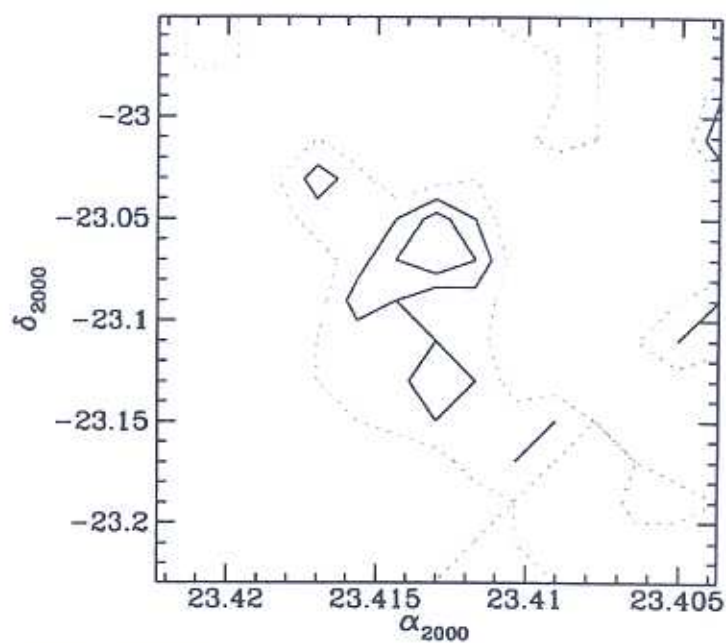
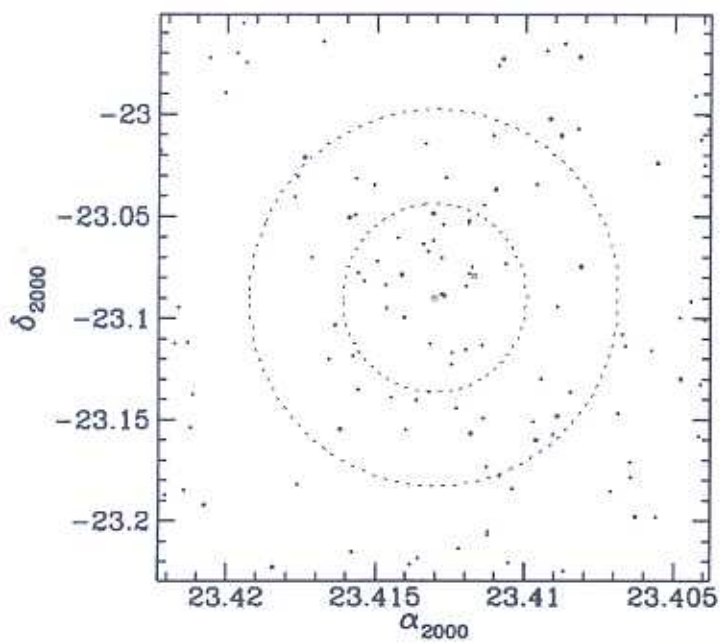


Figura C.83: AqrCC 068 — DSS 11.2' × 11.2'



AqrCC 068 (A4003)

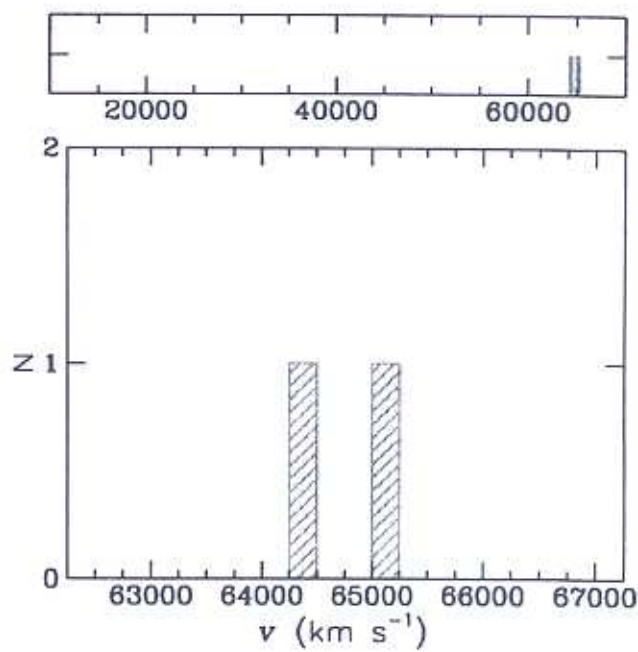
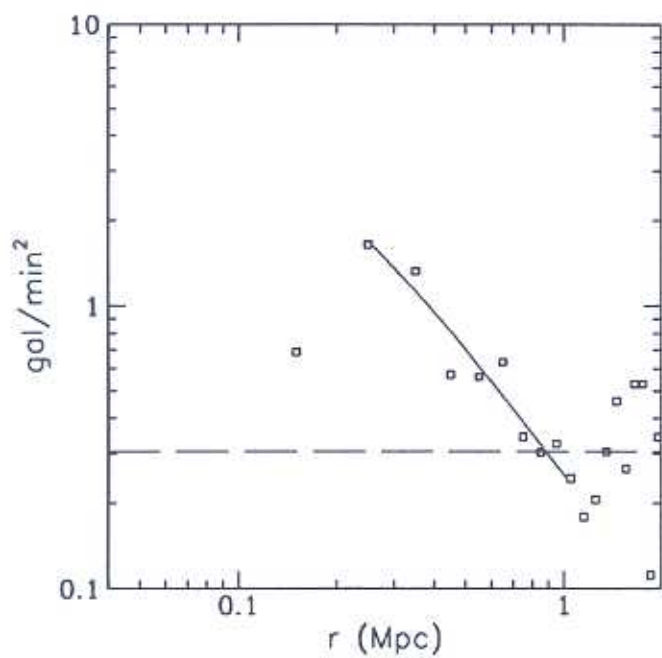
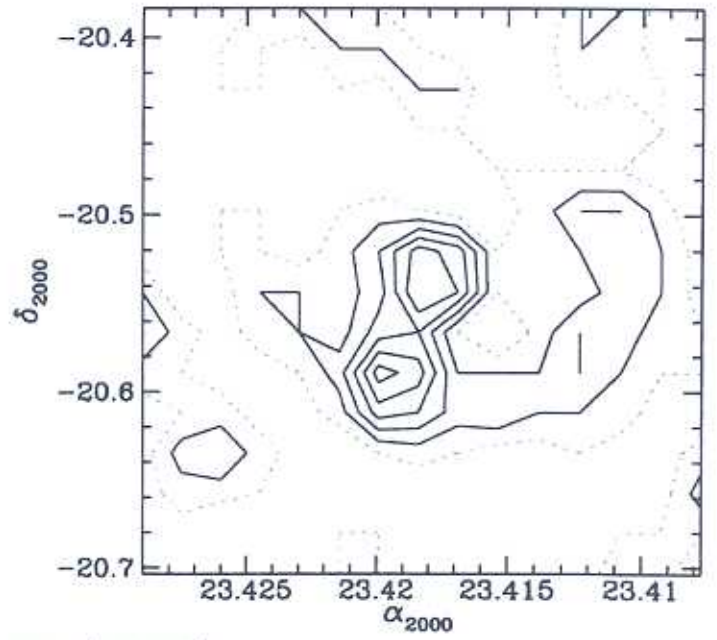
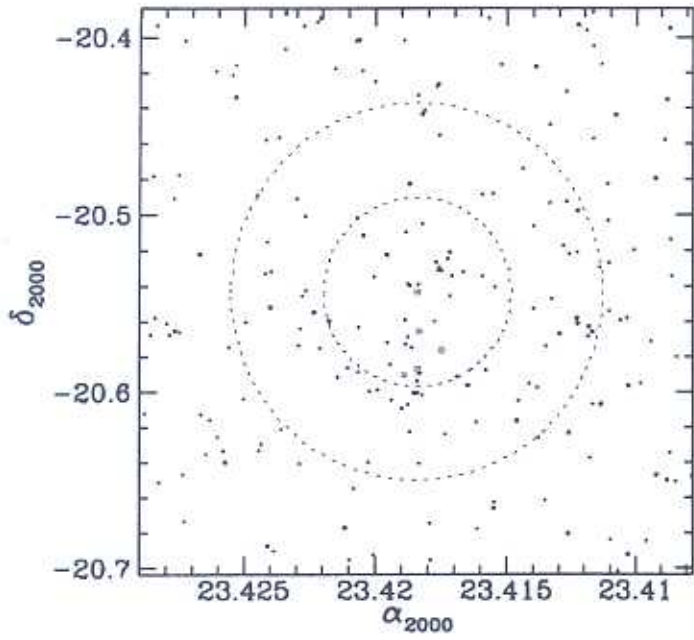


Figura C.84: AqrCC 068 — gráficos



Figura C.85: AqrCC 069 — DSS 12.8' × 12.8'



AqrCC 069 (A2595)

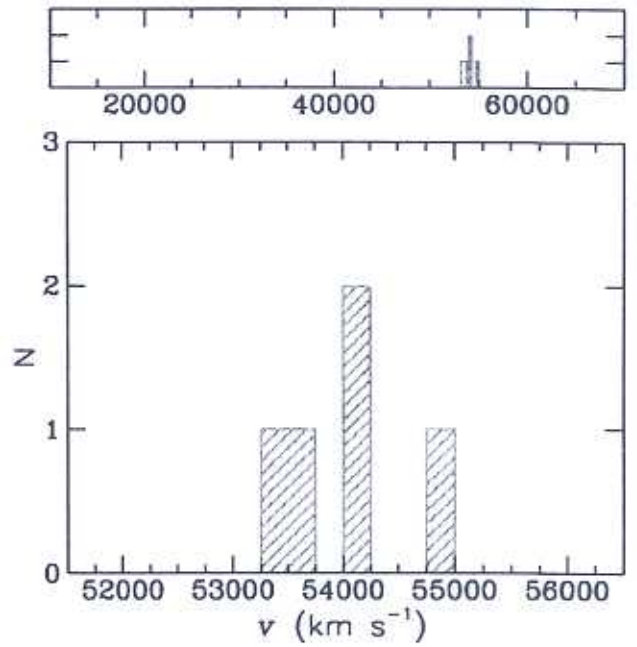
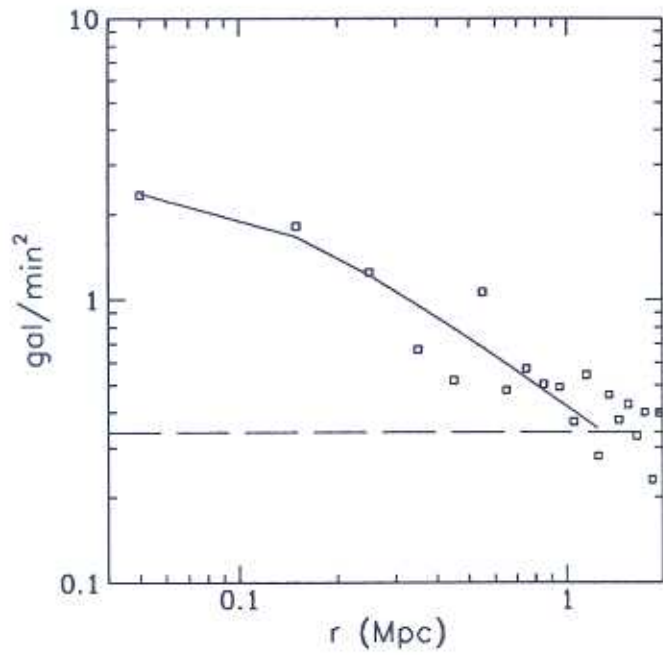


Figura C.86: AqrCC 069 — gráficos

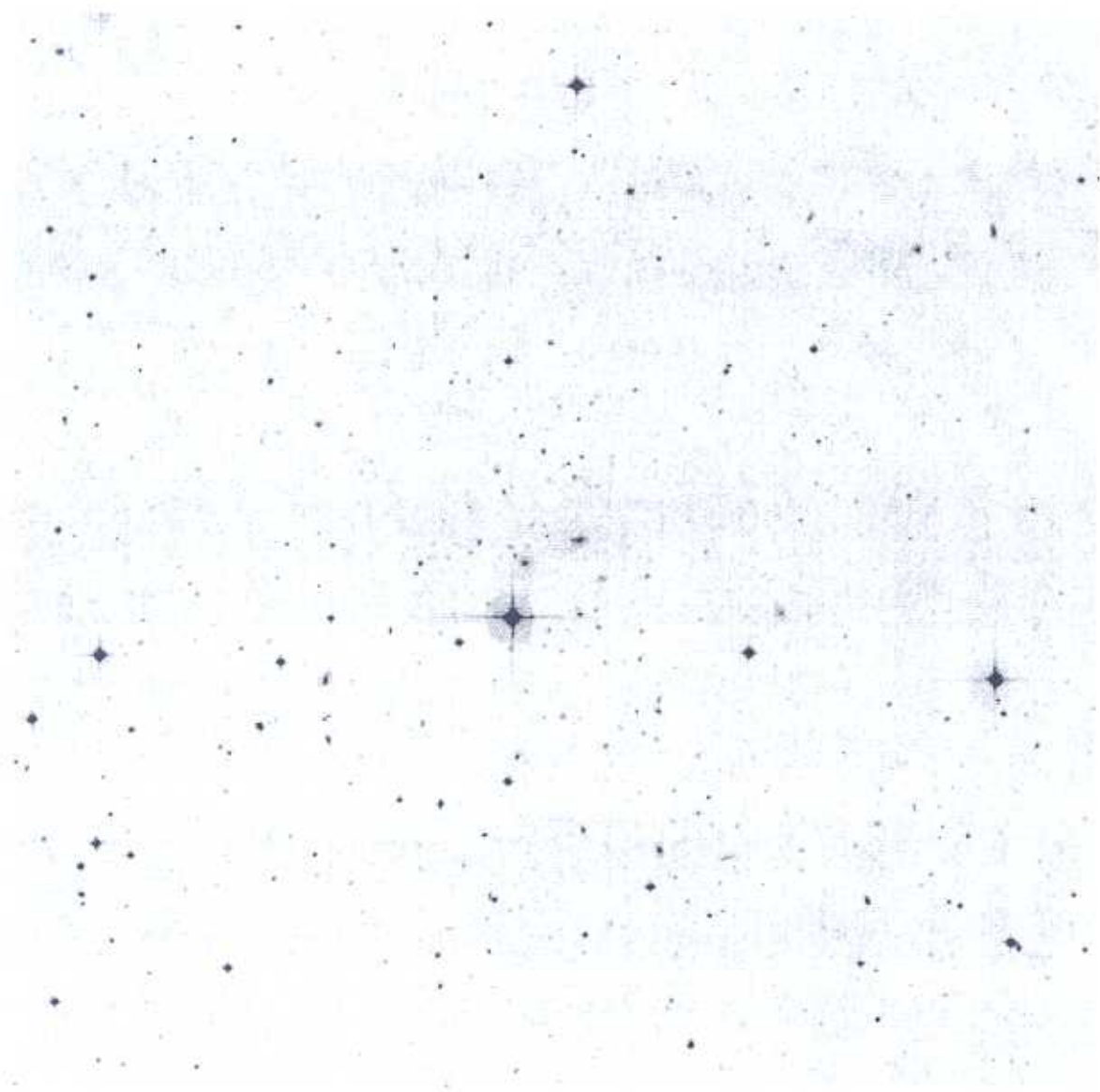
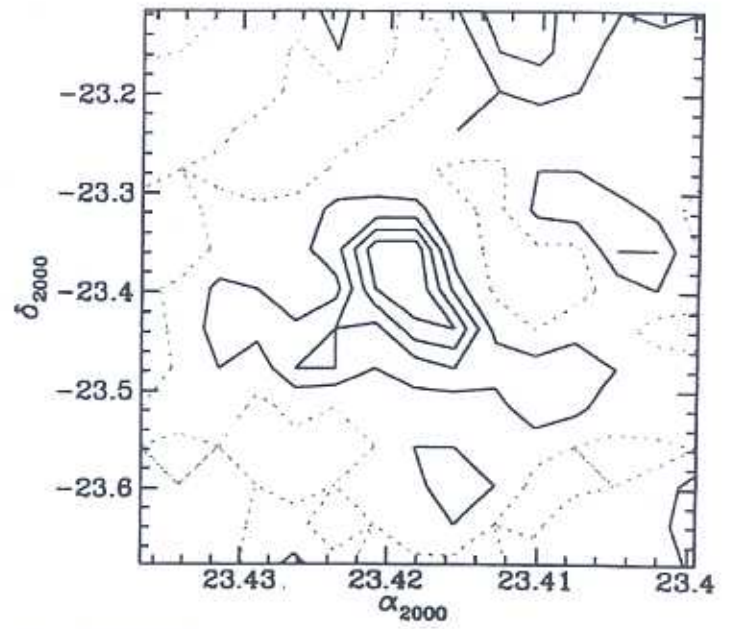
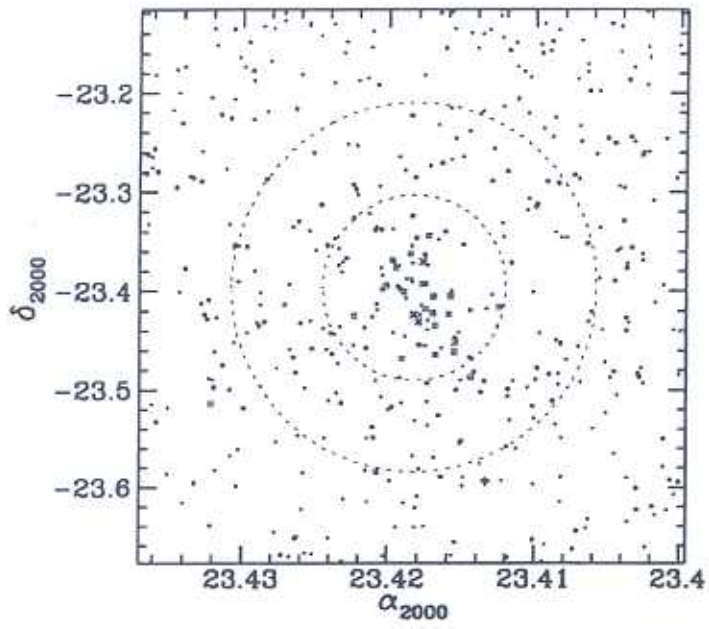


Figura C.87: AqrCC 070 — DSS 22.4' × 22.4'



AqrCC 070 (A2596)

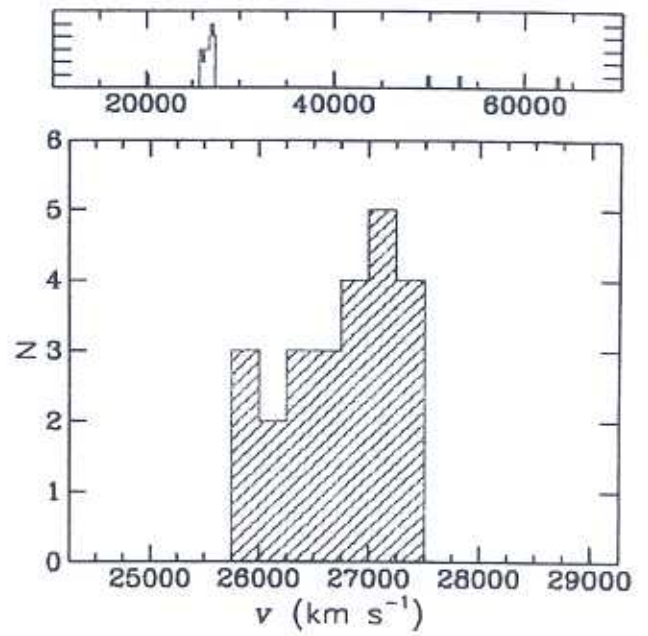
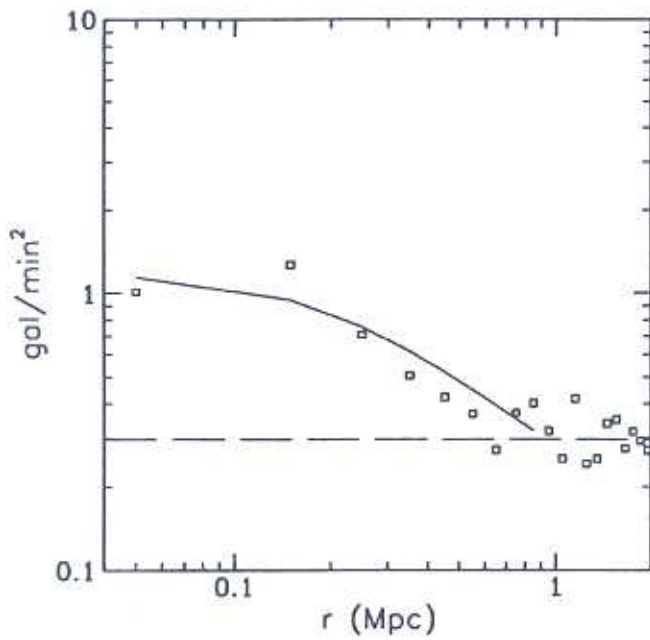


Figura C.88: AqrCC 070 — gráficos

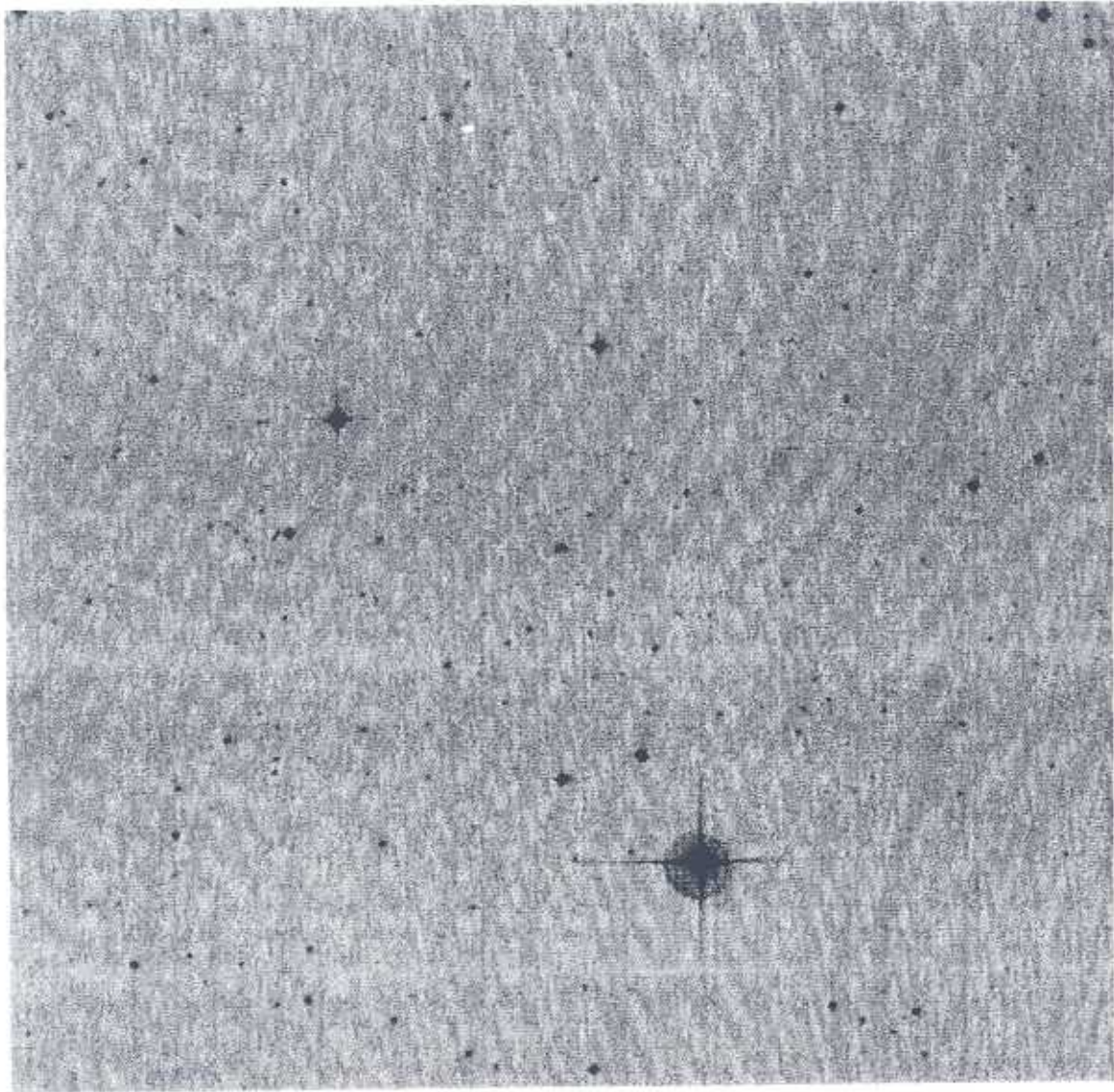
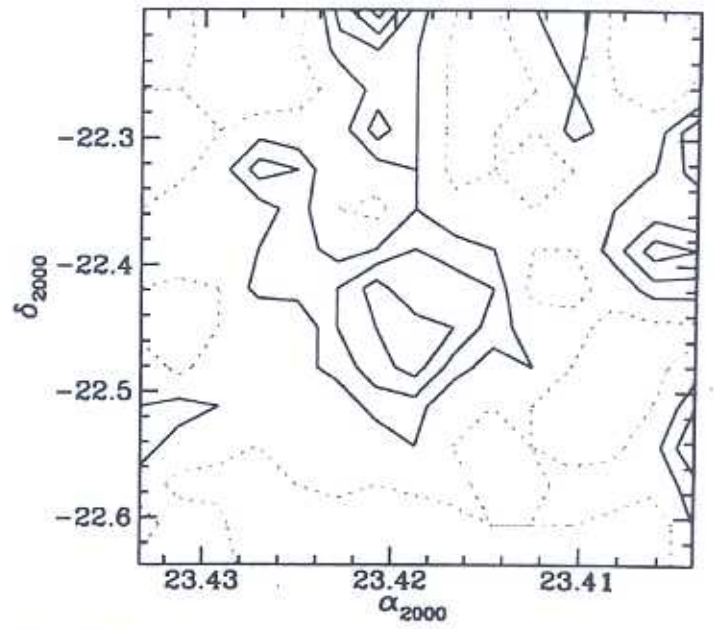
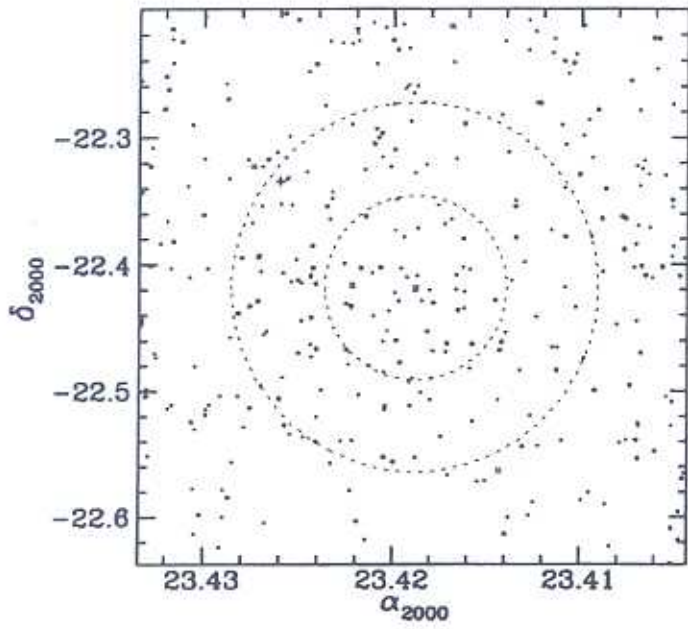


Figura C.89: AqrCC 071 — DSS 17.2' × 17.2'



AqrCC 071

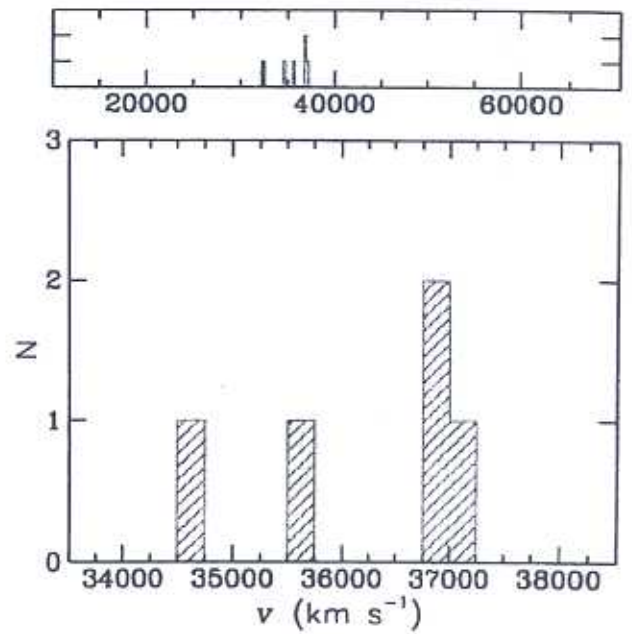
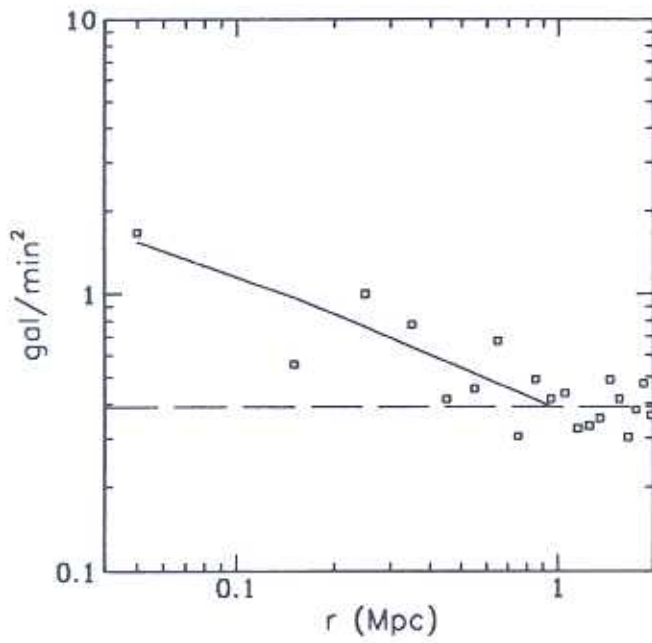


Figura C.90: AqrCC 071 — gráficos

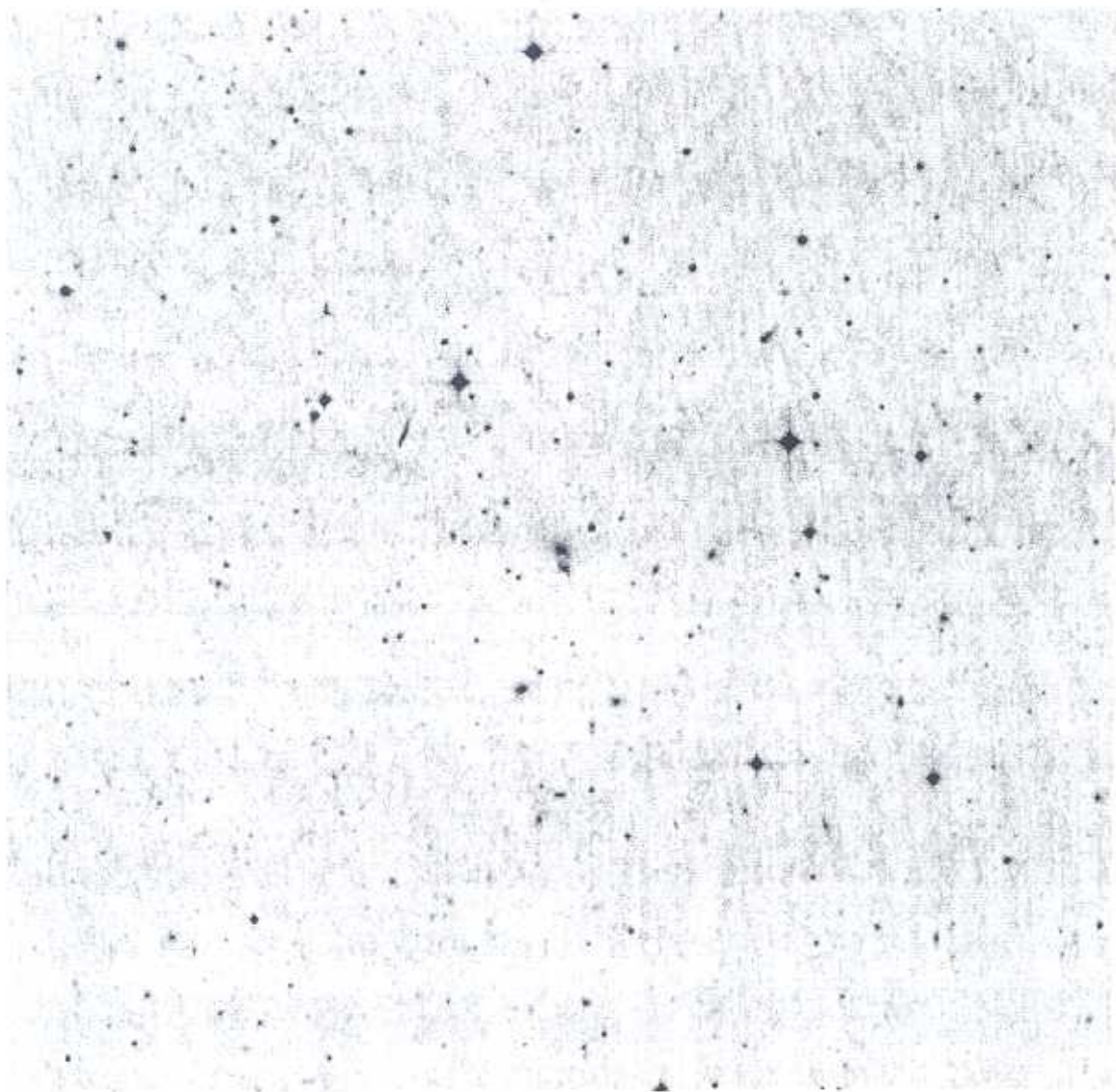
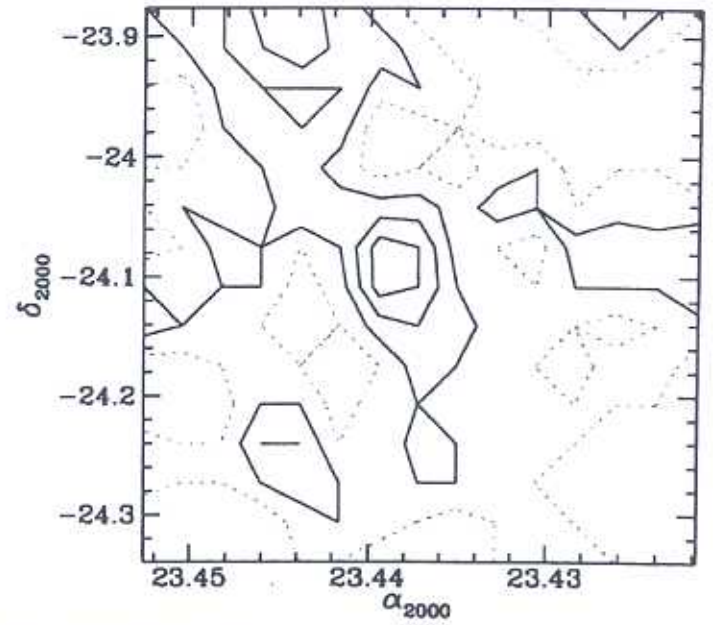
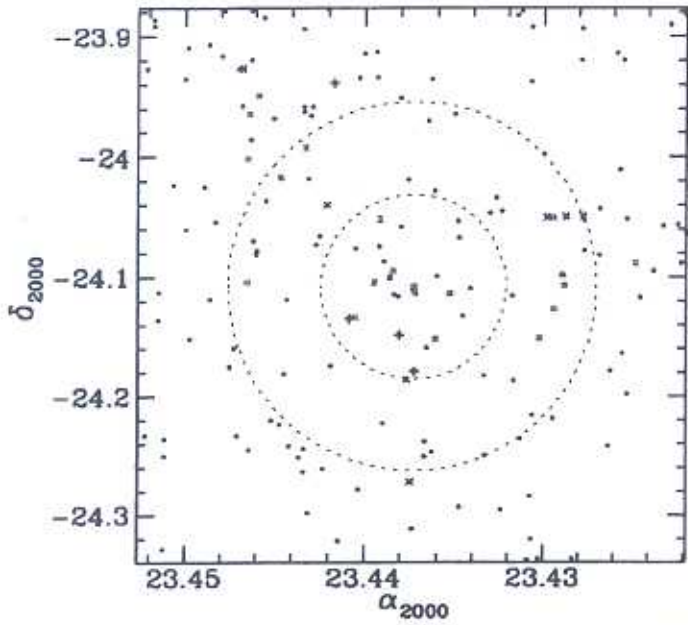


Figura C.91: AqrCC 073 — DSS 18.6' × 18.6'



AqrCC 073 (APM895/894)

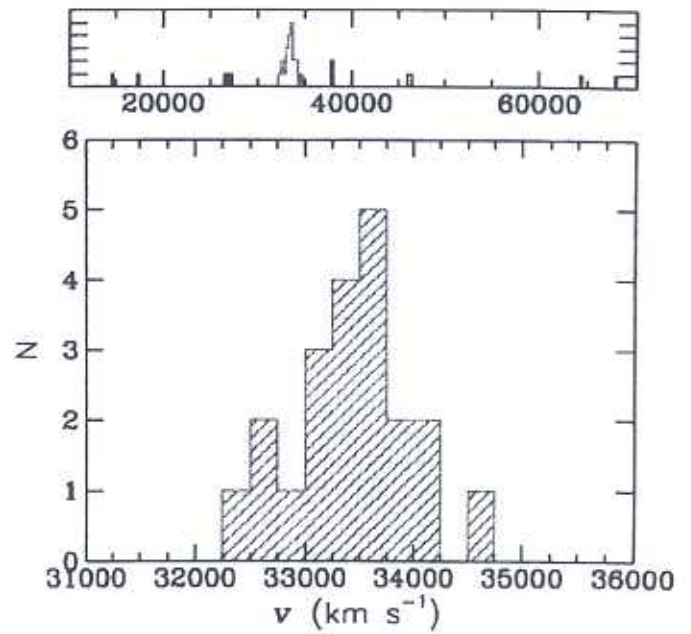
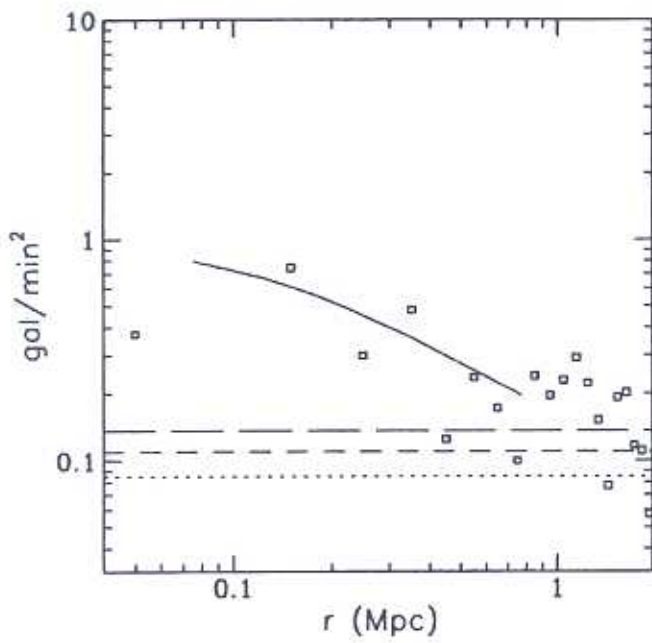


Figura C.92: AqrCC 073 — gráficos

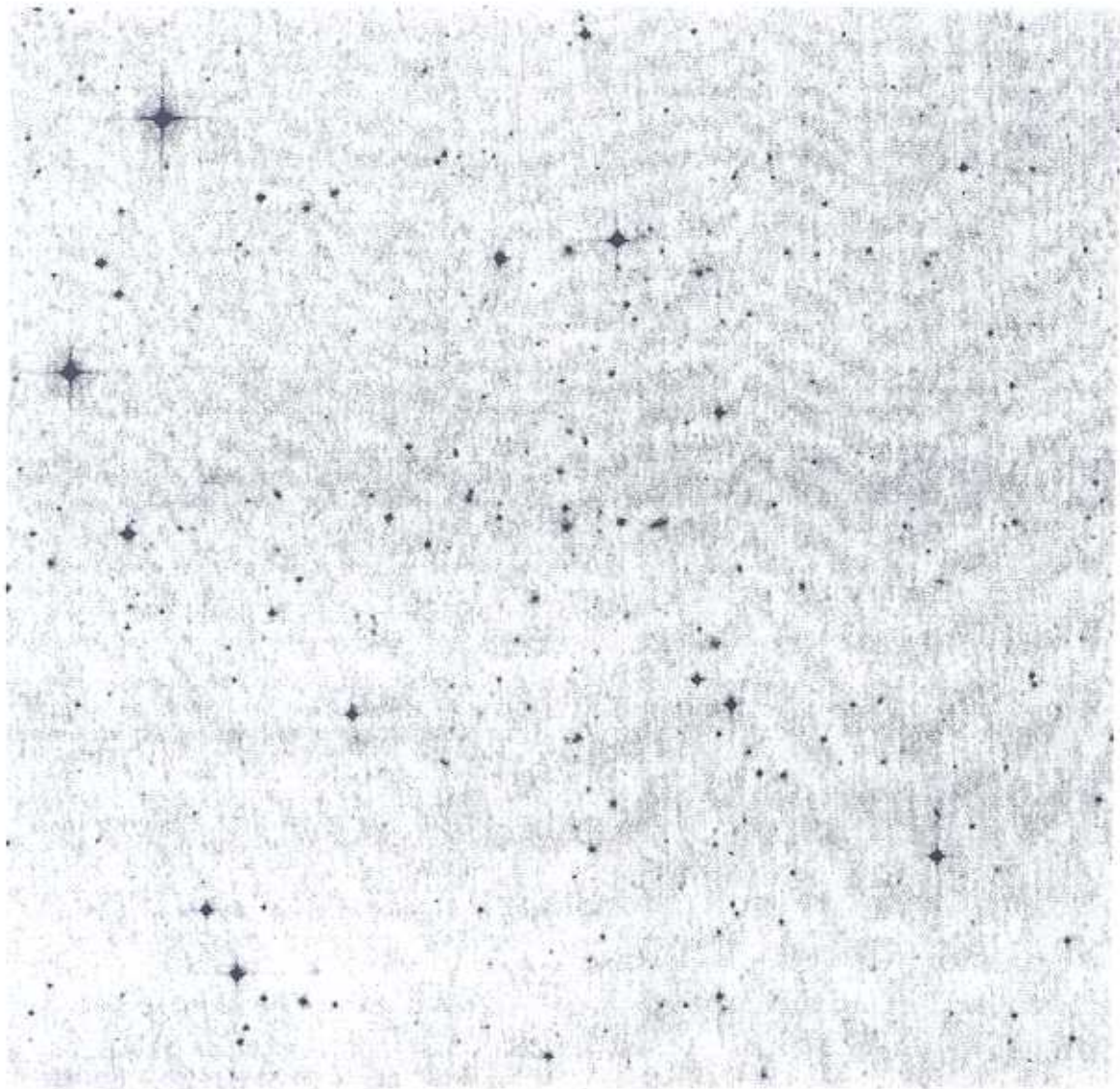
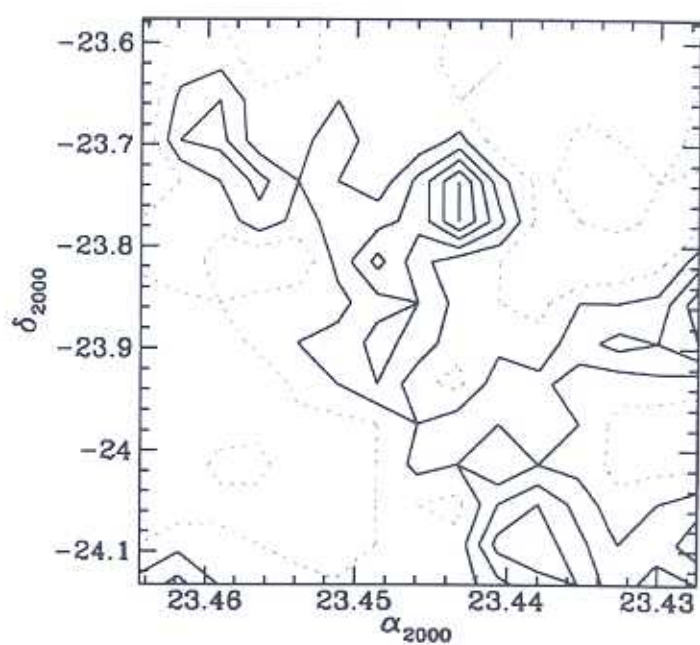
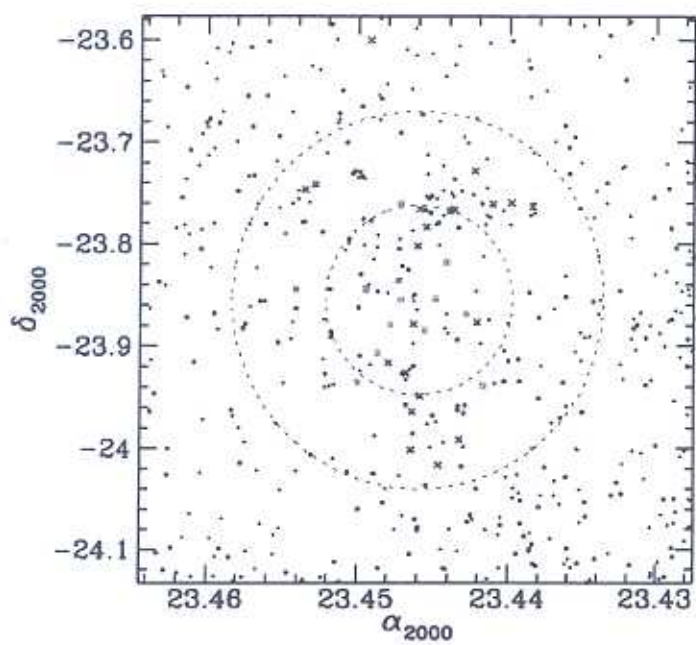


Figura C.93: AqrCC 074-A — DSS 22.1' × 22.1'



AqrCC 074 (A2599-A)

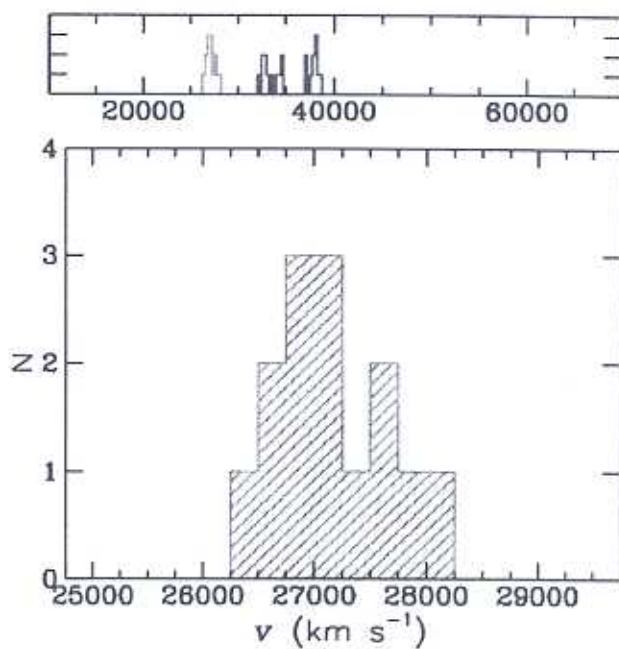
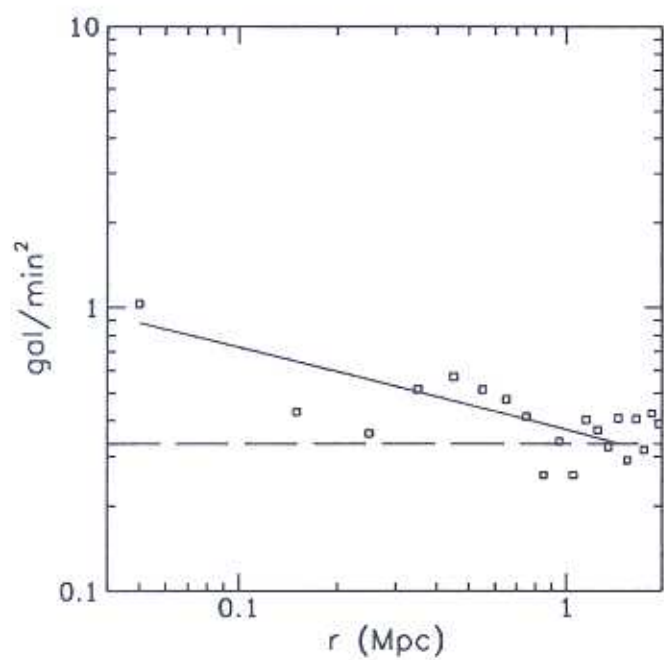
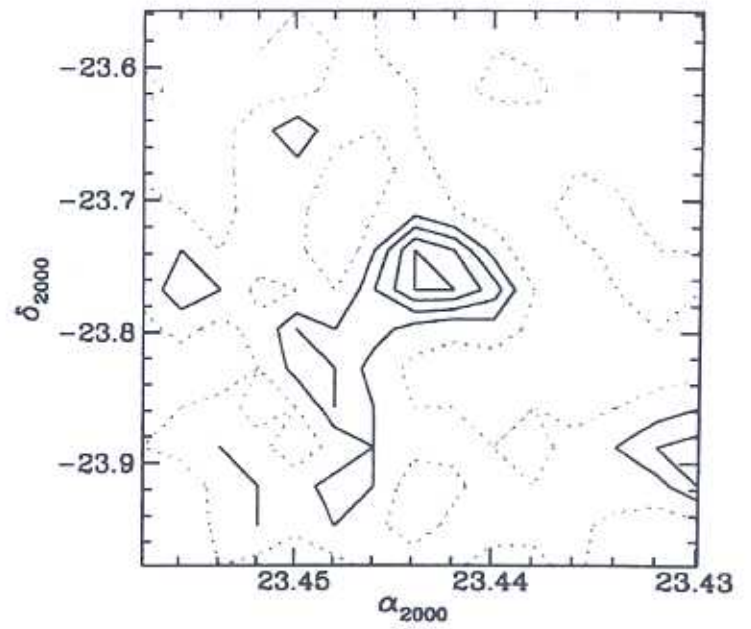
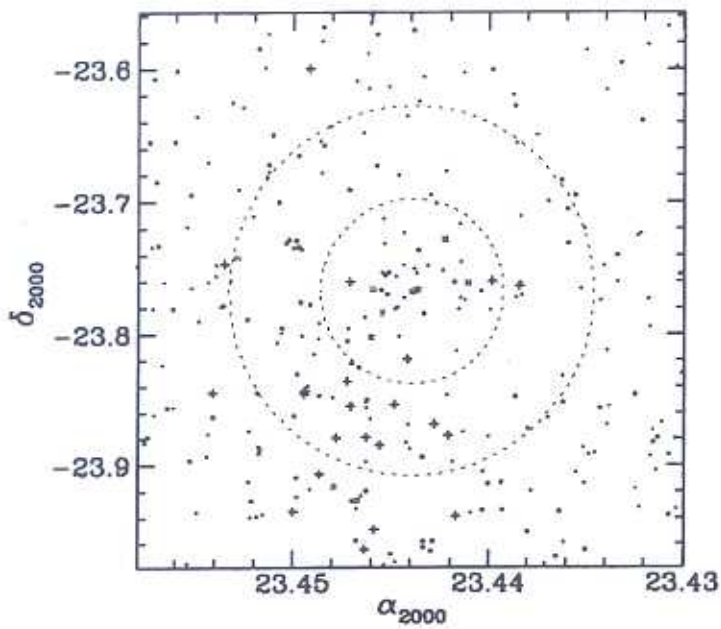


Figura C.94: AqrCC 074-A — gráficos



Figura C.95: AqrCC 074-B — DSS 16.8' × 16.8'



AqrCC 074 (A2599-B)

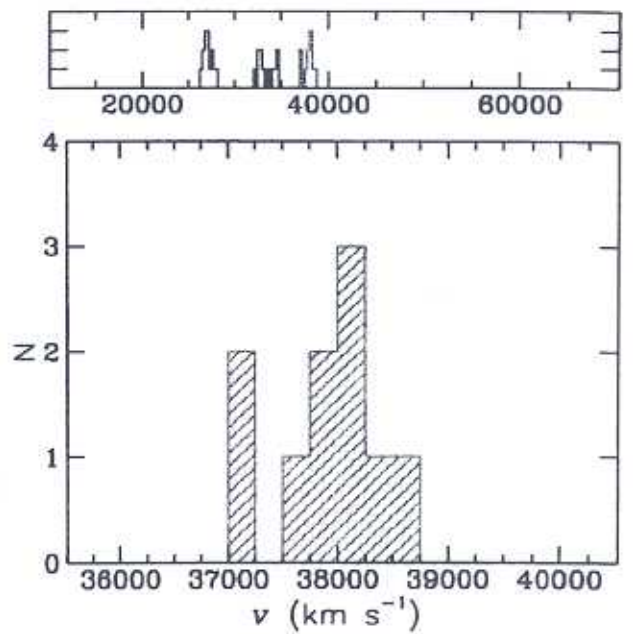
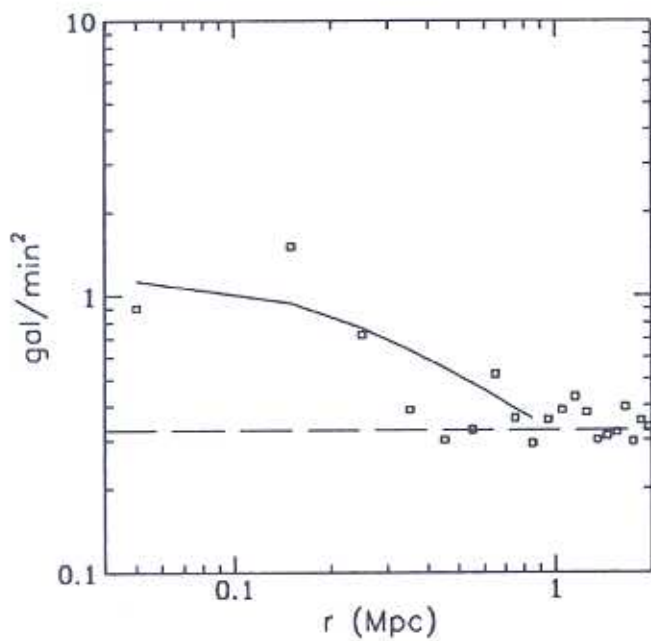


Figura C.96: AqrCC 074-B — gráficos

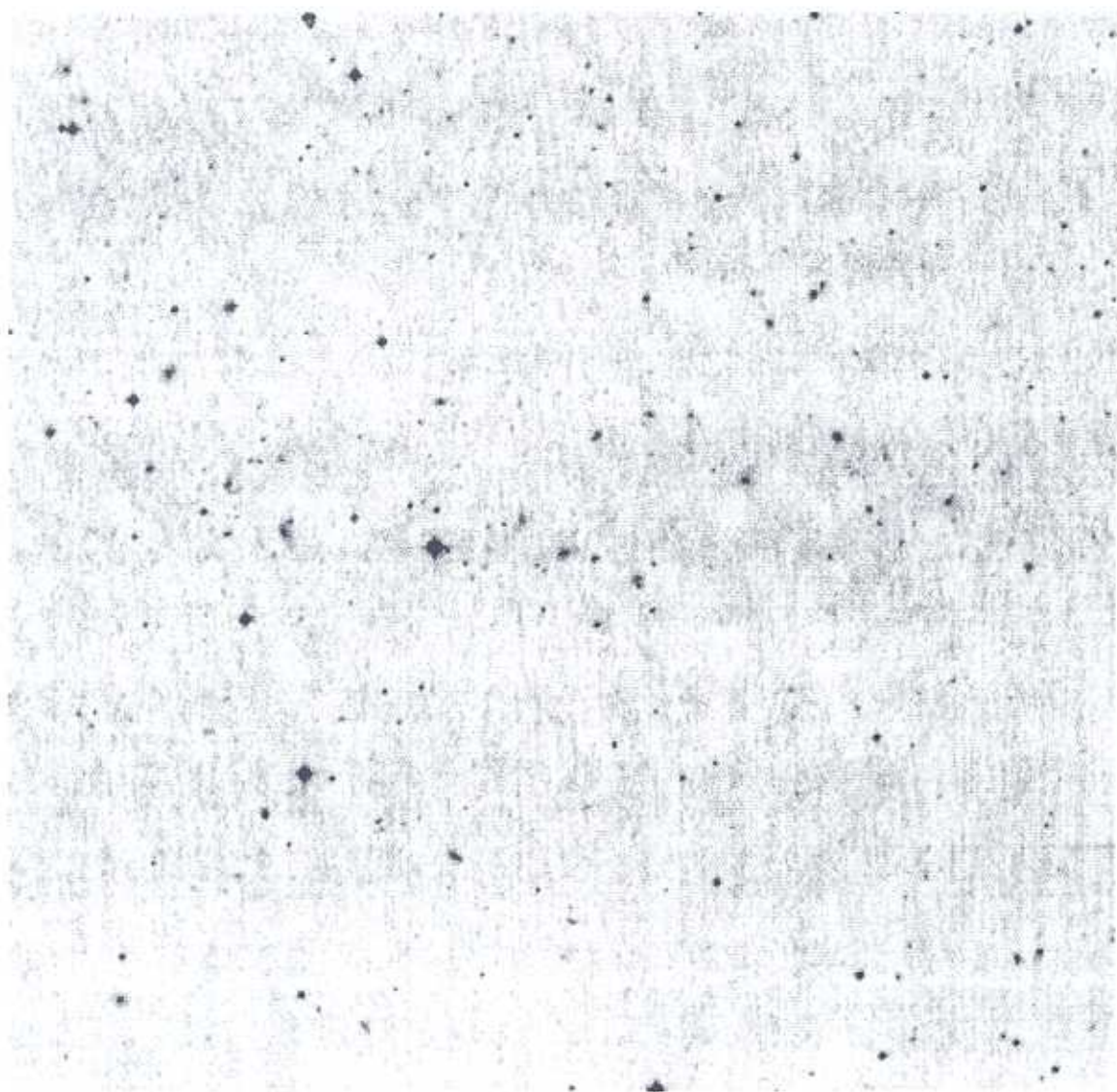
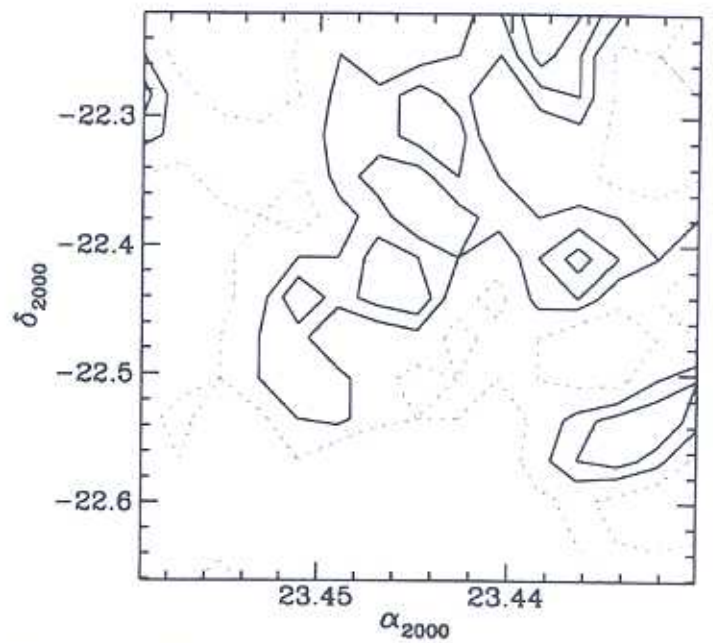
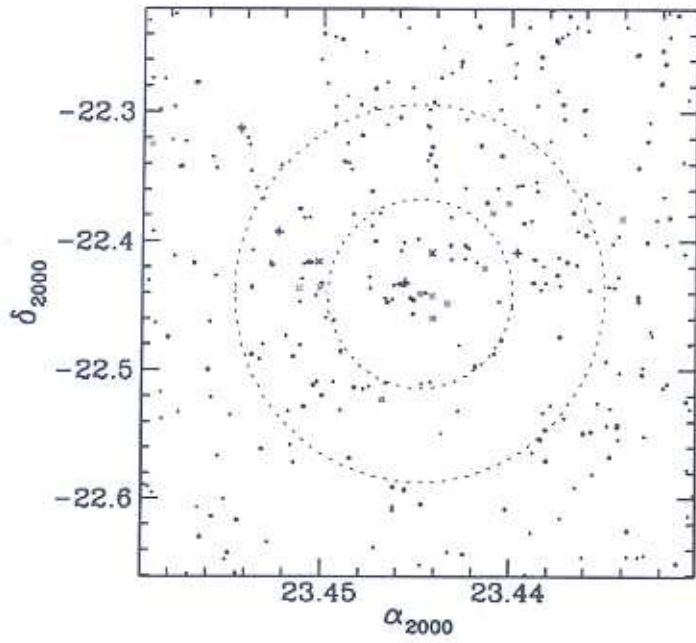


Figura C.97: AqrCC 075 — DSS 17.4' x 17.4'



AqrCC 075 (A2600)

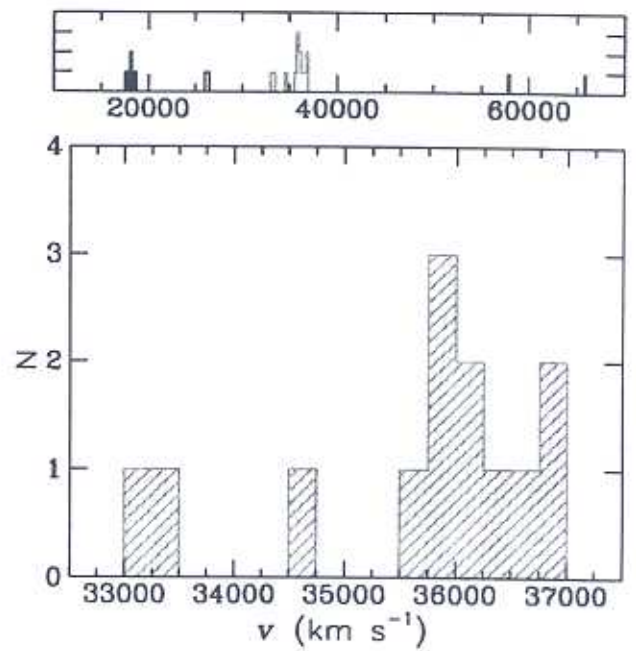
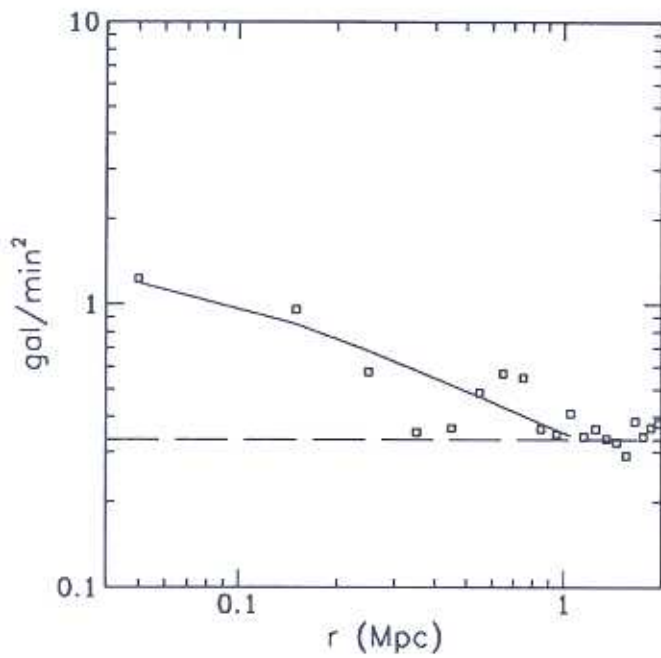


Figura C.98: AqrCC 075 — gráficos

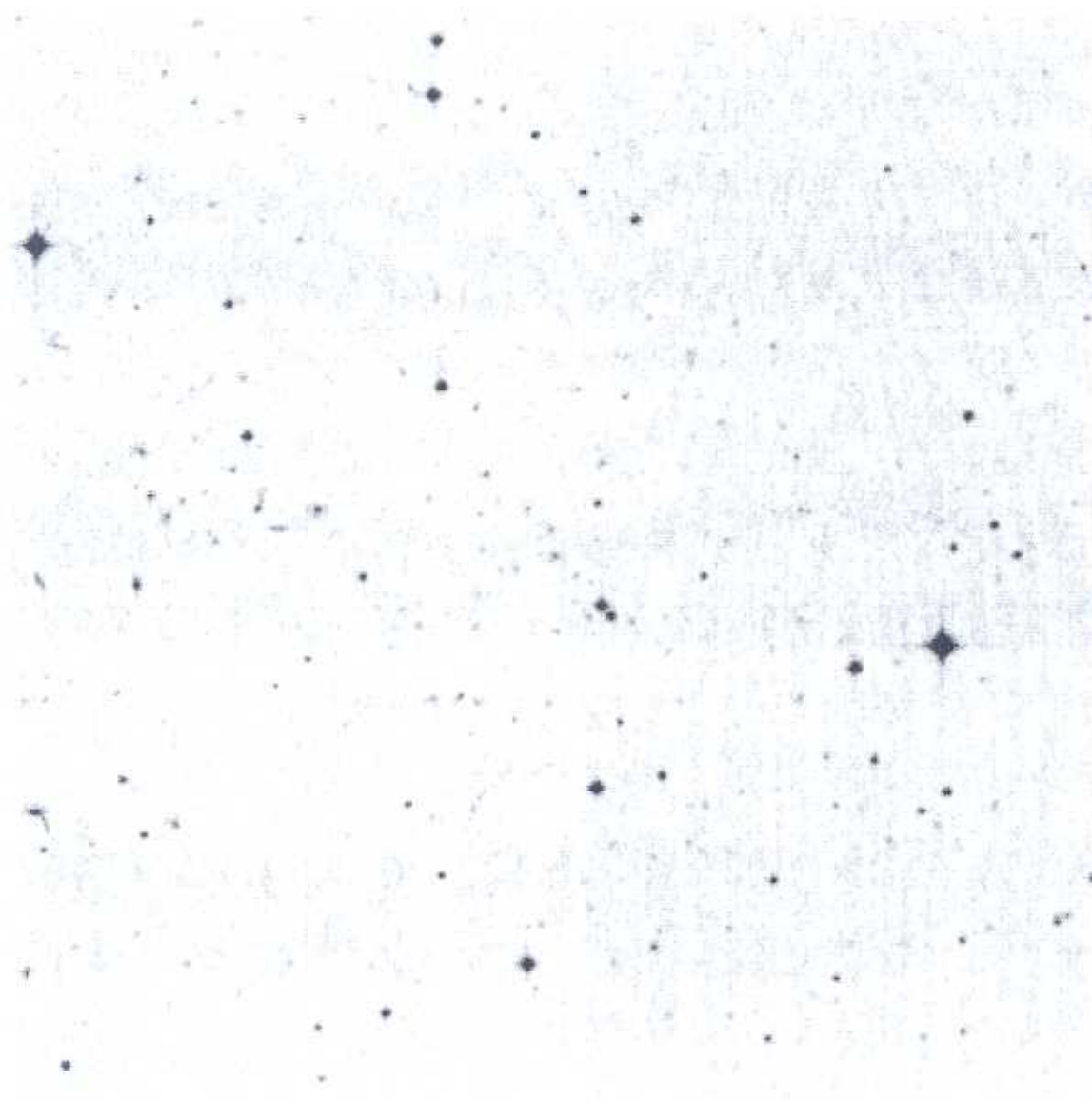
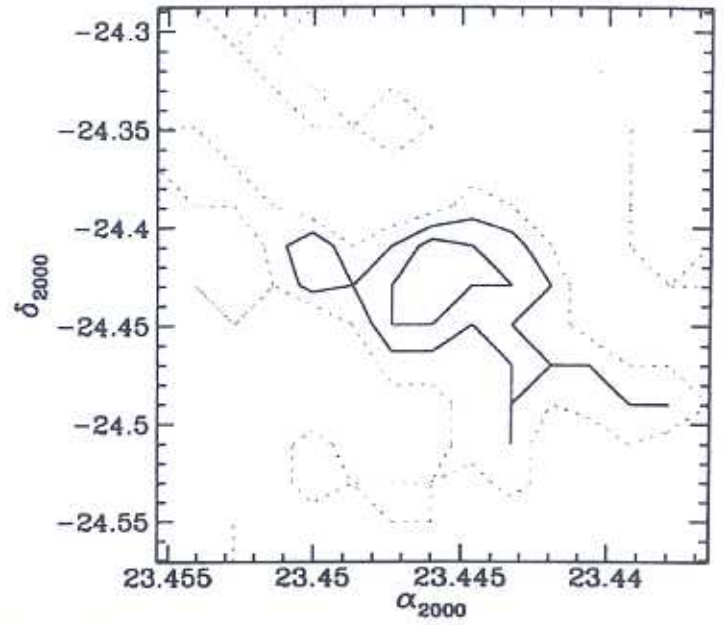
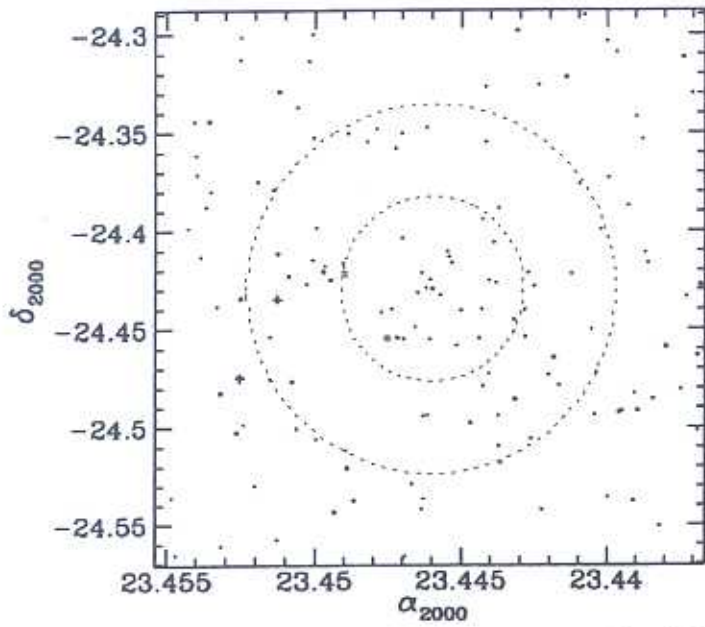


Figura C.99: AqrCC 076-A1 — DSS 11.3' × 11.3'



AqrCC 076 (A2601-A1)

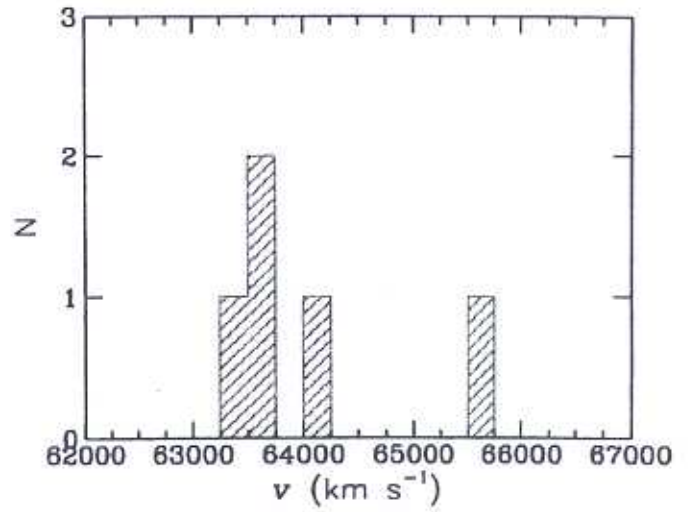
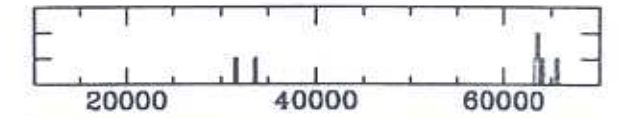
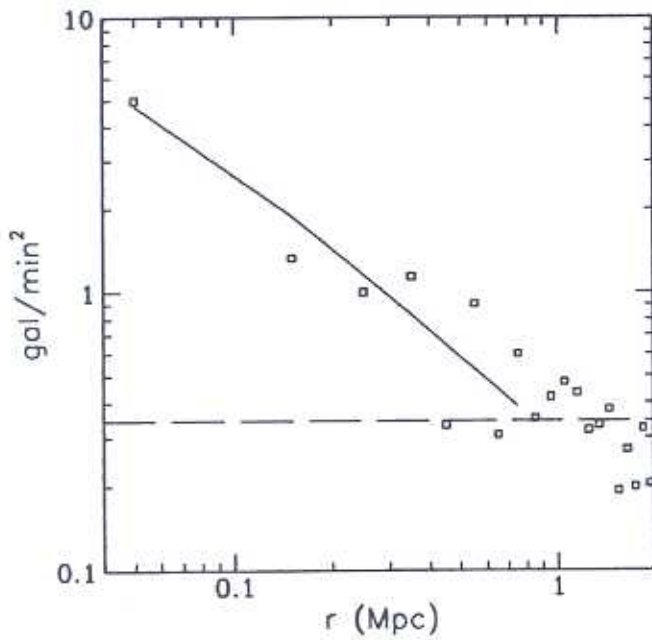


Figura C.100: AqrCC 076-A1 — gráficos

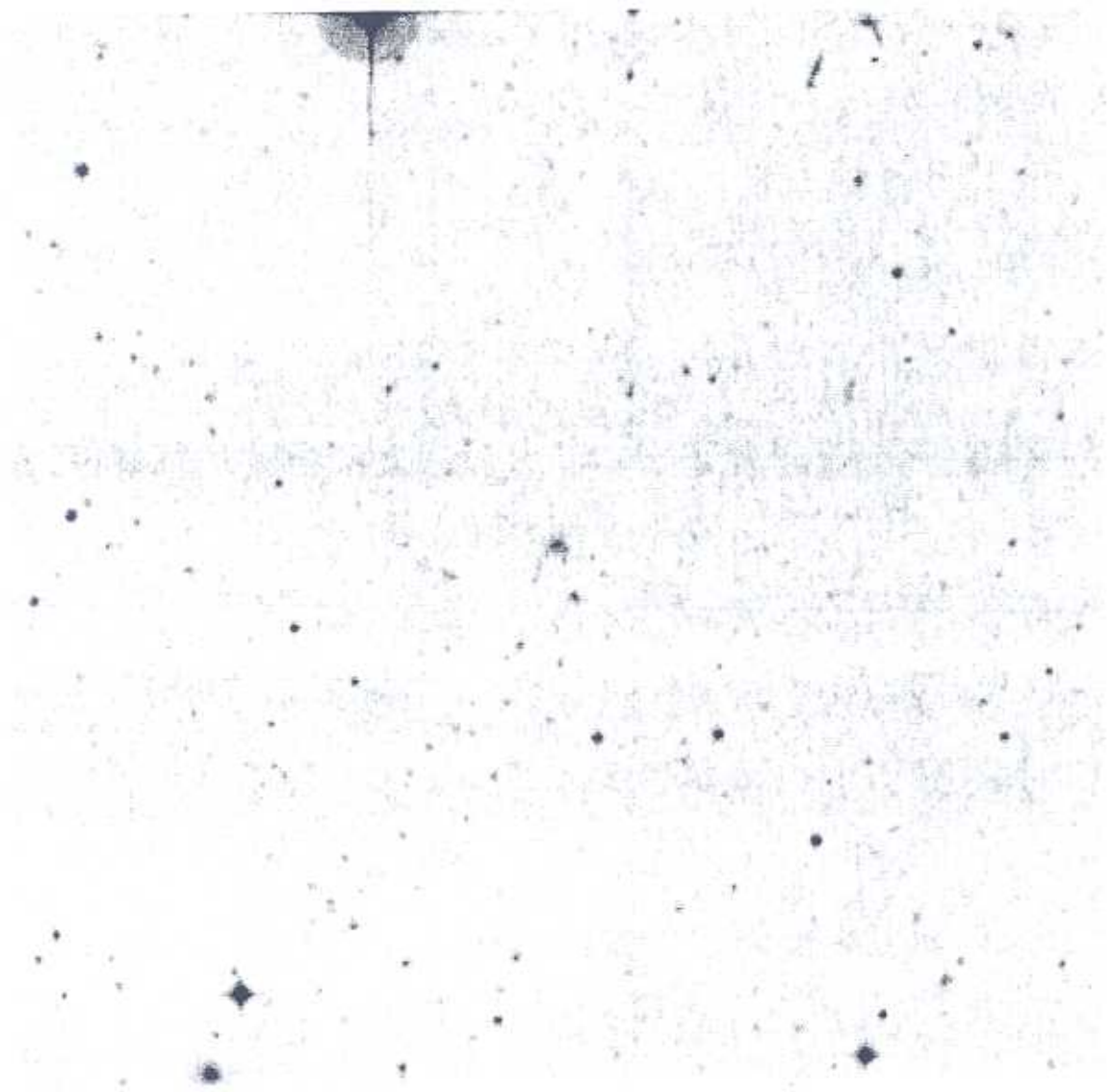
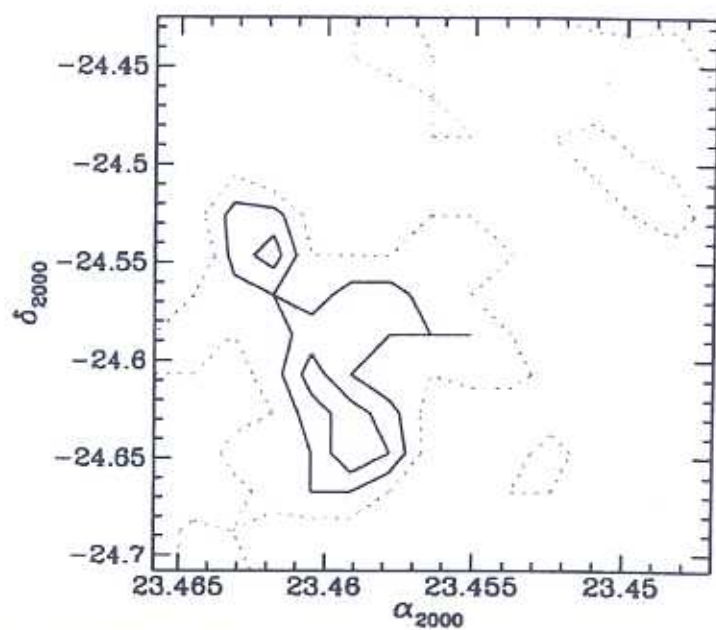
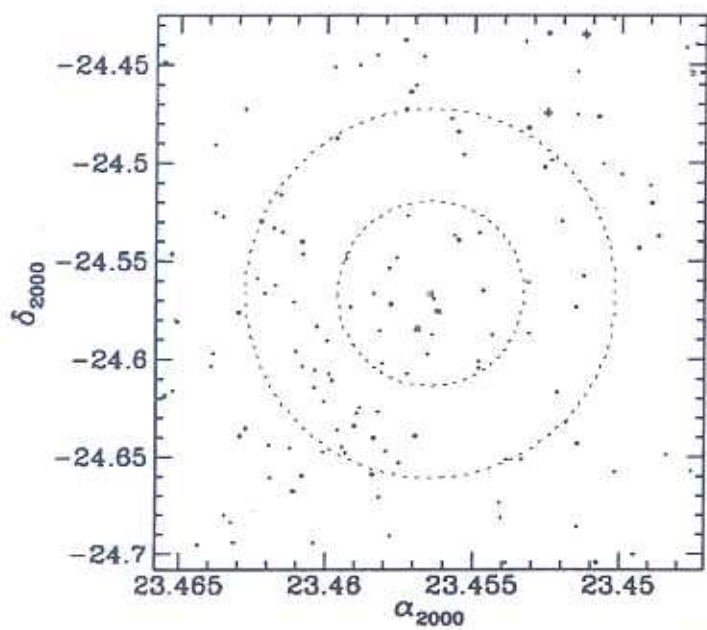


Figura C.101: AqrCC 076-A2 — DSS 11.3' × 11.3'



AqrCC 076 (A2601-A2)

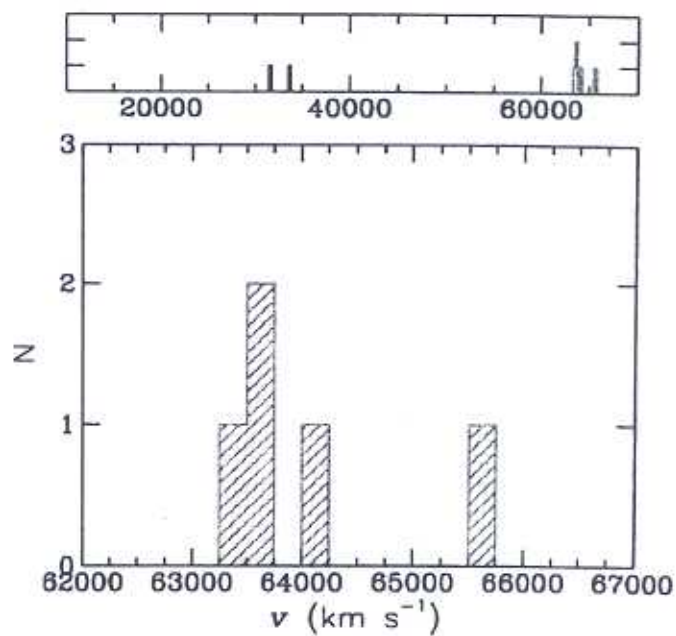
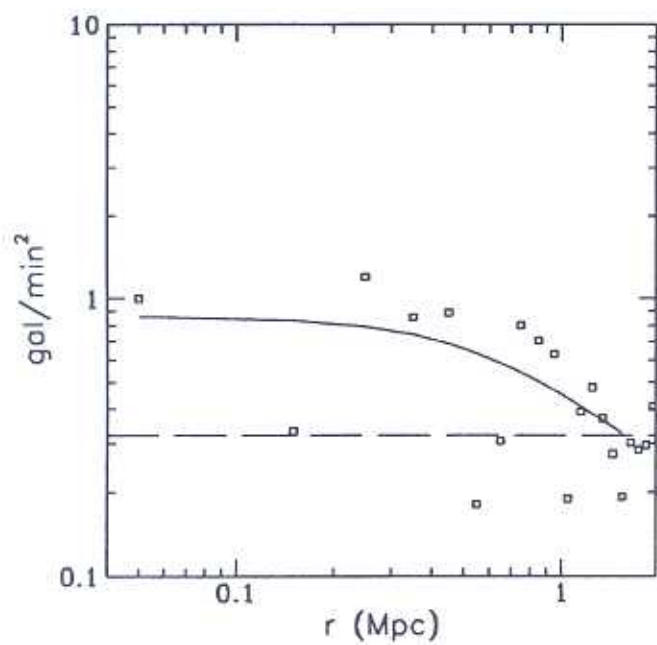


Figura C.102: AqrCC 076-A2 — gráficos

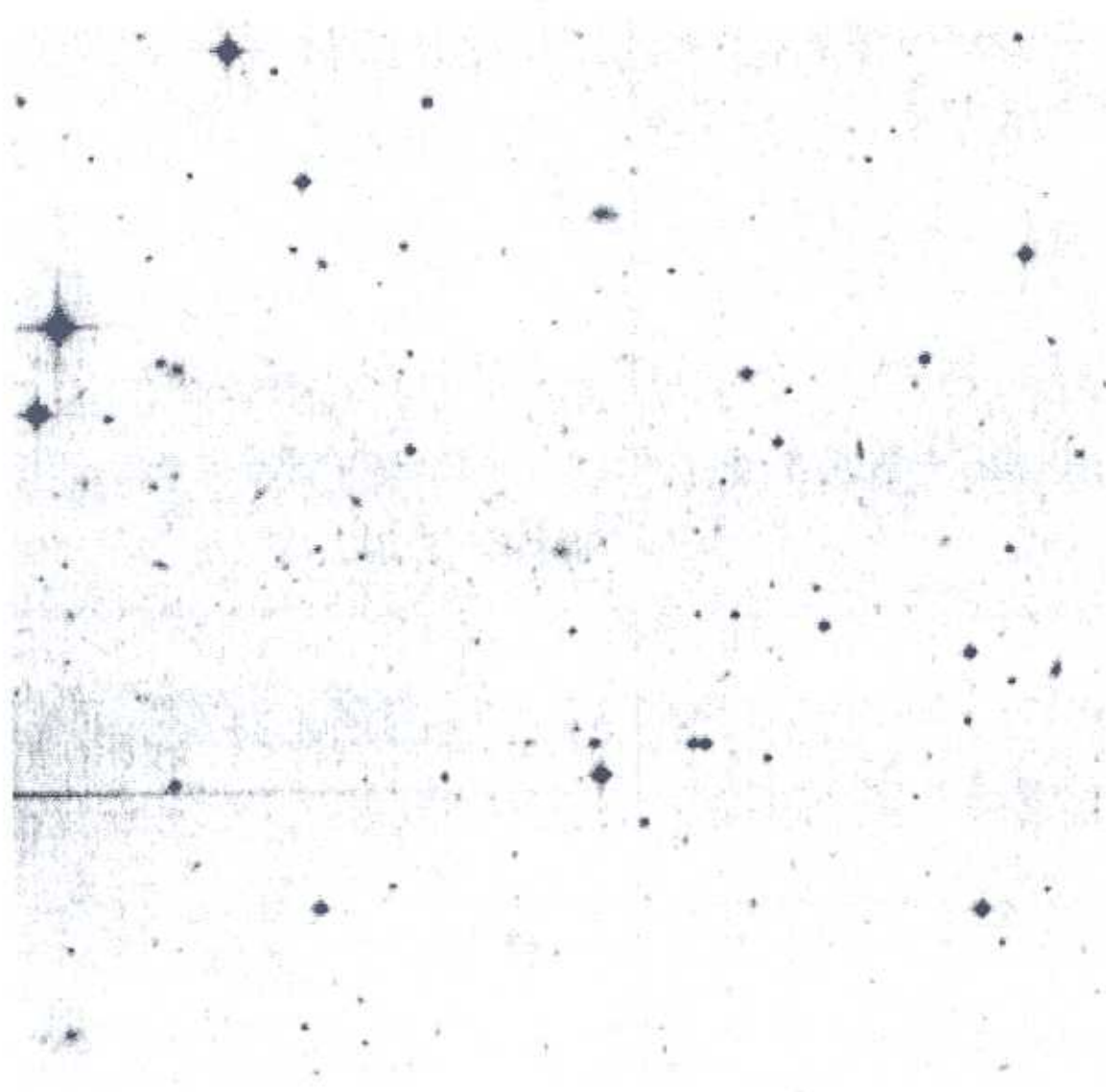
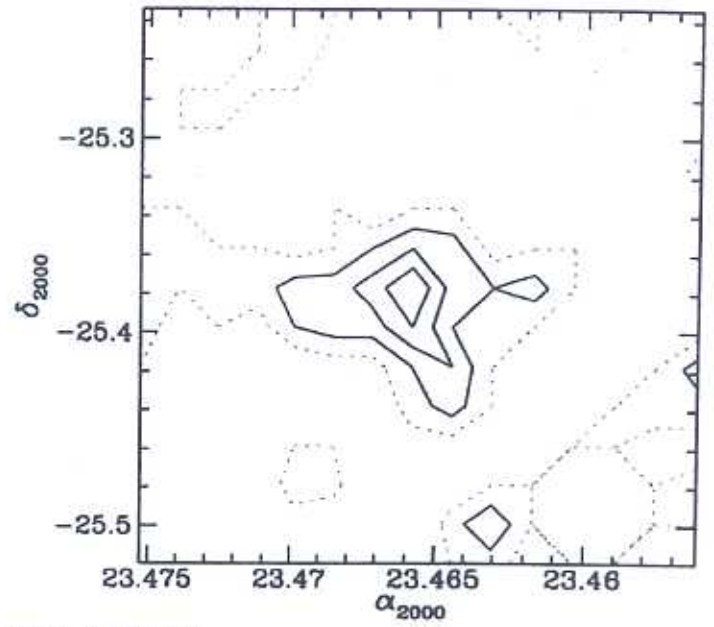
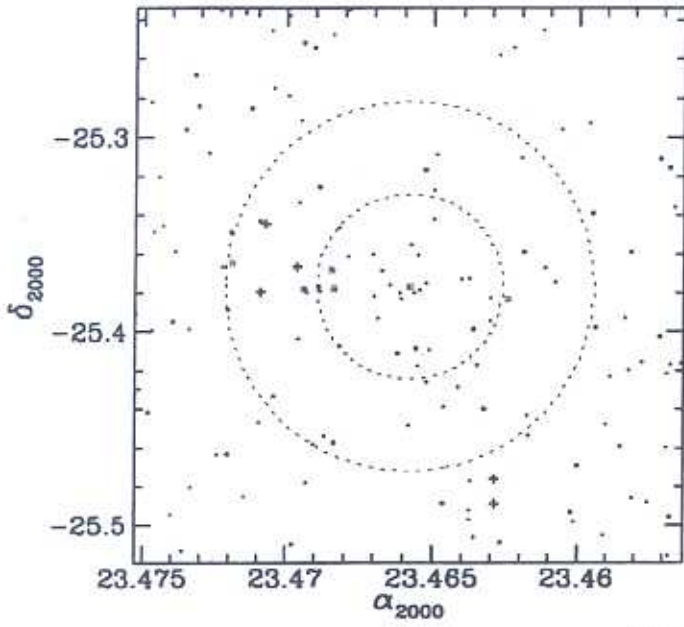


Figura C.103: AqrCC 077 — D55 11.4' × 11.4'



AqrCC 077 (A2603)

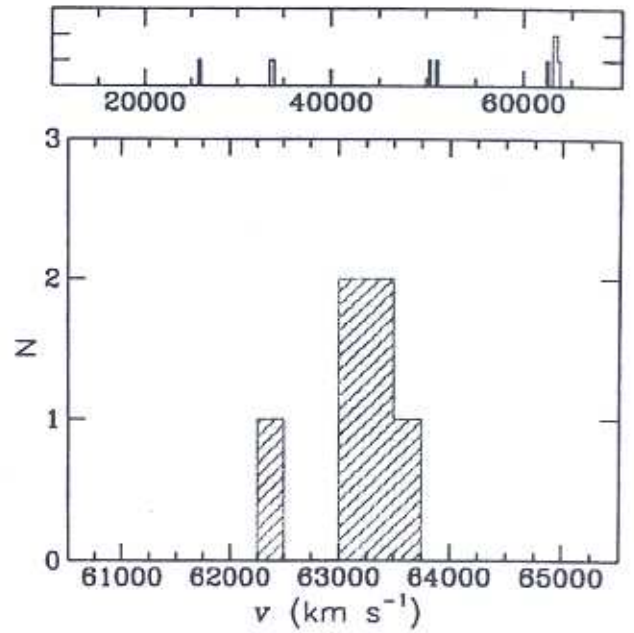
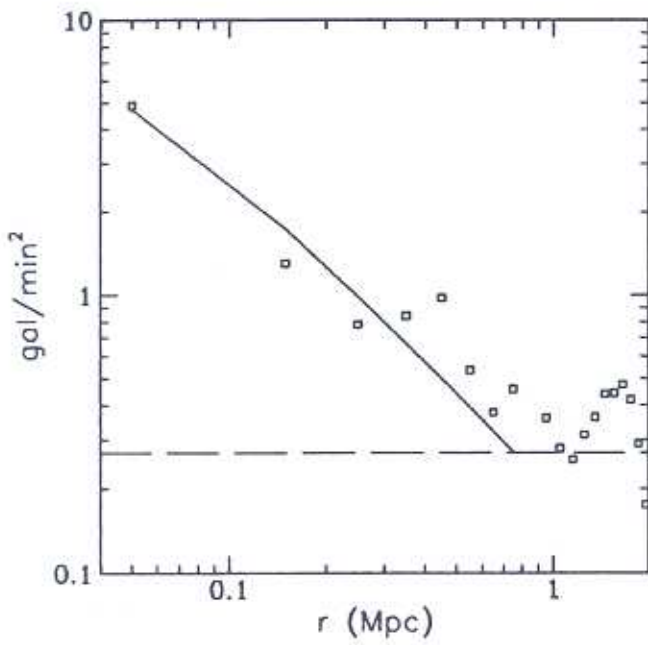


Figura C.104: AqrCC 077 — gráficos

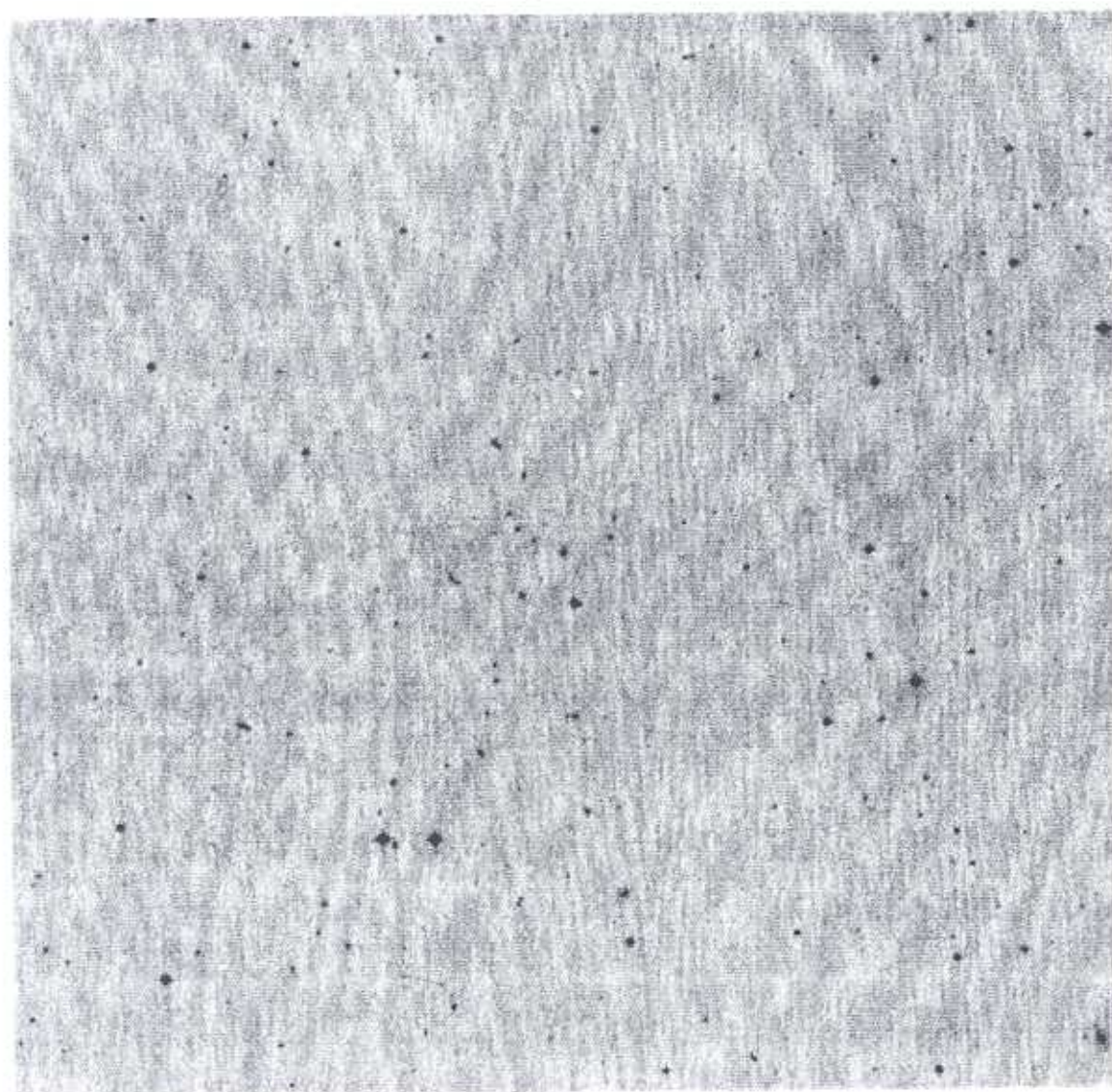
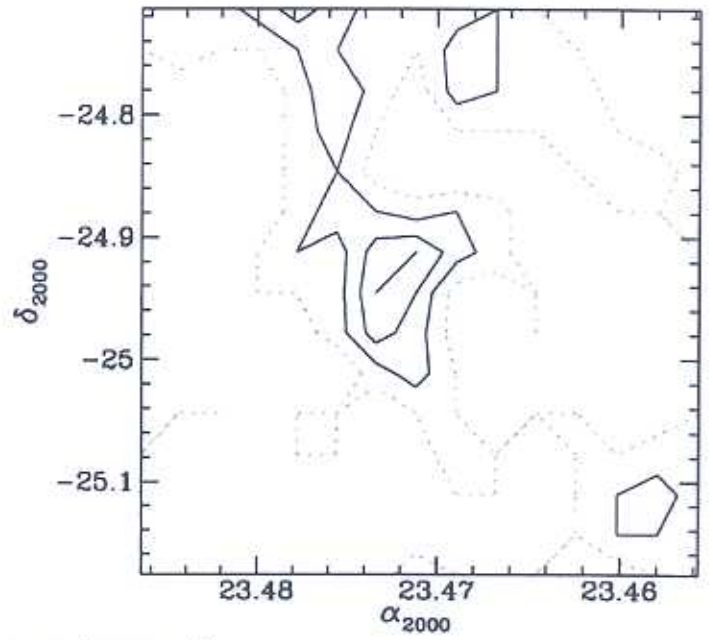
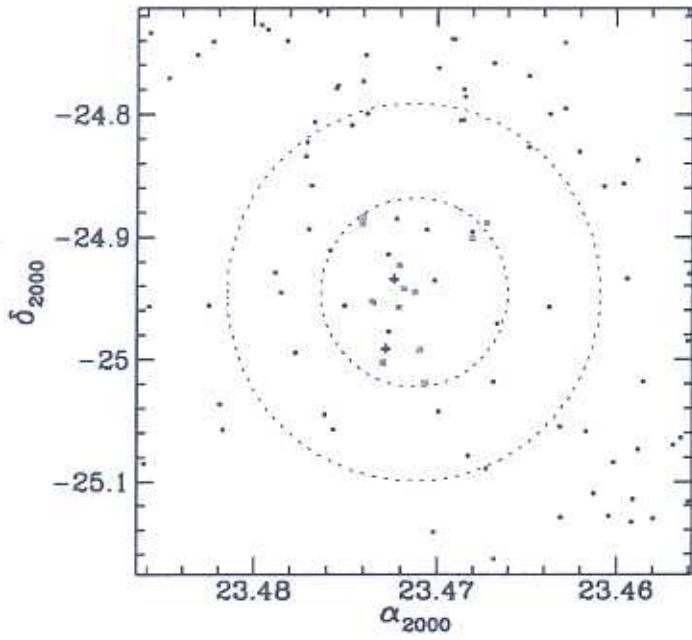


Figura C.105: AqrCC 078 — DSS 18.4' × 18.4'



AqrCC 078 (ED300)

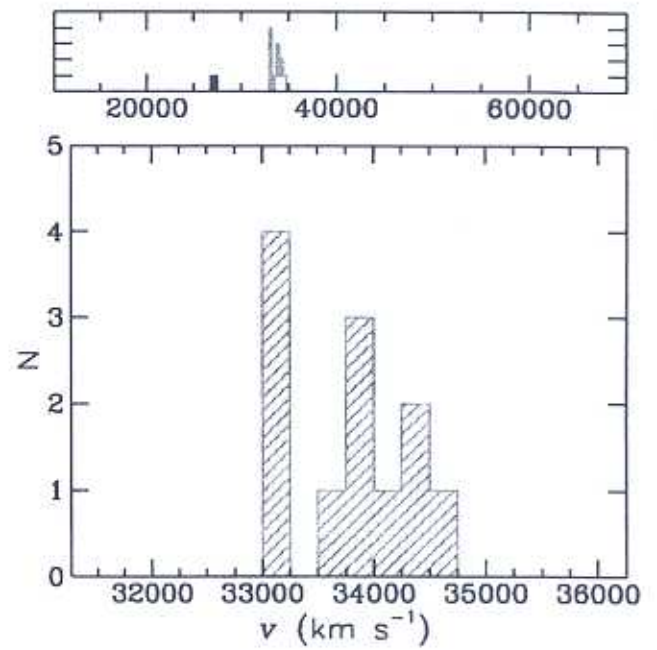
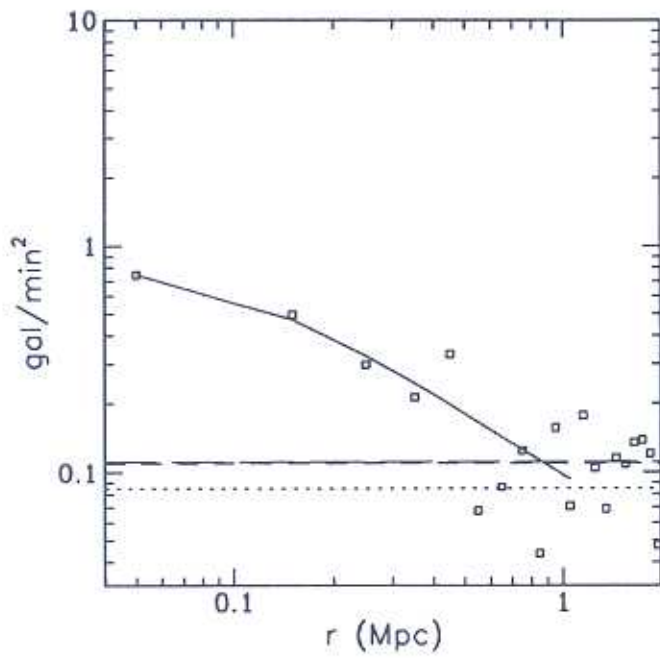


Figura C.106: AqrCC 078 — gráficos

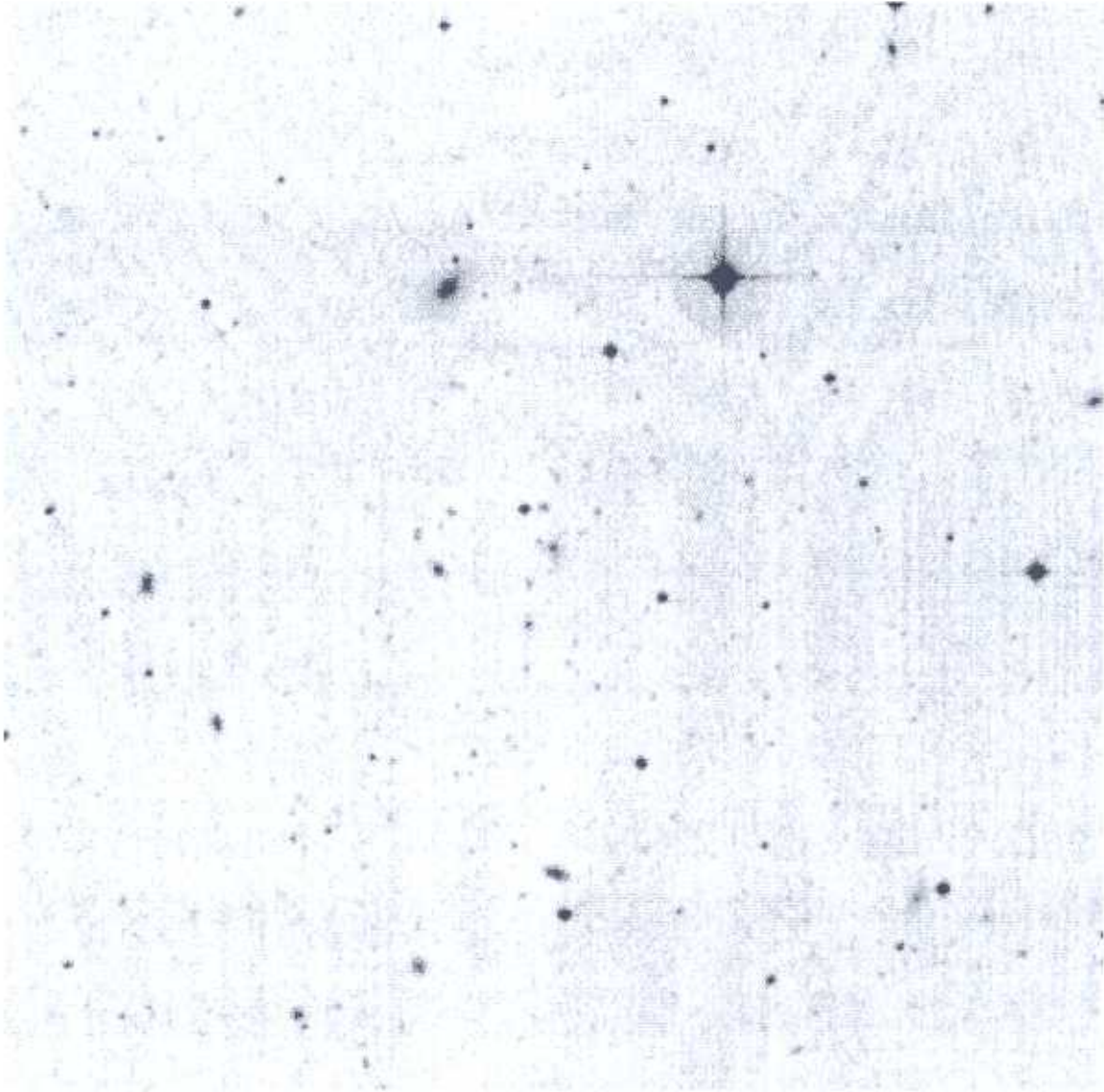
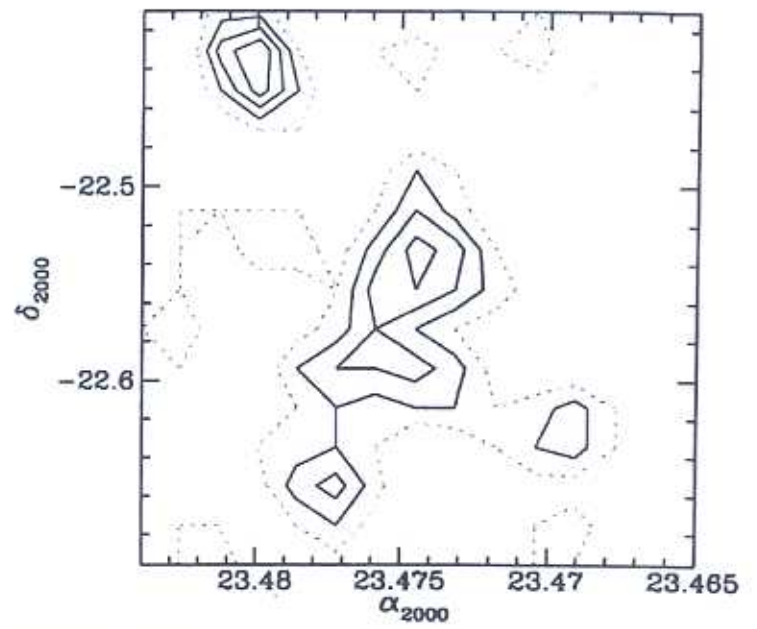
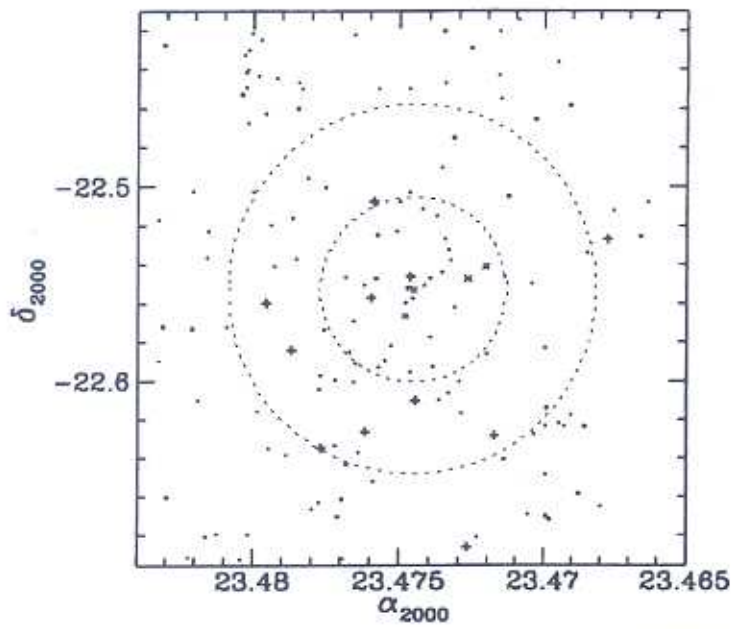


Figura C.107: AqrCC 080 — DSS 11.4' × 11.4'



AqrCC 080 (A2604)

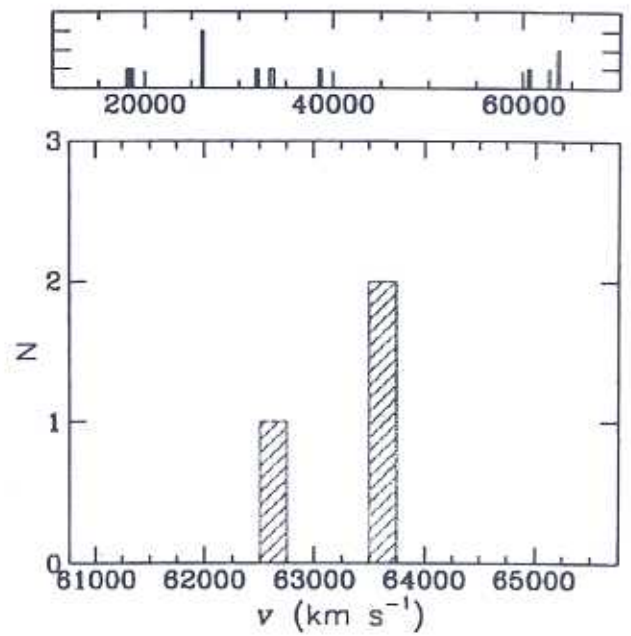
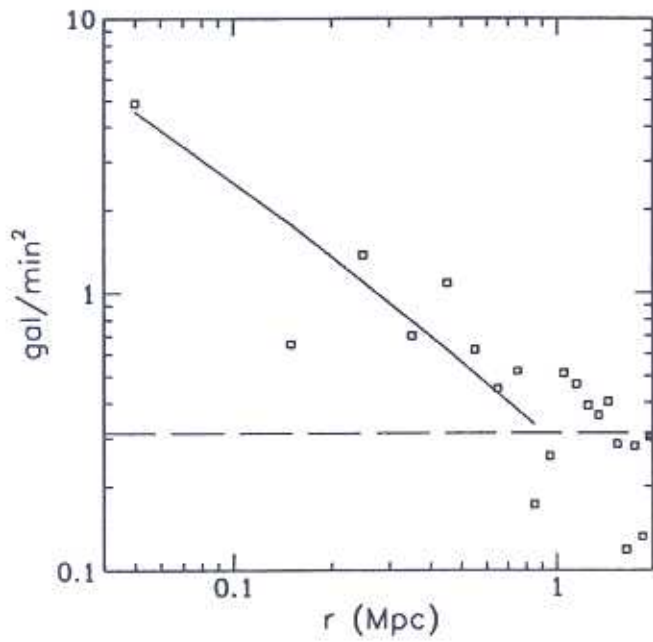


Figura C.108: AqrCC 080 — gráficos

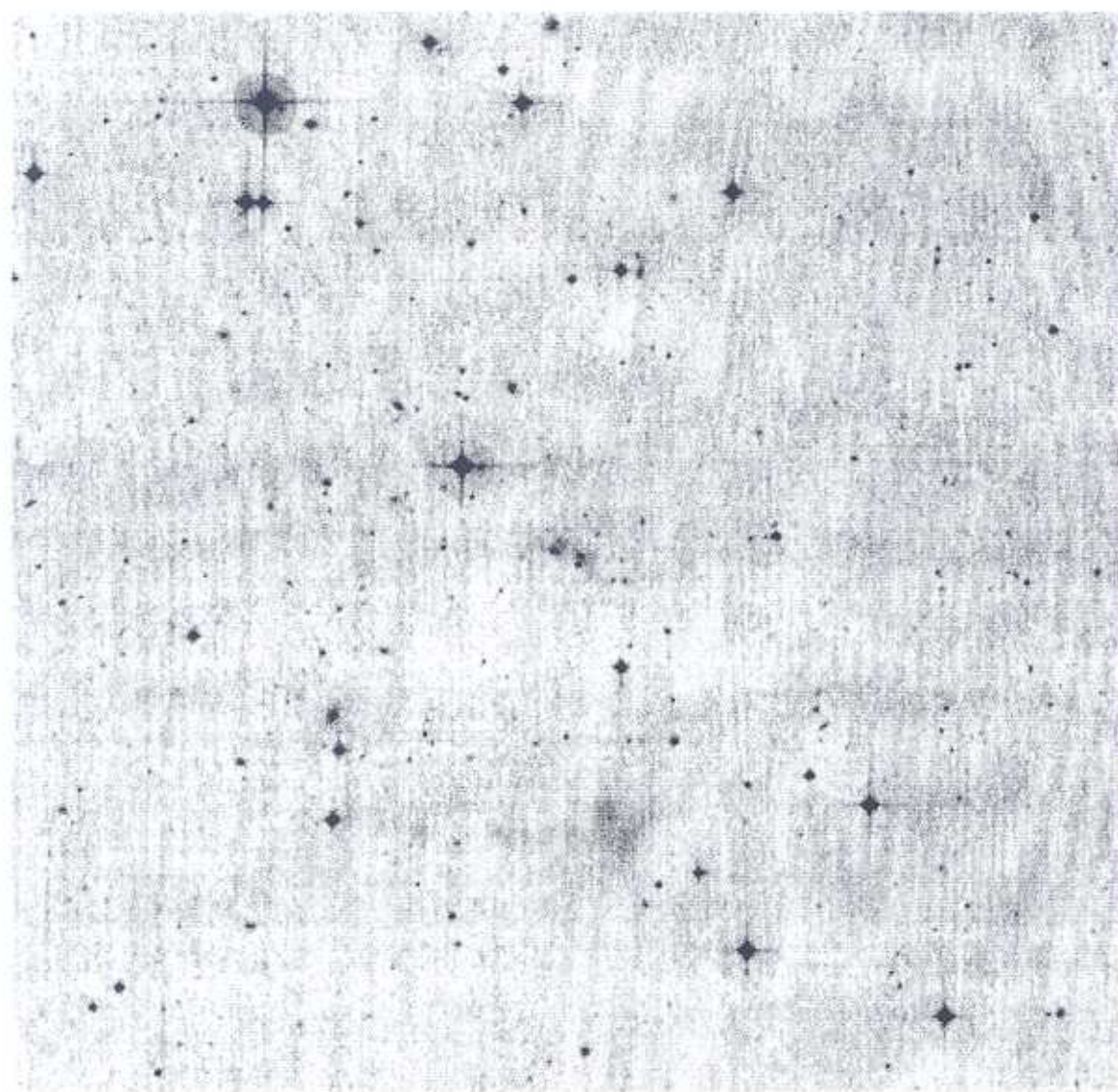
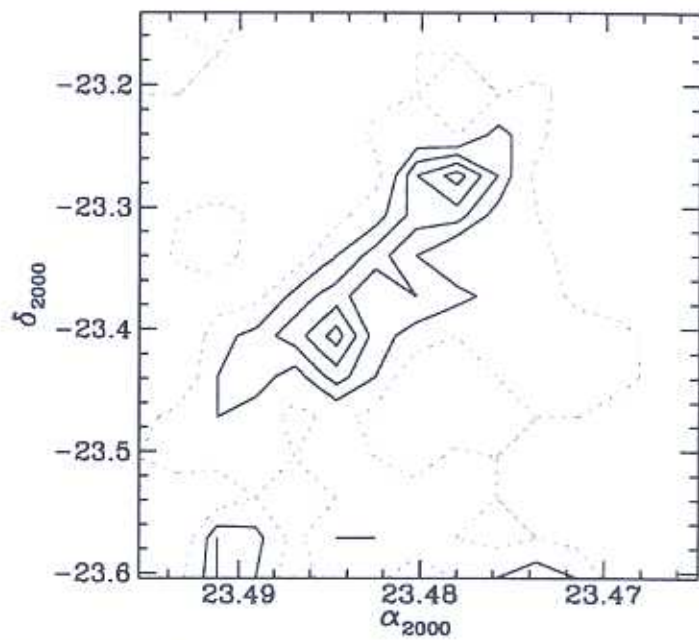
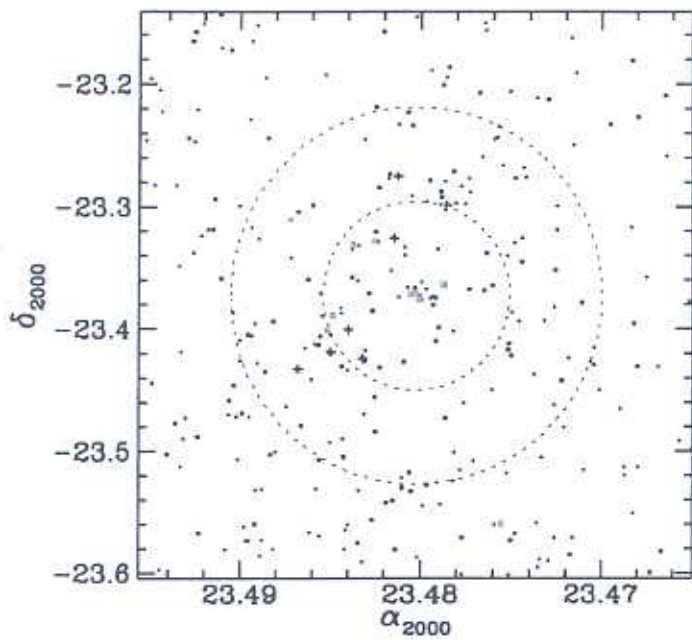


Figura C.109: AqrCC 081-A — DSS 18.5' × 18.5'



AqrCC 081 (A2605-A)

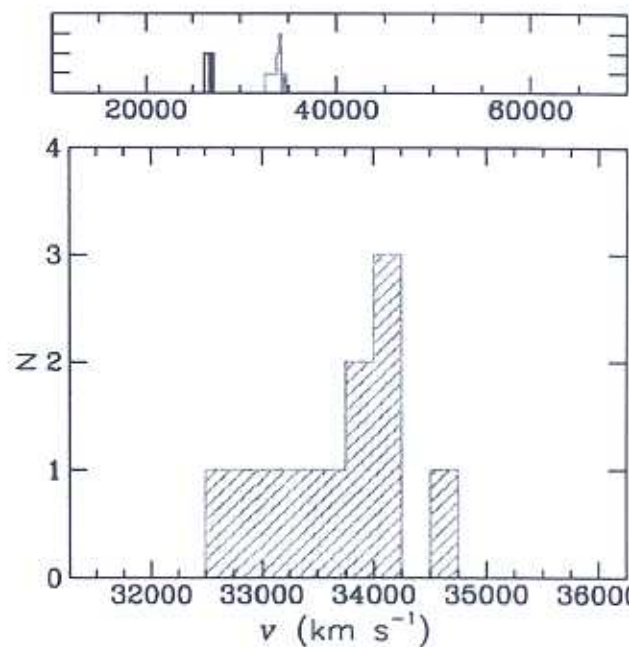
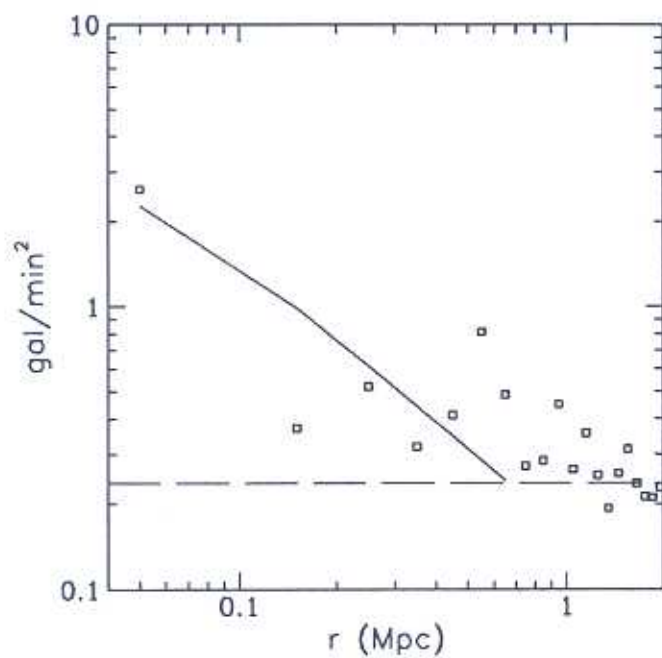


Figura C.110: AqrCC 081-A — gráficos

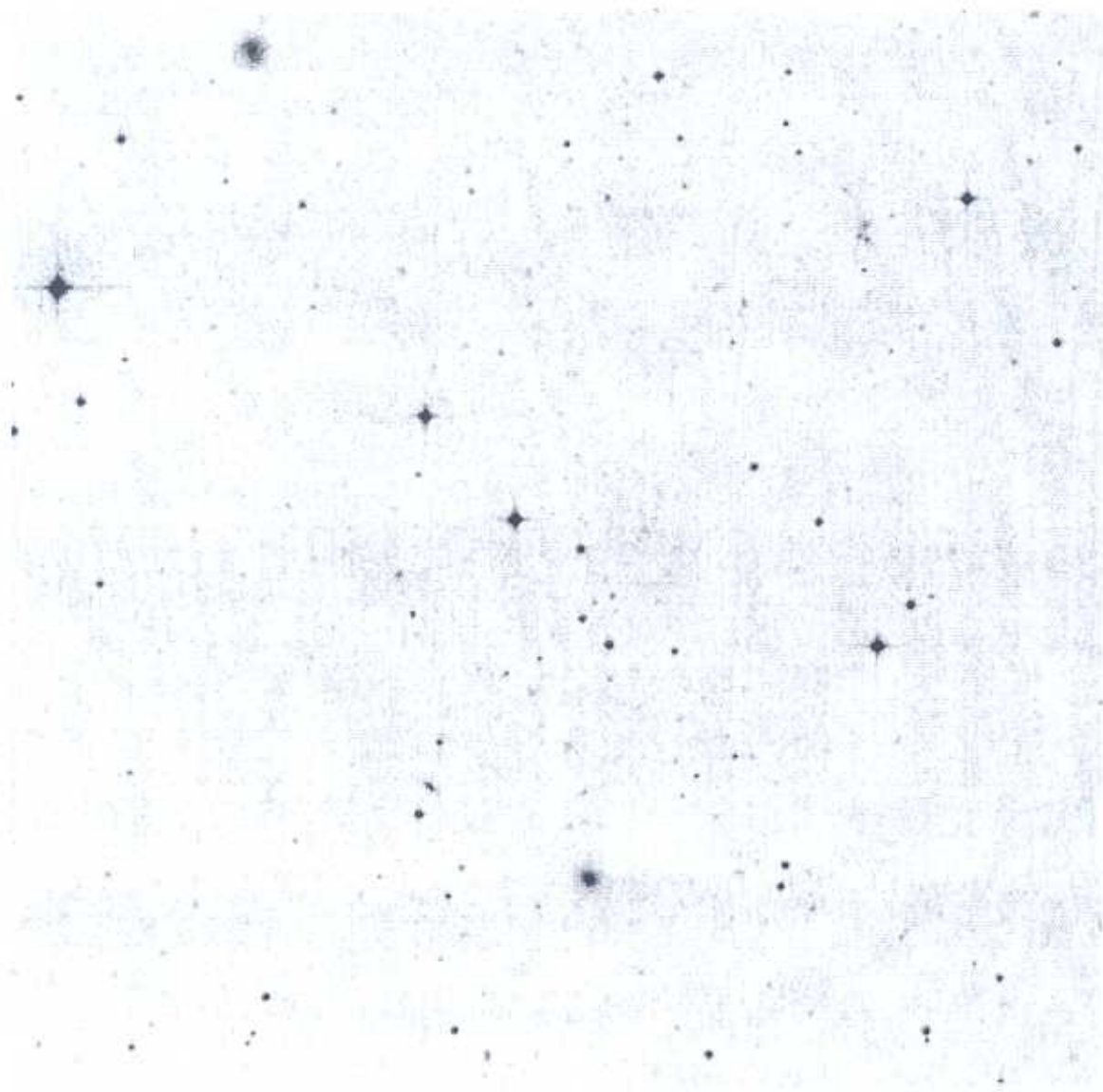
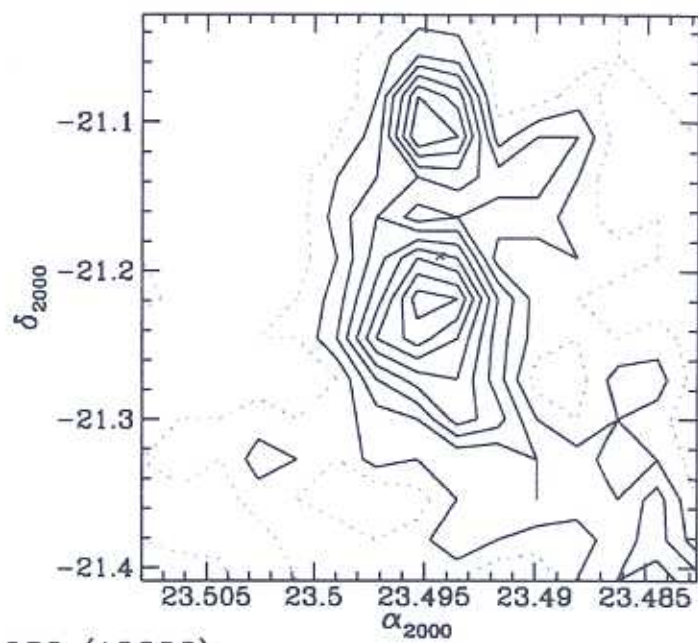
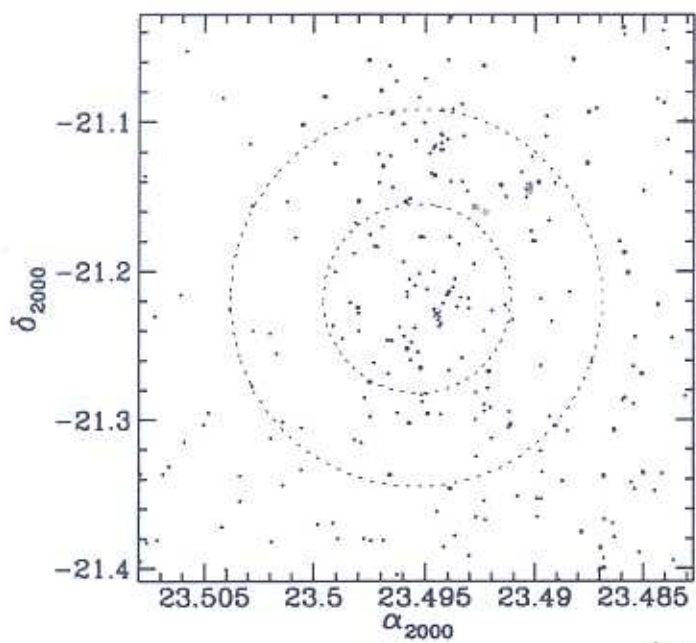


Figura C.111: AqrCC 082 — DSS 15.2' × 15.2'



AqrCC 082 (A2606)

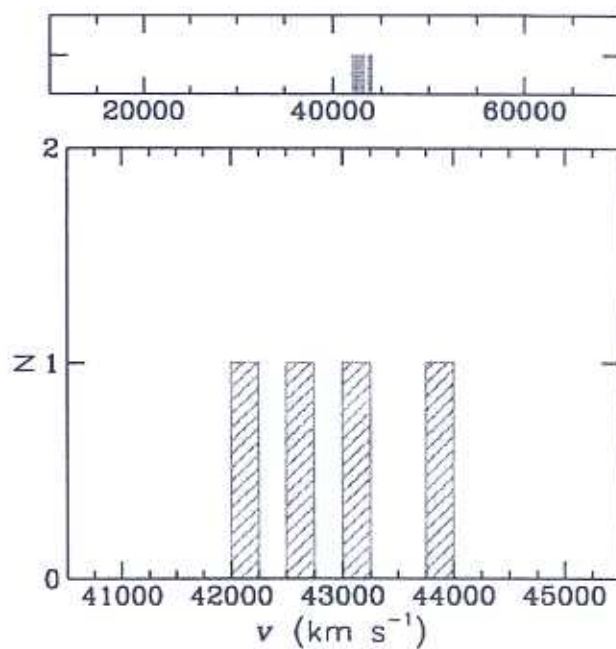
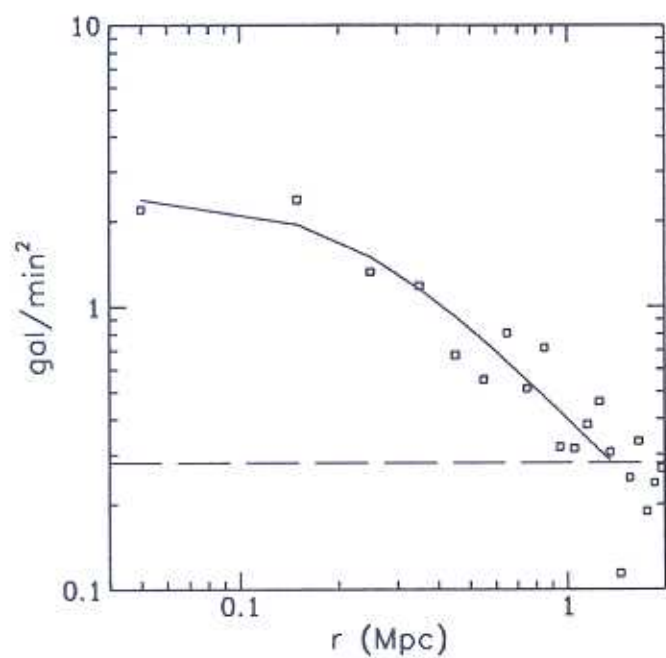


Figura C.112: AqrCC 082 — gráficos

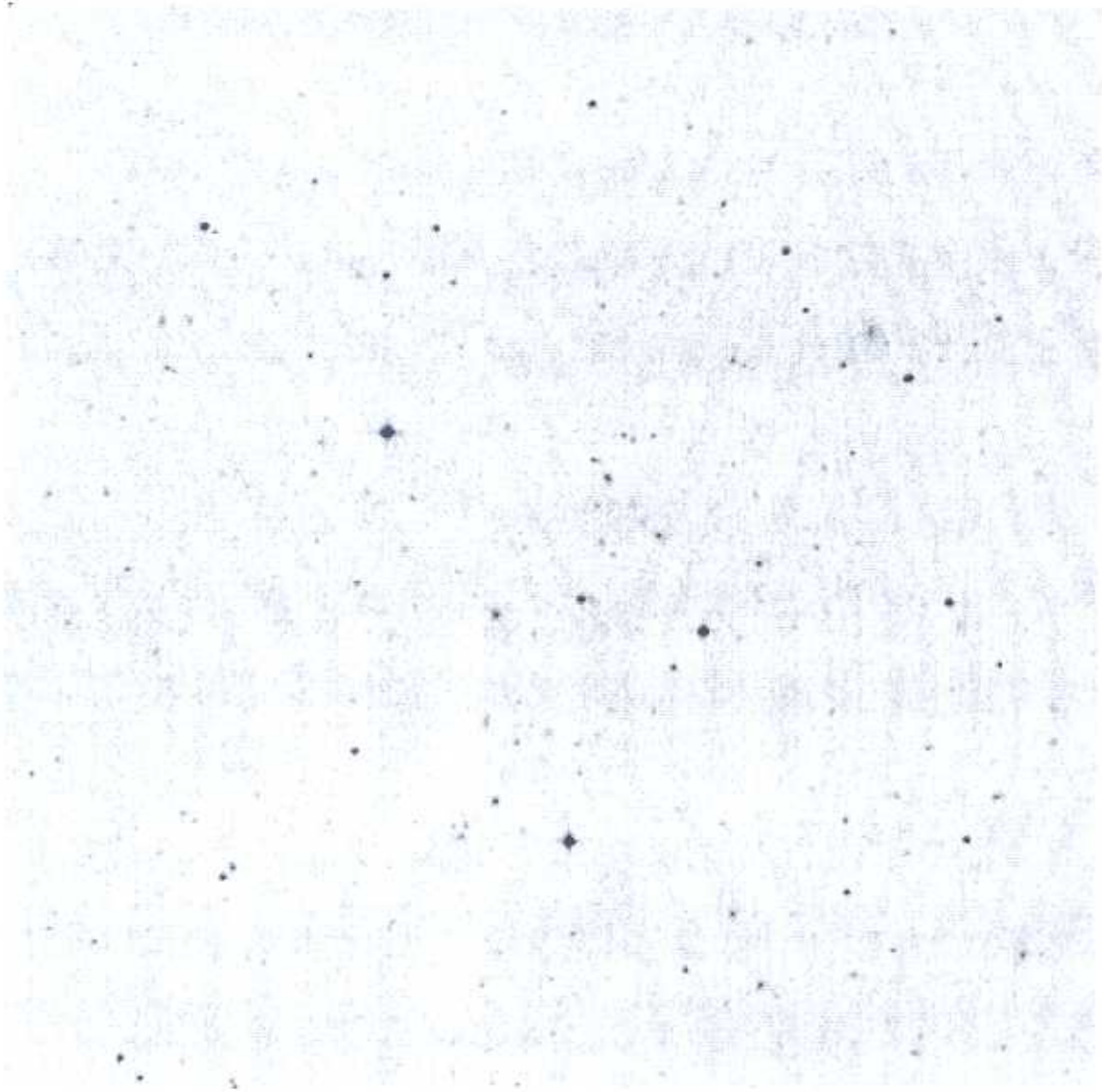
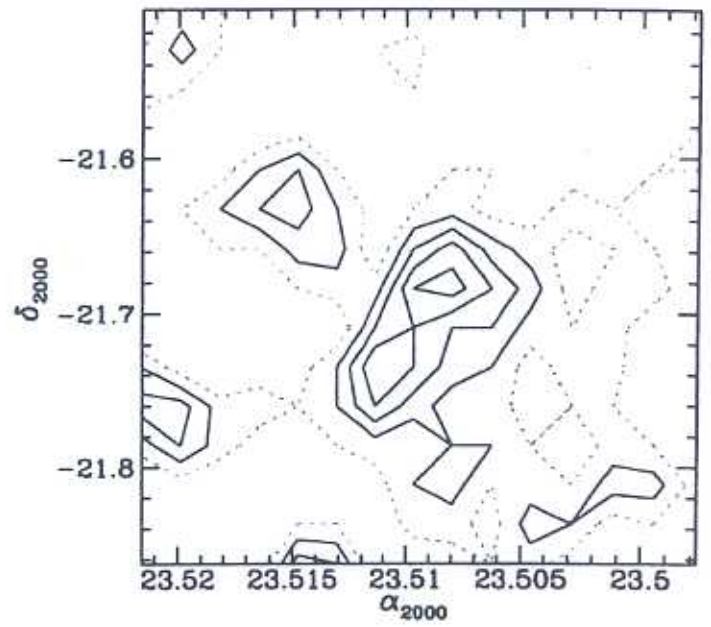
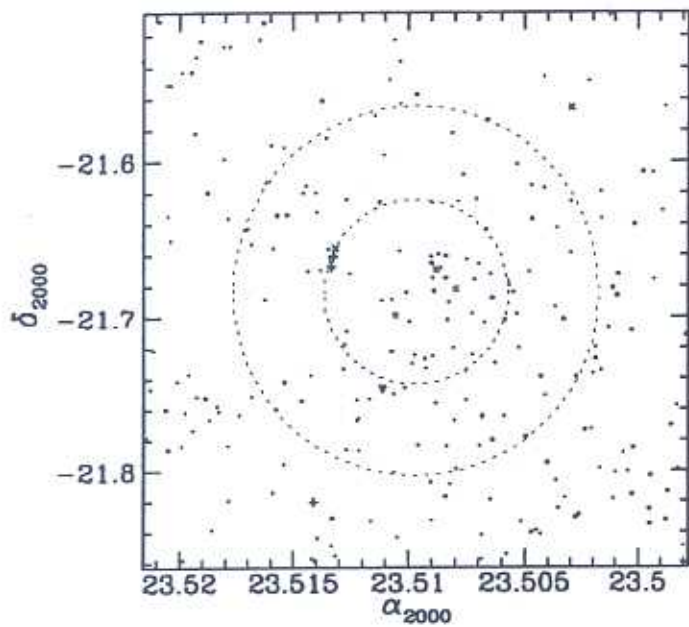


Figura C.113: AqrCC 085 — DSS 14.2' × 14.2'



AqrCC 085 (A2608)

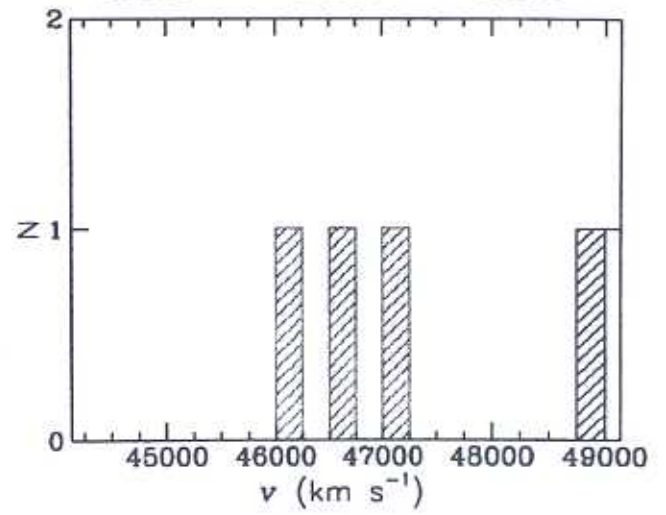
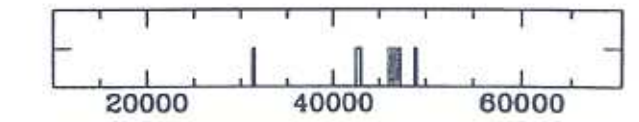
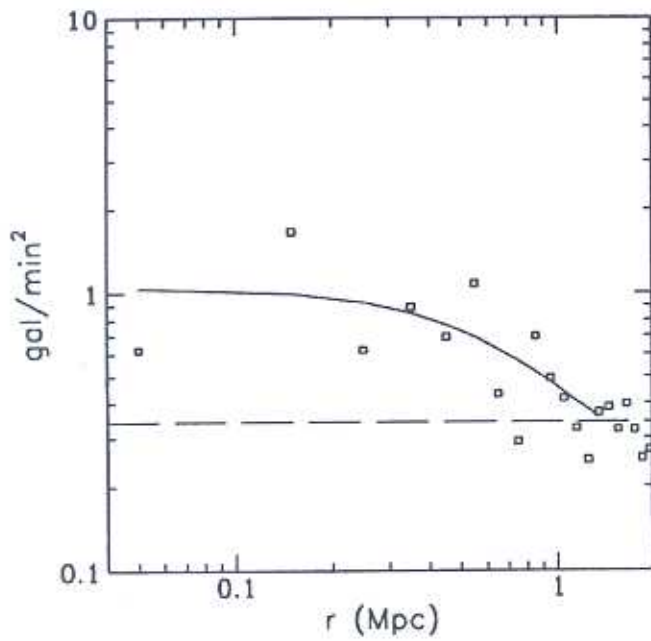


Figura C.114: AqrCC 085 — gráficos

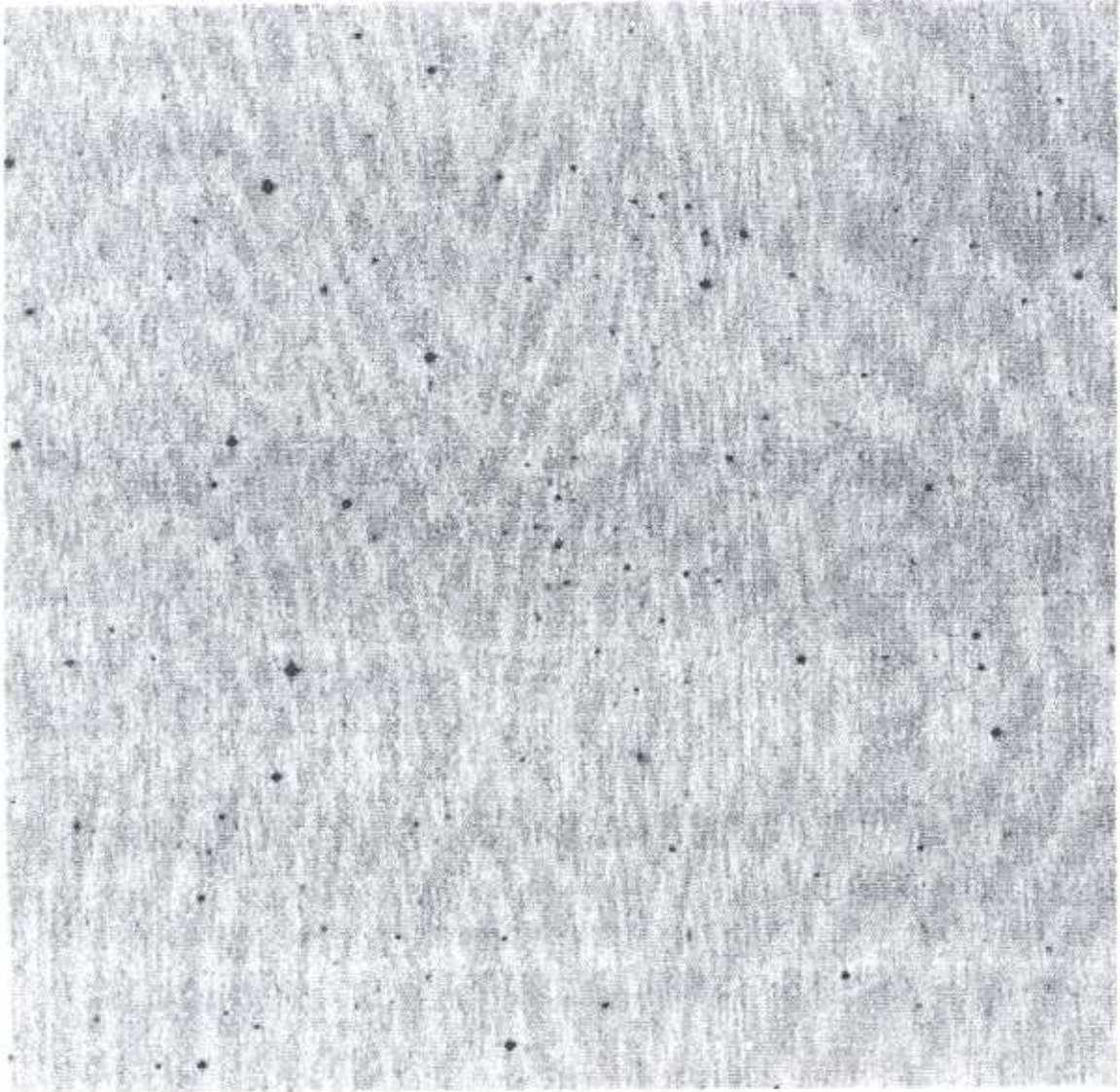
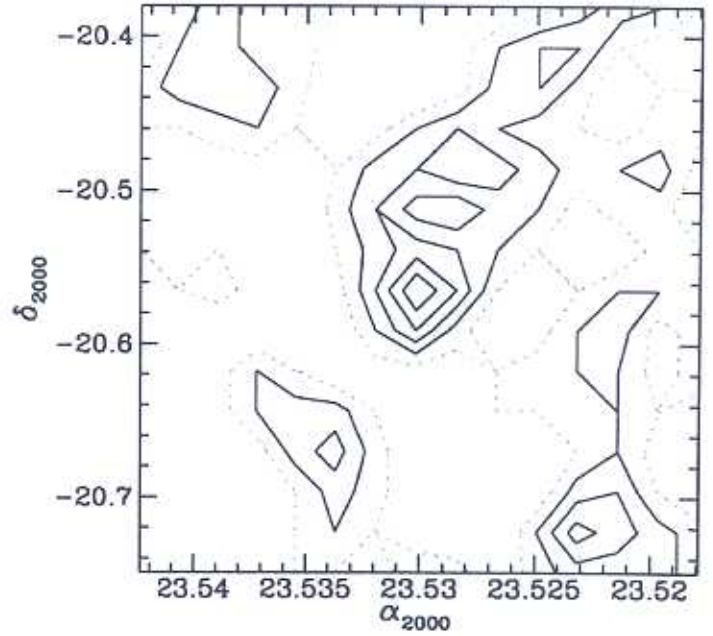
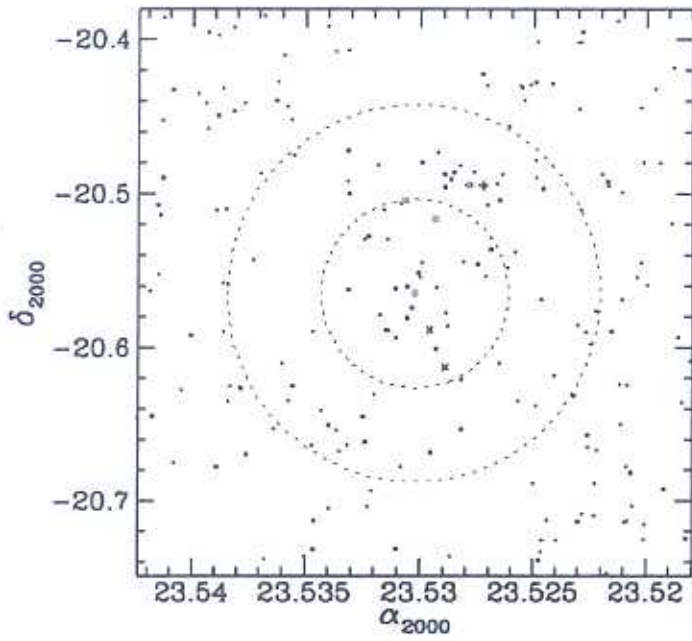


Figura C.115: AqrCC 088 — DSS 14.7' × 14.7'



AqrCC 088

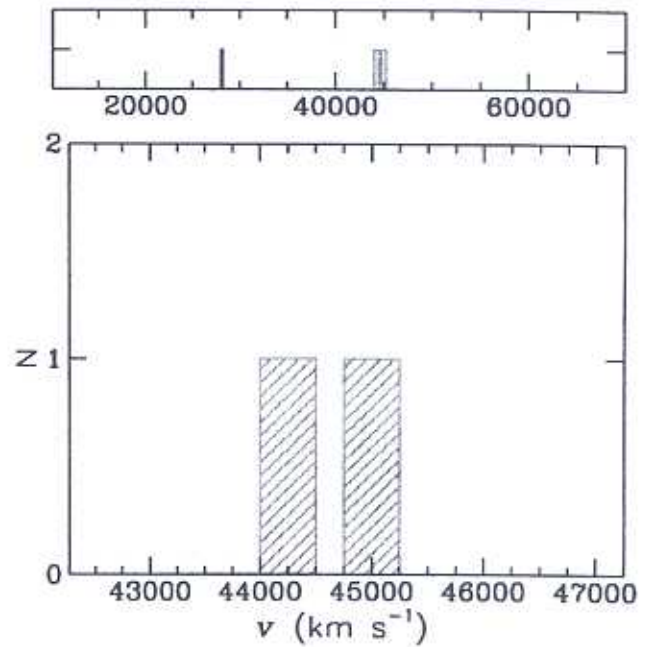
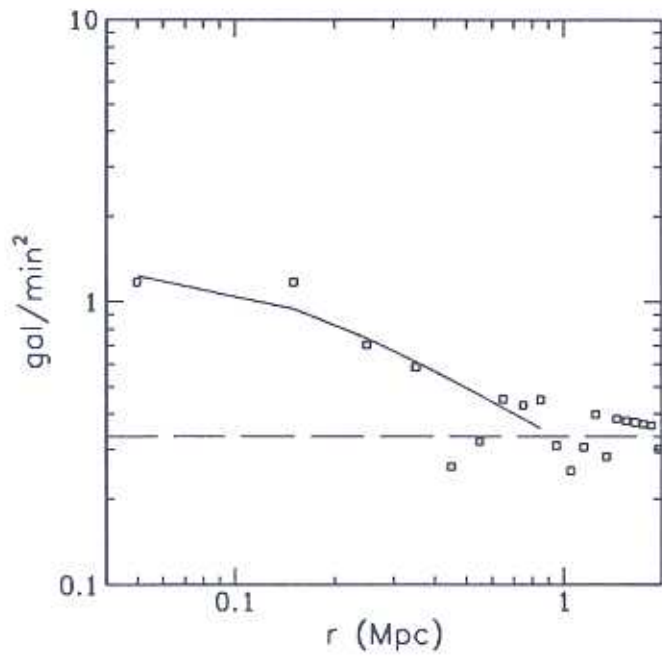


Figura C.116: AqrCC 088 — gráficos

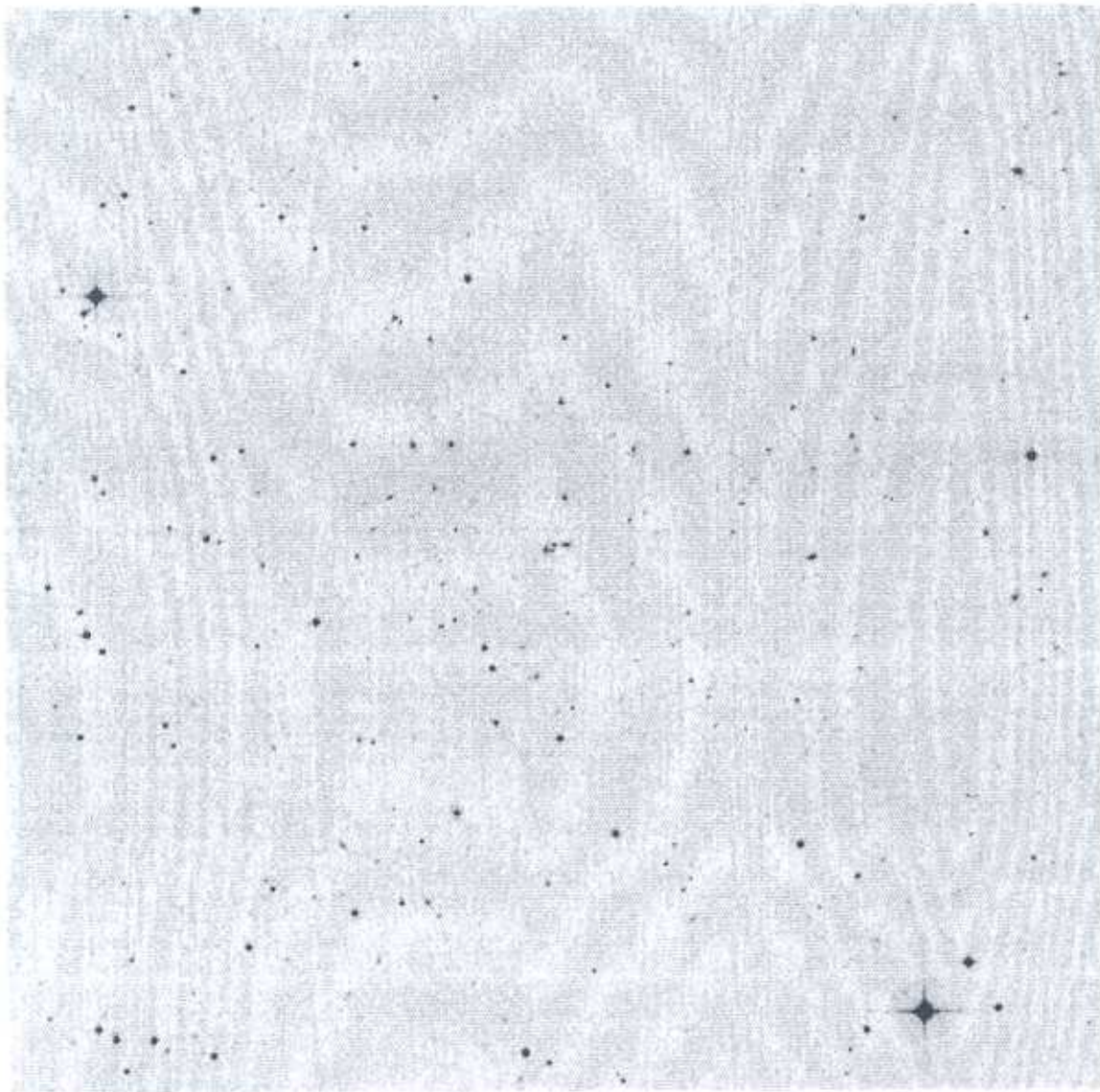
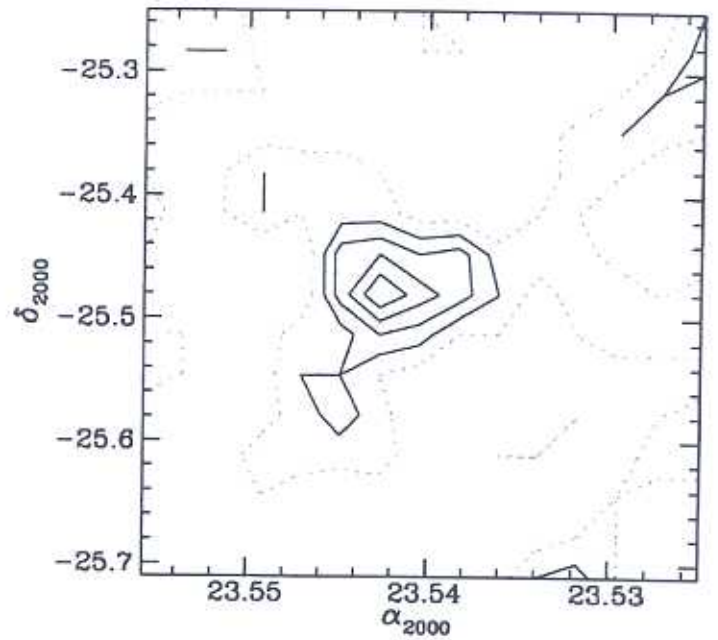
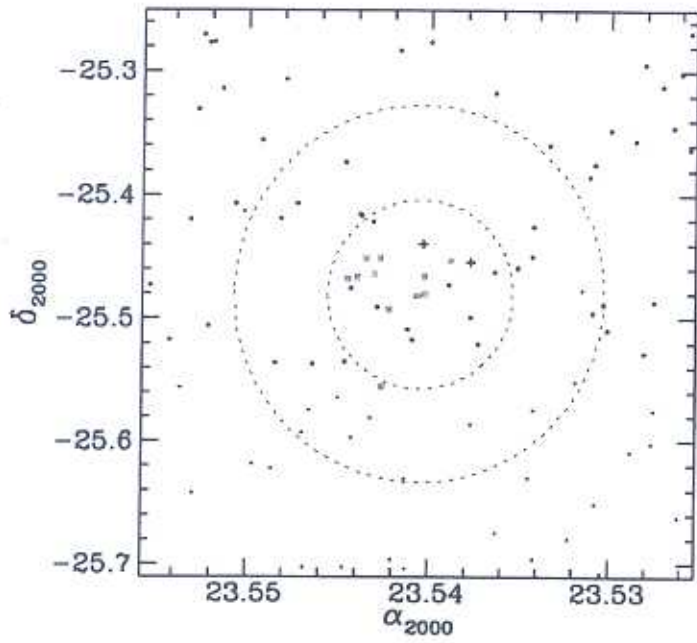


Figura C.117: AqrCC 091 — DSS 18.4' × 18.4'



AqrCC 091 (A4014)

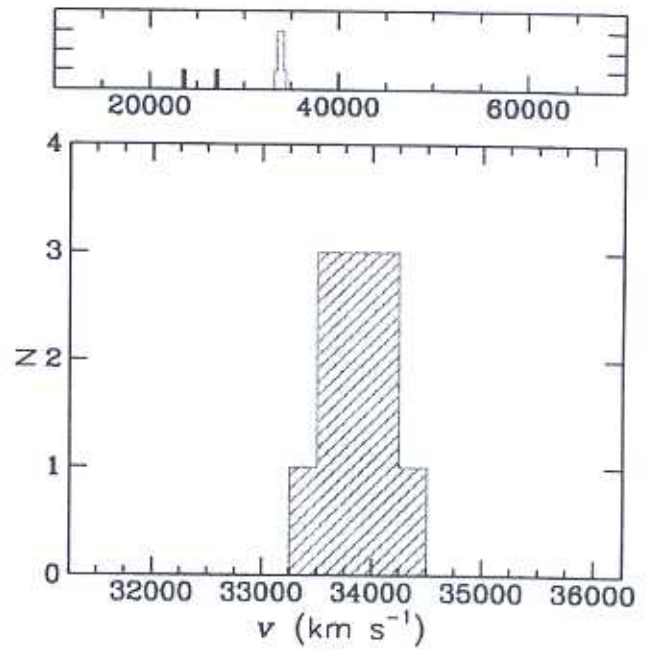
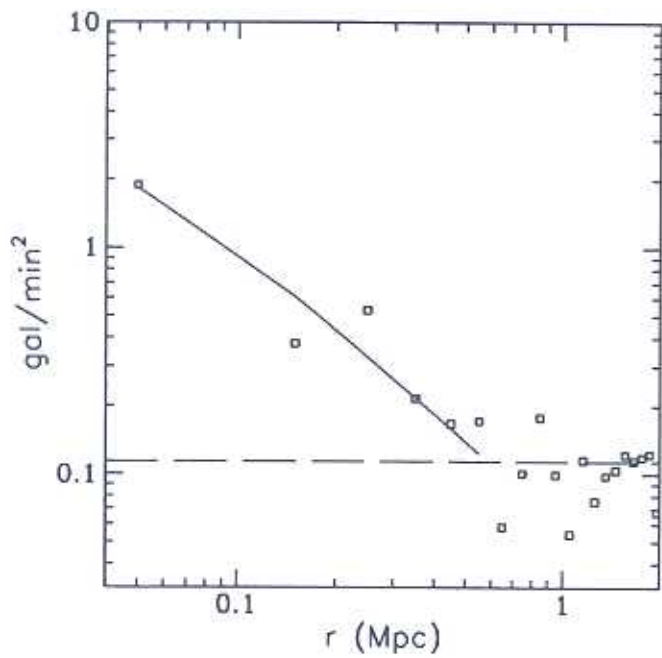


Figura C.118: AqrCC 091 — gráficos

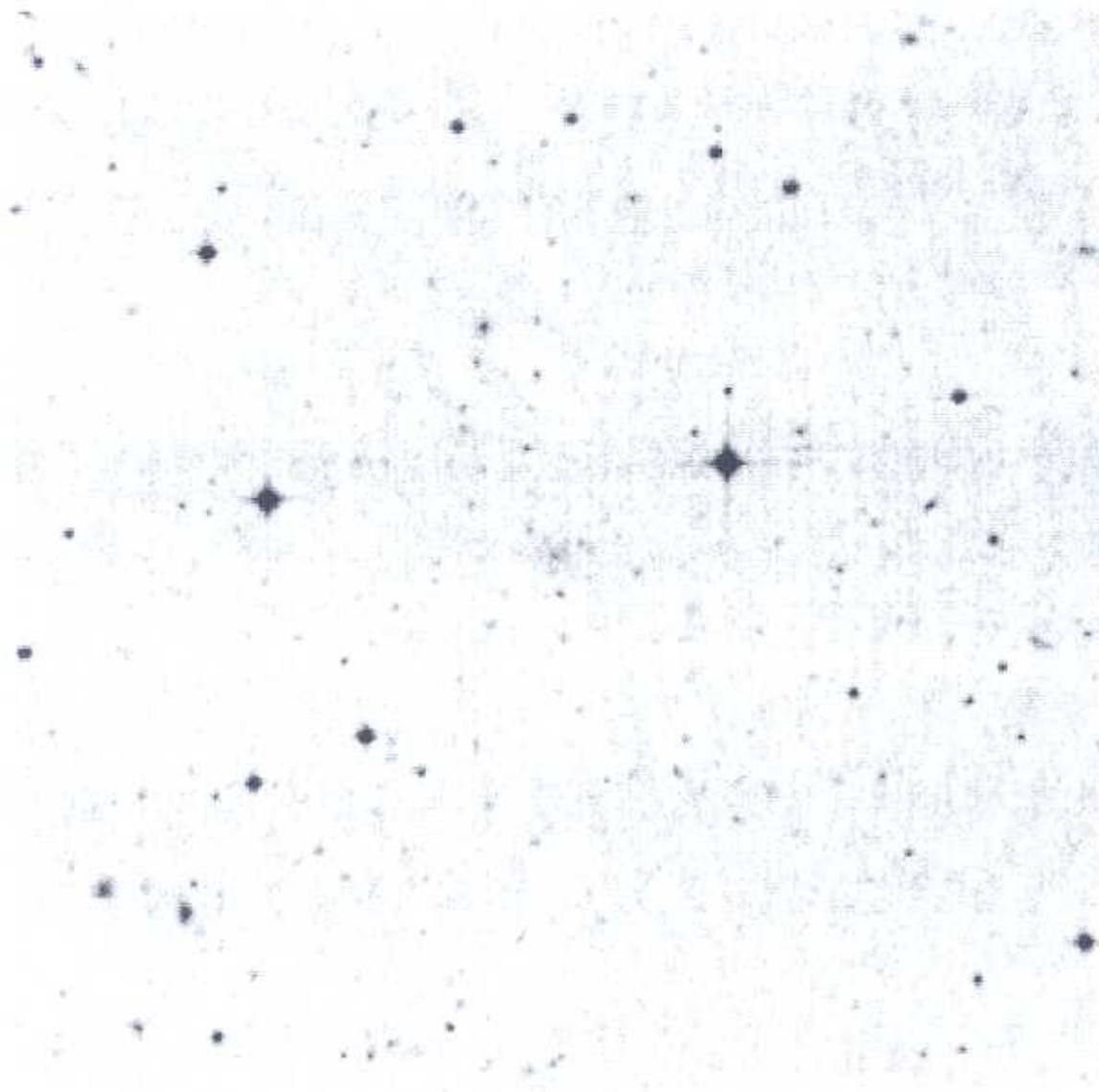
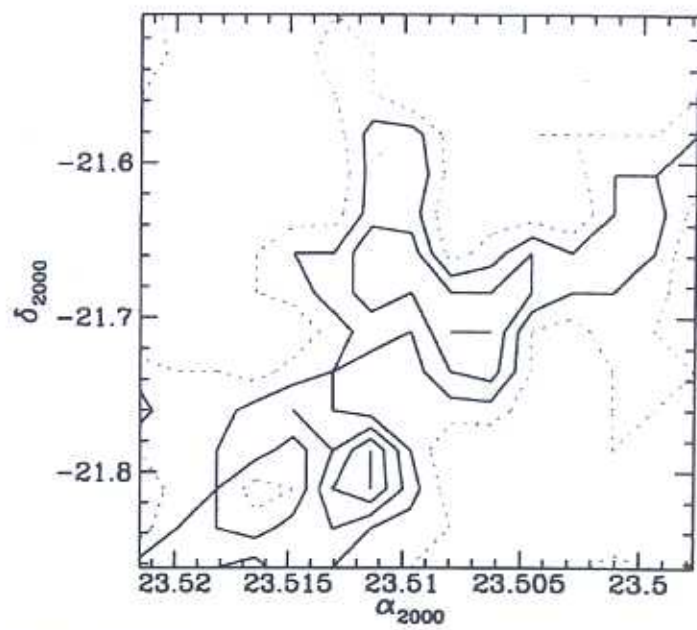
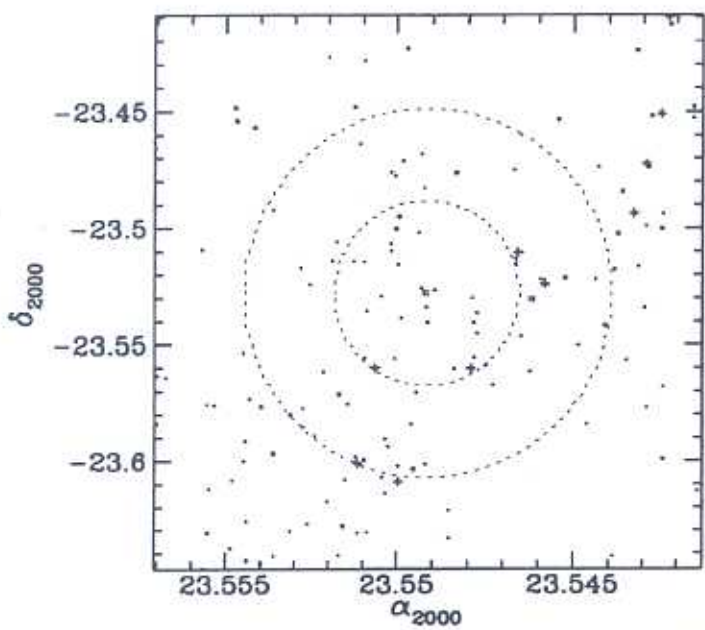


Figura C.119: AqrCC 094 — DSS 9.5' × 9.5'



AqrCC 094 (A2615)

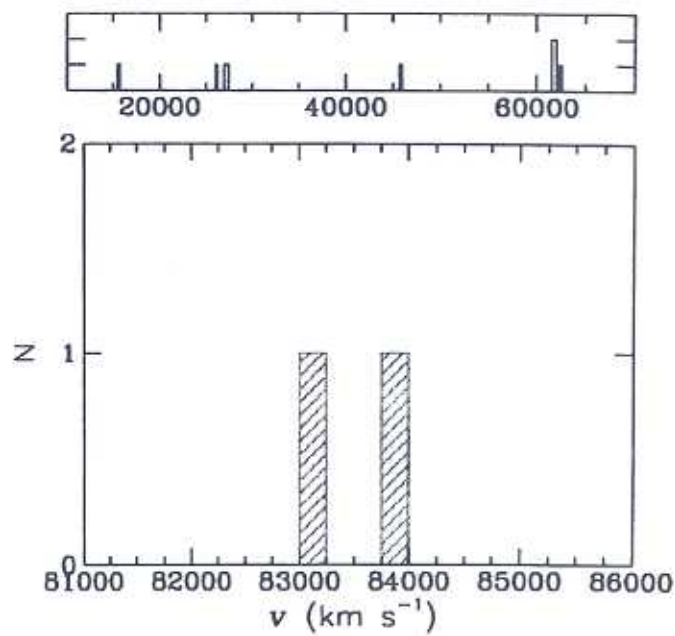
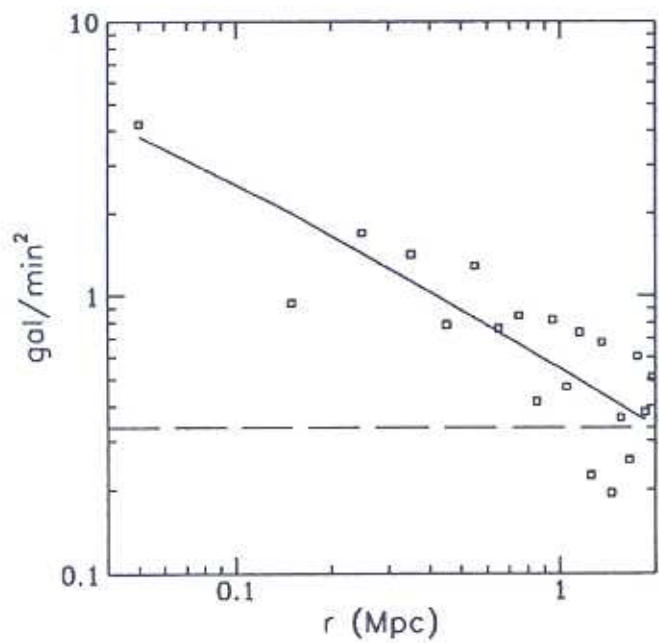


Figura C.120: AqrCC 094 — gráficos

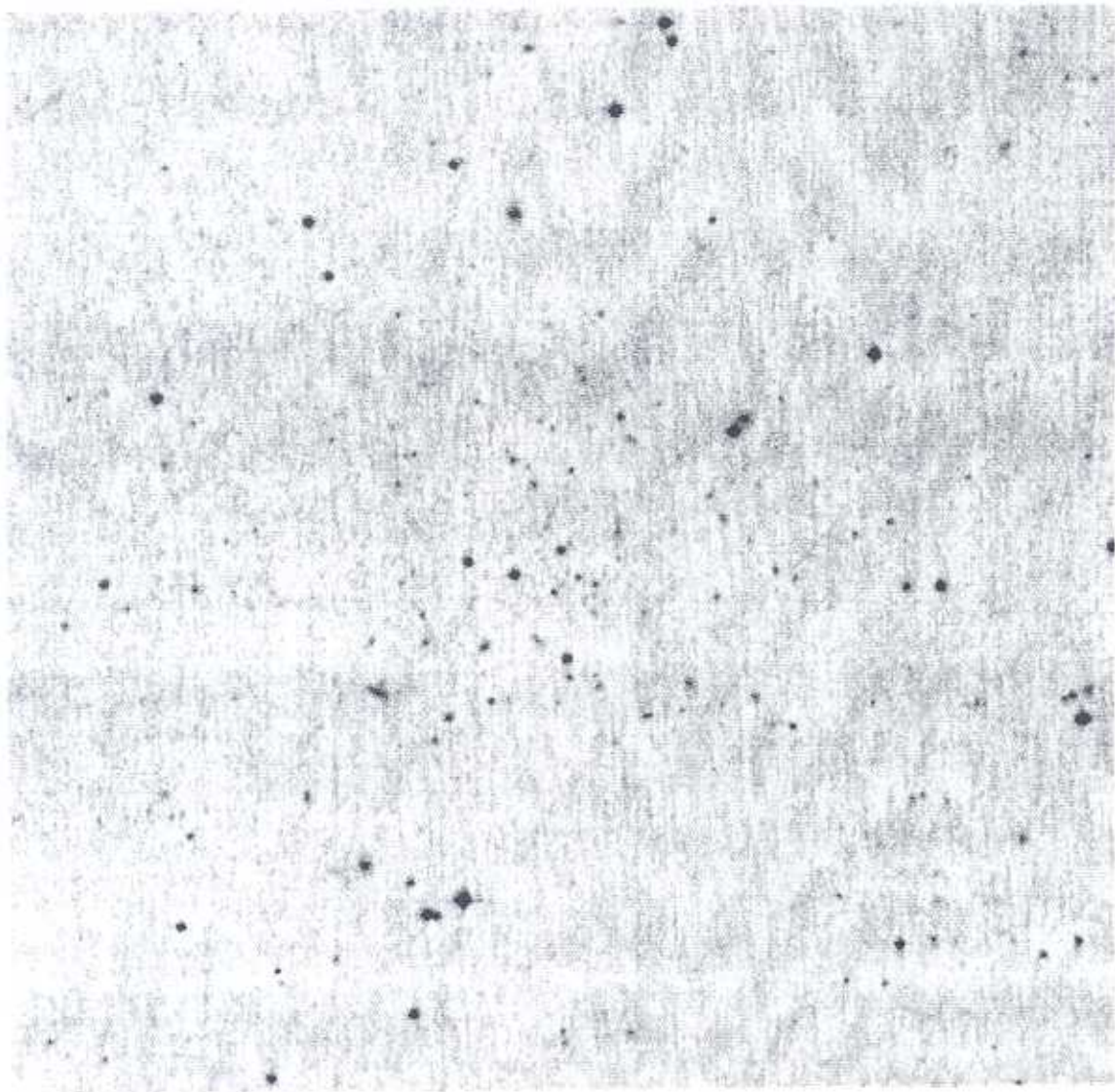
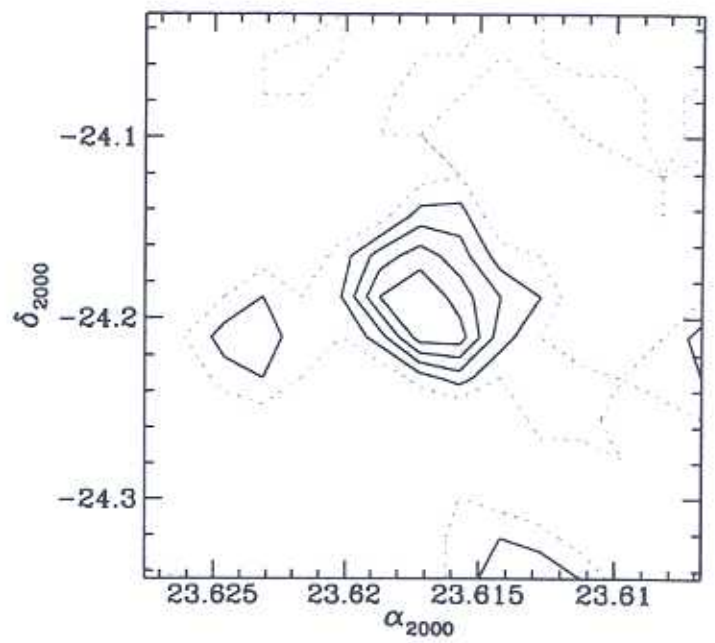
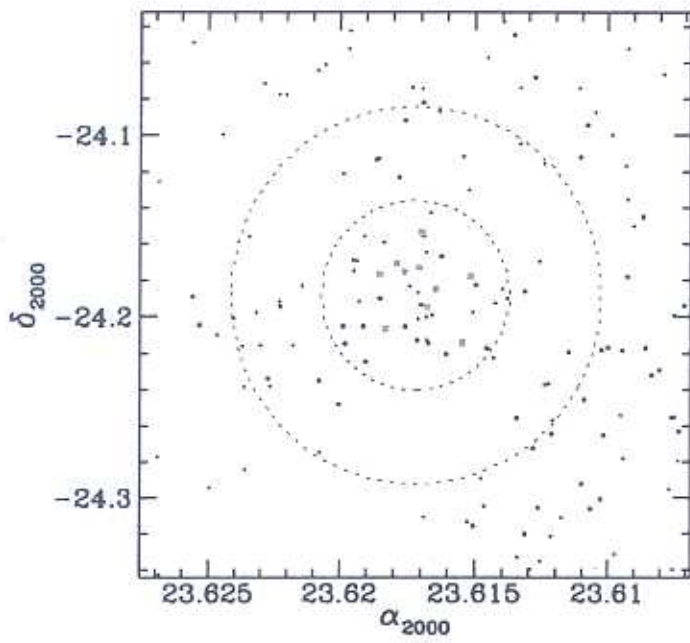


Figura C.121: AqrCC 099 — DSS 12.5' × 12.5'



AqrCC 099 (A2628)

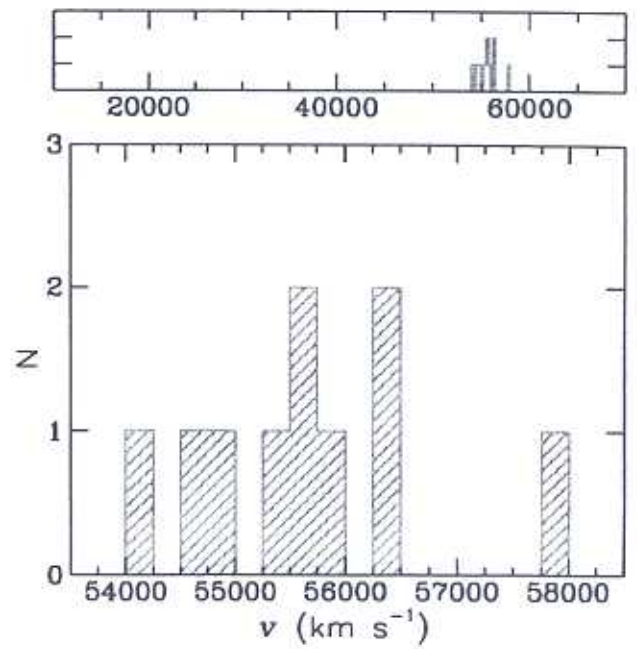
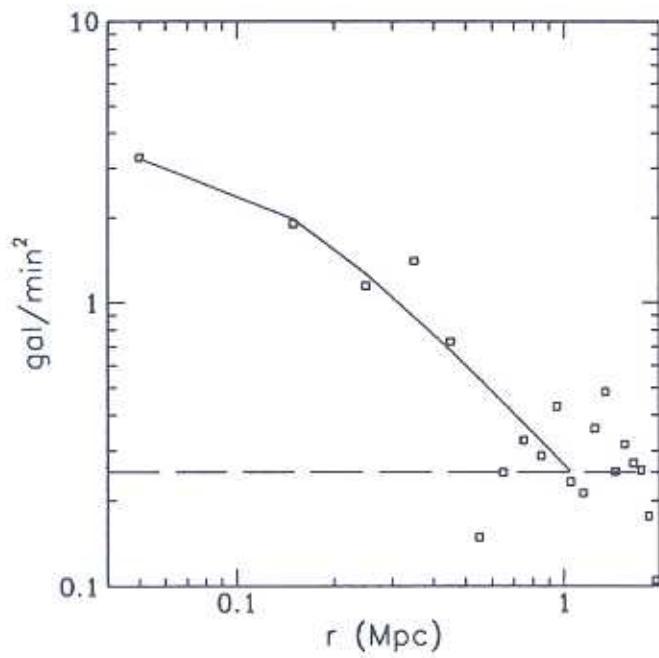


Figura C.122: AqrCC 099 — gráficos

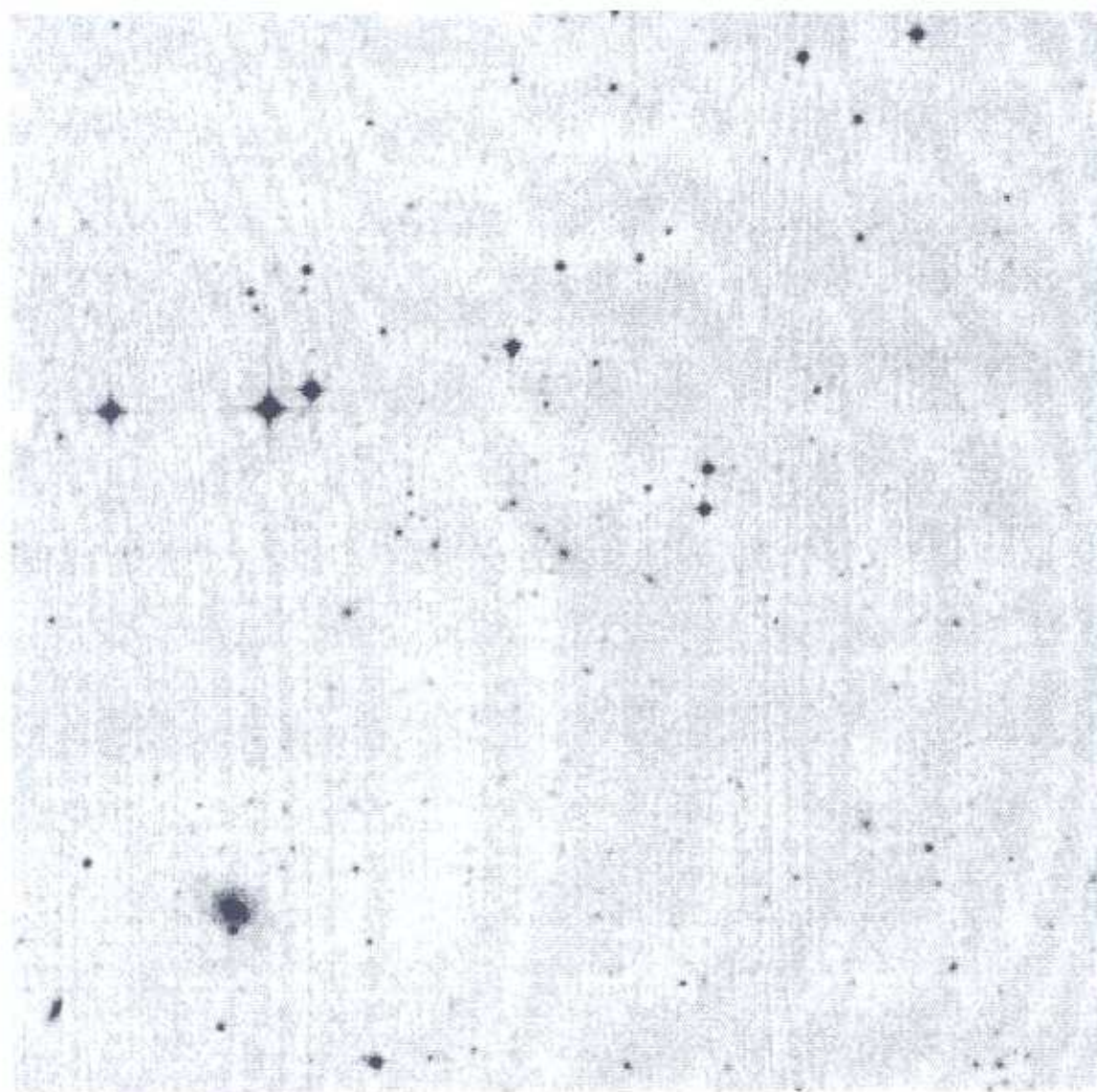
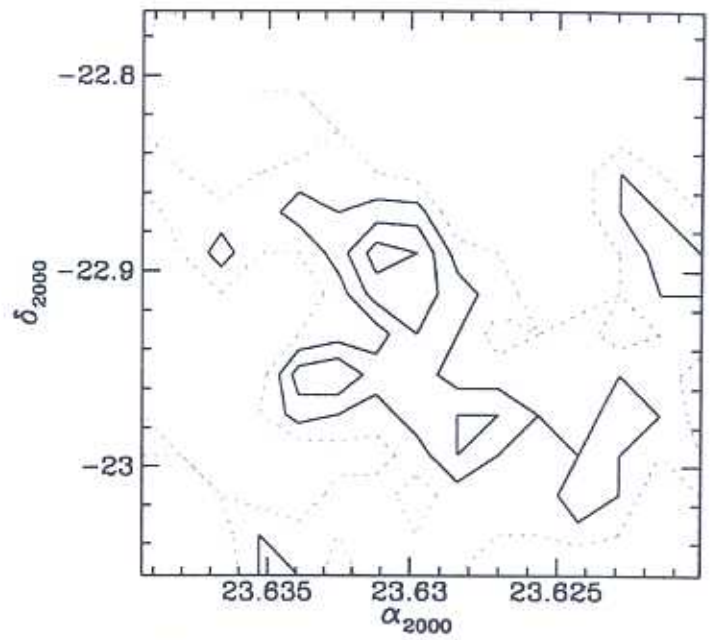
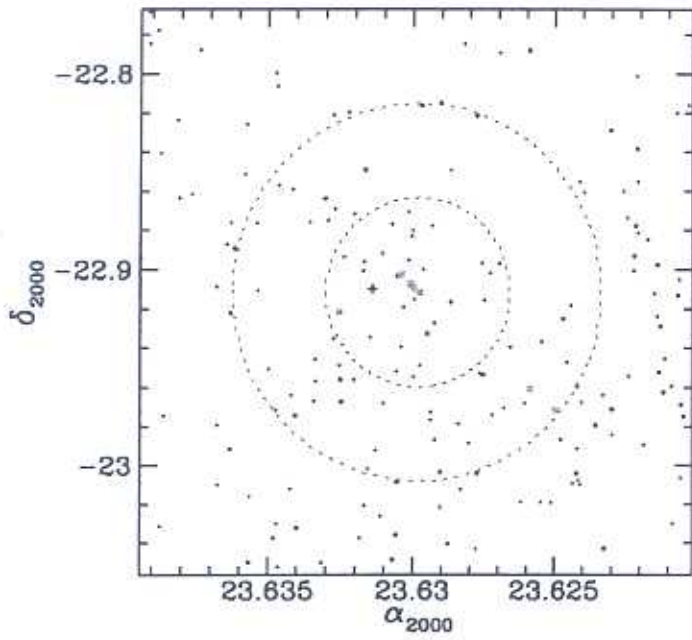


Figura C.123: AqrCC 101 — DSS 11.6' × 11.6'



AqrCC 101 (A2629)

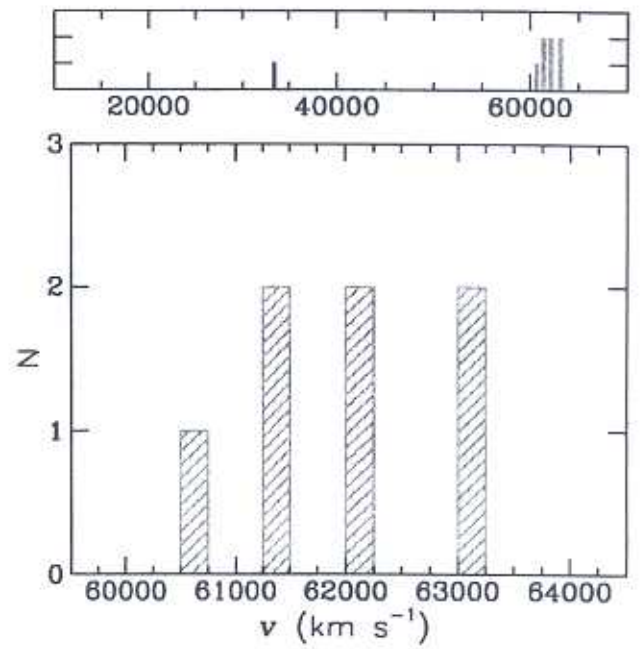
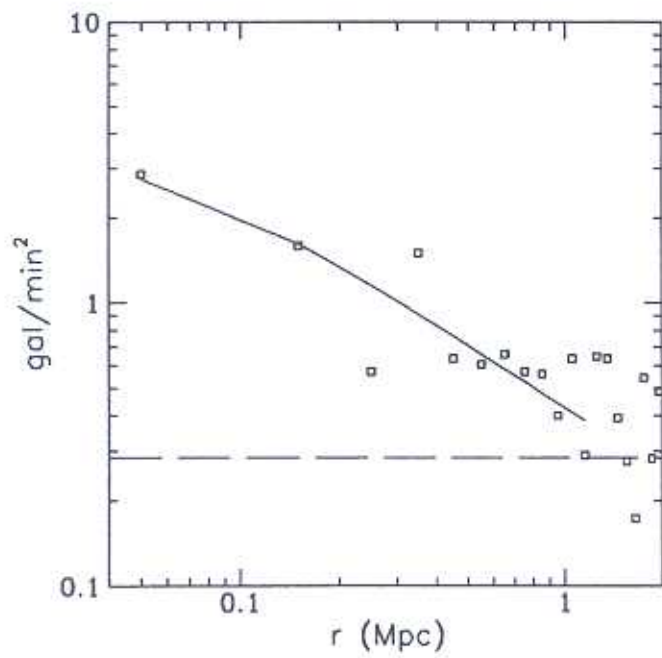


Figura C.124: AqrCC 101 — gráficos

Referências Bibliográficas

- Abell, G.O. 1958, ApJ SS 3, 211
- Abell, G.O. 1961, AJ 66, 607
- Abell, G.O., Corwin Jr., H.G., Olowin, R.P. 1989, ApJ SS 70, 1
- Abramopoulos, F., Ku, W.H.M. 1983, ApJ 271, 446
- Adami, C., Mazure, A., Katgert, P., Biviano, A. 1998, A&A 336, 63
- Alonso, M.V., Valotto, C., Lambas, D.G., Muriel, H. 1999, MNRAS 308, 618
- Bahcall, N.A., Soneira, R.M. 1984, ApJ 277, 27
- Bardelli, S., Zucca, E., Zamorani, G., Moscardini, L., Scaramella, R. 2000, MNRAS 312, 540
- Barmby, P., Huchra, J.P. 1998, AJ 115, 6
- Basilakos, S., Plionis, M., Rowan-Robinson, M. 2001, MNRAS 323, 47
- Batuski, D.J., Burns, J.O. 1985, AJ 90, 1413
- Batuski, D.J., Maurogordato, S., Balkowski, C., Olowin, R.P. 1995, A&A 294, 677
- Batuski, D.J., Miller, C.J., Slingsend, K.A., Balkowski, C., Maurogordato, S., Cayatte, V., Felenbock, P., Olowin, R. 1999, ApJ 520, 491
- Beard, S. M., MacGillivray, H. T., Thanisch, P. F. 1990, MNRAS 247, 311
- Beers, T.C., Geller, M.J., Huchra, J.P. 1982, ApJ 257, 23
- Beers, T.C., Flynn, K., Gebhardt, K. 1990, AJ 100, 32
- Bessell, M.S. 1990, PASP 102, 1181
- Bertin, E., Dennefeld, M. 1997, A&A 317, 43
- Bird, C.M. 1994, AJ 107, 1637
- Broadhurst, T.J., Ellis, R.S., Koo, D.C., Szalay, A.S. 1990, Nature 343, 726
- de Broglie, L. 1926, "*Ondes e mouvements*", Gauthier-Villars, Paris (França)

- Burles, S., Tytler, D. 1998a, *ApJ* 499, 699
- Burles, S., Tytler, D. 1998b, *ApJ* 507, 732
- Cappi, A., Maurogordato, S. 1992, *A&A* 259, 423
- Caretta, C.A., Maia, M.A.G., Willmer, C.N.A. 2000, *AJ* 119, 524
- Caretta, C.A., Maia, M.A.G., Kawasaki, W., Willmer, C.N.A. 2002, *AJ* 123, 1200
- Carlberg, R.G., Yee, H.K.C., Ellingson, E., Abraham, R., Gravel, P., Morris, S.L., Pritchett, C.J. 1996, *ApJ* 462, 32
- Carlberg, R.G., Yee, H.K.C., Ellingson, E., Morris, S.L., Abraham, R., Gravel, P., Pritchett, C.J., Smecker-Hane, T., Hartwick, F.D.A., Hesser, J.E., Hutchings, J.B., Oke, J.B. 1997a, *ApJ* 476, L7
- Carlberg, R.G., Yee, H.K.C., Ellingson, E. 1997b, *ApJ* 478, 462
- Ciardullo, R., Ford, H., Harms, R. 1985, *ApJ* 293, 69
- Colberg, J.M., White, S.D.M., Jenkins, A., Pearce, F.R. 1999, *MNRAS* 308, 593
- Colless, M., Hewett, P. 1987, *MNRAS* 224, 453
- Colless, M., et al. (The Two Degree Field Galaxy Redshift Team) 2001, *MNRAS* 328, 1039
- Collins, C.A., Guzzo, L., Nichol, R.C., Lumsden, S.L. 1995, *MNRAS* 274, 1071
- da Costa, L.N., Nunes, M.A., Pellegrini, P.S., Willmer, C.N.A., Chincarini, G., Cowan, J.J. 1986, *AJ* 91, 6
- da Costa, L.N., Pellegrini, P.S., Sargent, W.L.W., Tonry, J., Davis, M., Meiksin, A., Latham, D.W., Menzies, J.W., Coulson, I.A. 1988, *ApJ* 327, 544
- da Costa, L.N., Geller, M.J., Pellegrini, P.S., Latham, D.W., Fairall, A.P., Marzke, R.O., Willmer, C.N.A., Huchra, J.P., Calderon, J.H., Ramella, M., Kurtz, M.J. 1994, *ApJ* 424, L1
- Cunow, B., Wargau, W. F. 1994, *A&A* SS 107, 277
- Dalcanton, J.J. 1996, *ApJ* 466, 92
- Dalton, G.B., Efstathiou, G., Maddox, S.J., Sutherland, W.J. 1994, *MNRAS* 269, 151
- Dalton, G.B., Maddox, S.J., Sutherland, W.J., Efstathiou, G. 1997, *MNRAS* 289, 263
- Davies, M., Huchra, J.P., Latham, D.W., Tonry, J. 1982, *ApJ* 253, 423
- Drinkwater, M.J., Barnes, D. G., Ellison, S. L. 1995, *PASAu* 12, 248
- Duus, X., Newell, X. 1977, *ApJ* SS 35 209
- Ebeling, H., Voges, W., Böhringer, H., Edge, A.C. 1993, *A&A* 275, 360

- Ebeling, H., Voges, W., Böhringer, H., Edge, A.C., Huchra, J.P., Briel, U.G. 1996, MNRAS 281, 799
- Ebeling, H., Edge, A.C., Böhringer, H., Allen, S.W., Crawford, C.S., Fabian, A.C., Voges, W., & Huchra, J.P. 1998, MNRAS 301, 881
- Einasto, J., Jöeveer, M., Saar, E. 1980, MNRAS 193 353.
- Einasto, M., Einasto, J., Tago, E., Dalton, G.B., Andernach, H. 1994, MNRAS 269, 301
- Einasto, M., Tago, E., Jaaniste, J., Einasto, J., Andernach, H. 1996, A&A SS 123, 119
- Einasto, J., Einasto, M., Gottlöber, S., Müller, V., Saar, V., Starobinsky, A.A., Tago, E., Tucker, D., Andernach, H., Frisch, P. 1997, MNRAS 289, 801
- Einasto, M., Einasto, J., Tago, E., Müller, V., Andernach, H. 2001, AJ 122, 2222
- Einasto, M., Einasto, J., Tago, E., Andernach, H., Dalton, G.B., Müller, V. 2002, AJ 123, 51
- Einstein, A. 1905, Annalen der Physik 17, 549
- Einstein, A. 1916, Ann. Phys. 49, 769
- Elvis, M., Plummer, D., Schachter, J., Fabbiano, G. 1992, ApJ SS 80, 257
- Escalera, E., Biviano, A., Girardi, M., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mazure, A., Mezzetti, M. 1994, ApJ 423, 539
- Escalera, E., MacGillivray, H.T. 1995, A&A 298, 1
- Escalera, E., MacGillivray, H.T. 1996, A&A SS 118, 519
- Fadda, D., Girardi, M., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M. 1996, ApJ 473, 670
- Falco, E.E., Kurtz, M.J., Geller, M.J., Huchra, J.P., Peters, J., Berlind, P., Mink, D.J., Tokarz, S.P., Elwell, B. 1999, PASP 111, 438
- Fisher, K.B., Huchra, J.P., Strauss, M.A., Davis, M., Yahil, A., Schlegel, D. 1995, ApJ SS 100, 69
- Frisch, P., Einasto, J., Einasto, M., Freudling, W., Fricke, K.J., Gramann, M., Saar, V., Toomet, O. 1995, A&A 296, 611
- Fukugita, M., Shimasaku, K., Ichikawa, T. 1995, PASP 107, 945
- Gamow, G. 1948, Nature 162, 680
- Geller, M.J., Beers, T. 1982, PASP 94, 421
- Geller, M.J., Huchra, J.P. 1989, Science 246, 897
- Gioia, I.M., Maccacaro, T., Schild, R.E., Wolter, A., Stocke, J.T., Morris, S.L., Henry, J.P. 1990, ApJ SS 72, 567

- Gioia, I.M., Luppino, G.A. 1994, *ApJ* SS 94, 583
- Giovanelli, R., Haynes, M. 1985, *AJ* 90, 2445
- Girardi, M., Biviano, A., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M. 1993, *ApJ* 404, 38
- Girardi, M., Biviano, A., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M. 1995, *ApJ* 438, 527
- Girardi, M., Escalera, E., Fadda, D., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M. 1997, *ApJ* 482, 41
- Girardi, M., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M., Boschini, W. 1998a, *ApJ* 505, 74
- Girardi, M., Borgani, S., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M., 1998b, *ApJ* 506, 45
- Girardi, M., Mezzetti, M. 2001, *ApJ* 548, 79
- Gladders, M., D., & Yee, H. K. C. 2000, *AJ* , 120, 2148
- Gott III, J.R., Turner, E.L. 1977, *ApJ* 213, 309
- Grebenev, S.A., Forman, W., Jones, C., Murray, S. 1995, *ApJ* 445, 607
- Gregory, S.A., Thompson, L.A. 1978, *ApJ* 222, 784
- Gregory, S.A., Thompson, L.A., Tift, W.G. 1981, *ApJ* 243, 411
- Gregory, S.A., Thompson, L.A. 1984, *ApJ* 286, 422
- Gunn, J.E., Gott III, J.R. 1972, *ApJ* 176, 1
- Gursky, H., Kellogg, E., Murray, S., Leong, C., Tananbaum, H., Giacconi, R. 1971, *ApJ* L 167, L81
- Guth, A.H. 1981, *Phys. Rev.* 23, 347
- van Haarlem, M.P., Frenk, C.S., White, D.M. 1997, *MNRAS* 287, 817
- Hanski, M.O., Theureau, G., Ekholm, T., Teerikorpi, P. 2001, *A&A* 378, 345
- den Hartog, R., Katgert, P. 1996, *MNRAS* 279, 349
- Heisler, J., Tremaine, S., Bahcall, J.N. 1985, *ApJ* 298, 8
- Henry, J.P., Gioia, I.M., Maccacaro, T., Morris, S.L., Stocke, J.T., Wolter, A. 1992, *ApJ* 386, 408
- Hernquist L. 1990, *ApJ* 356, 359
- Heydon-Dumbleton, N. H., Collins, C. A., MacGillivray, H. T. 1989, *MNRAS* 238, 379
- Hogg, D.W. 2000, *astro-ph/9905116*
- Hubble, E. 1922, *ApJ* 56, 162
- Hubble, E. 1929, *Proc. Nat. Acad. Sci* 15, 168

- Hubble, E., Humason, M.L. 1931, ApJ 74, 43
- Hubble, E. 1936, "Realm of the Nebulae", Yale Univ. Press
- Huchra, J.P., Geller, M.J. 1982, ApJ 257, 423
- Jones, L.R., Fong, R., Shanks, T., Ellis, R.S., Peterson, B.A. 1991, MNRAS 249, 481
- Jones, C., Forman, W. 1999, ApJ 511, 65
- Kalinkov, M., Kuneva, I. 1995, A&A 113, 451
- Kalinkov, M., Valtchnov, I., Kuneva, I. 1998, A&A 331, 838
- Katgert, P., Mazure, A., Perea, J., den Hartog, R., Moles, M., Le Fèvre, O., Dubath, P., Focardi, P., Rhee, G., Jones, B., Escalera, E., Biviano, A., Gerbal, D., Giuricin, G. 1996, A&A 310, 8
- Kapahi, V.K., Athreya, R.M., Breugel, W.V., McCarthy, P.J., Subrahmanya, C.R. 1998, ApJ SS 118, 275
- Kawasaki, W., Shimasaku, K., Doi, M., Okamura, S. 1998, A&A SS 130, 567
- Kepner, J., Fan, X., Bahcall, N., Gunn, J., Lupton, R., Xu, G. 1999, ApJ 517, 78
- Kerscher, M. 1998, A&A 336, 29
- Kibblewhite, E.J., Bridgeland, M.T., Bunclark, P., Irwin, M.J. 1984. In: Astronomical Microdensitometry; NASA Conf. Publ. 2317, 277
- King, I.R. 1962, AJ 67, 471
- King, I.R. 1966, AJ 71, 64
- Klemola, A.R. 1969, AJ 74, 804
- Kolokotronis, V., Basilakos, S., Plionis, M., Georgantopoulos, I. 2001, MNRAS 320, 49
- Kopylov, A.I., Kopylova, F.G. 2001, Astronomy Letters 27, 140
- Kowalski, M.P., Ulmer, M.P., Cruddace, R.G. 1983, ApJ 268, 540
- Kowalski, M.P., Ulmer, M.P., Cruddace, R.G., Wood, K.S. 1983, ApJ SS 56, 403
- Kümmel, M.W., Wagner, S.J. 2001, A&A 370, 384
- Kurtz, M.J., Mink, D.J. 1998, PASP 110, 934
- Liddle, A.R. 1999, astro-ph/9901124
- Lidman, C.E., Peterson, B.A. 1996, AJ 112, 2454
- Longhetti, M., Rampazzo, R., Bressan, A., Chiosi, C. 1998, A&A SS 130, 267

- Lucey, J.R., Dickens, R.J., Mitchell, R.J., Dawe, J.A. 1983a, MNRAS 203, 545
- Lucey, J.R. 1983b, MNRAS 204, 33
- Lumsden, S.L., Nichol, R.C., Collins, C.A., Guzzo, L. 1992, MNRAS 258, 1
- Lumsden, S.L., Collins, C.A., Nichol, R.C., Ecke, V.R., Guzzo, L. 1997, MNRAS 290, 119
- MacGillivray, H. T., Stobie, R. S. 1984, *Vistas in Astr.* 27, 433
- Maddox, S.J., Efstathiou, G., Loveday, J. 1988, In: IAU Symp. 130, 151
- Maddox, S.J., Efstathiou, G., Sutherland, W.J., Loveday, J. 1990, MNRAS 243, 692
- Maddox, S.J., Efstathiou, G., Sutherland, W.J. 1990, MNRAS 246, 433
- Maia, M.A.G., da Costa, L.N., Latham, D.W. 1989, *ApJ SS* 69, 809
- Maia, M.A.G., da Costa, L.N. 1990, *ApJ* 352, 457
- Maia, M.A.G., Willmer, C.N.A., da Costa, L.N. 1998, *AJ* 115, 49
- Mazure, A., Katgert, P., den Hartog, R., Biviano, A., Dubath, P., Escalera, E., Focardi, P., Gerbal, D., Giuricin, G., Jones, B., Le Fèvre, O., Moles, M., Perea, J., Rhee, G. 1996, *A&A* 310, 31
- Merchán, M.E., Maia, M.A.G., Lambas, D.G. 2000, *ApJ* 545, 26
- Mitra, S. 1980, *AJ* 98, 1175
- Navarro, J.F., Frenk, C.S., White, S.D.M. 1997, *ApJ* 490, 493
- Nichol, R.C., Collins, C.A., Lumsden, S.L., 2000, *astro-ph/0008184*
- Oppenheimer, B.R., Helfand, D.J., Gaidos, E.J. 1997, *AJ* 113, 2134
- Peebles, P.J.E., Dicke, R. 1968, *ApJ* 154, 891
- Peebles, P.J.E., Schramm, D.N., Turner, E.L., Kron, R.G. 1991, *Nature* 352, 769
- Peebles, P.J.E. 1999, *PASP* 111, 274
- Penzias, A.A., Wilson, R.W. 1965, *ApJ* 142, 419
- Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G., Knop, R.A., Nugent, P., Castro, P.G., Deustua, S., Fabbro, S., Goobar, A., Groom, D.E., Hock, I.M., Kim, A.G., Kim, M. Y., Lee, J. C., Nunes, N. J., Pain, R., Pennypacker, C. R., Quimby, R., Lidman, C., Ellis, R. S., Irwin, M., McMahon, R. G., Ruiz-Lapuente, P., Walton, N., Schaefer, B., Boyle, B. J., Filippenko, A. V., Matheson, T., Fruchter, A. S., Panagia, N., Newberg, H. J. M., Couch, W. J. (The Supernova Cosmology Project Team) 1999, *ApJ* 517, 565
- Pisani, A. 1993, MNRAS 265, 706

- Pisani, A. 1996, MNRAS 278, 697
- Planck, M. 1900, Ann. Phys. 1, 69
- Postman, M., Geller, M.J., Huchra, J.P. 1988, AJ 95, 267
- Postman, M., Huchra, J.P., Geller, M.J. 1992, ApJ 384, 404
- Postman, M., Lubin, L.M., Gunn, J.E., Oke, J.B., Hoessel, J.G., Schneider, D.P., Christensen, J.A. 1996, AJ 111, 615
- Prandoni, I., Wichmann, R., da Costa, L., Benoist, C., Méndez, R., Nonino, M., Olsen, L., Wicenec, A., Zaggia, S., Bertin, E., Deul, E., Erben, T., Guarnieri, M. D., Hook, I., Hook, R., Scodreggio, M., Slijkhuis, R. 1999, A&A 345, 448
- Press, 1988, "Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computation", Cambridge Univ. Press, New York (E.U.A.)
- De Propriis, R., Couch, W. J., Colless, M., Dalton, G.B., Collins, C., Baugh, C.M., Bland-Hawthorn, J., Bridges, T., Cannon, R., Cole, S., Cross, N., Deeley, K., Driver, S.P., Efstathiou, G., Ellis, R.S., Frenk, C.S., Glazebrook, K., Jackson, C., Lahav, O., Lewis, I., Lumsden, S., Maddox, S., Madgwick, D., Moody, S., Norberg, P., Peacock, J.A., Percival, W., Peterson, B.A., Sutherland, W., Taylor, K. (2dFGRS Team) 2001, MNRAS 329, 87
- Proust, D., Cuevas, H., Capelato, H.V., Sodré Jr., L., Tomé Lehodey, B., Le Fèvre, O., Mazure, A. 2000, A&A 255, 443
- Quintana, H., Ramírez, A. 1995, ApJ SS 96, 343
- Quintana, H., Ramírez, A., Melnick, J., Raychaudhury, S., Slezak, E. 1995, AJ 110, 463
- Quintana, H., Carrasco, E.R., Reisenegger, A. 2000, AJ 120, 511
- Ramella, M., Focardi, P., Geller, M.J. 1996, A&A 312, 745
- Ramella, M., Pisani, A., Geller, M.J. 1997, AJ 113, 483
- Ramella, M., Boschin, W., Fadda, D., Nonino, M. 2001, A&A 368, 776
- Ratcliffe, A., Shanks, T., Parker, Q.A., Broadbent, A., Watson, F.G., Oates, A.P., Collins, C.A., Fong, R. 1998, MNRAS 300, 417
- Reisenegger, A., Quintana, H., Carrasco, E.R., Maze, J. 2000, AJ 120, 523
- Riess, A.G., Filippenko, A.V., Challis, P., Clocchiatti, A., Diercks, A., Garnavich, P.M., Gilliland, R.L., Hogan, C., Saurabhjha, Kirshner, R.P., Leibundgut, B., Phillips, M.M., Reiss, D., Schmidt, B.P., Schommer, R.A., Smith, R.C., Spyromilio, J., Stubbs, C., Suntzeff, N.B., Tonry, J. 1998, AJ 116, 1009
- Rood, H.J. 1976, ApJ 207, 16

- Sarazin, C.L. 1988, "*X-Ray Emission from Clusters of Galaxies*", Cambridge University Press, Cambridge (R.U.)
- Sargent, W.L.W., Turner, E.L. 1977, *ApJ* 212, L3
- Santiago, B.X., Strauss, M.A., Lahav, O., Davis, M., Dressler, A., Huchra, J.P. 1995, *ApJ* 446, 457
- Saunders, W., Frenk, C., Rowan-Robinson, M., Efstathiou, G., Lawrence, A., Kaiser, N., Ellis, R., Crawford, J., Xia, X.-Y., Parry, I. 1991, *Nature* 349, 32
- 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., Carramiana, A., Hawkins, M.R.S. 2000, *MNRAS* 317, 55
- Scaramella, R., Zamorani, G., Vettolani, G., Chincarini, G., *AJ* 101, 342
- Schechter, P. 1976, *ApJ* 203, 297
- Scodeggio et al. 1999, *A&A* 137, 83
- Sersic 1974, *Ap&SS* 28, 365
- Shane, C.D., Wirtanen, C.A. 1954, *AJ* 59, 285
- Shanks, T., Stevenson, P.R.F., Fong, T., MacGillivray, H.T. 1984, *MNRAS* 206, 767
- Shapley, H. 1933, *Proc. Nat. Acad. Sci. Washington* 19, 591
- Shectman, S.A. 1985, *ApJ* SS 57, 77
- Shectman, S.A., Landy, S.D., Oemler, A., Tucker, D.L., Lin, H., Kirshner, R.P., Schechter, P.L. 1996, *ApJ* 470, 172
- Small, T.A., Ma, C.-P., Sargent, W.L.W., Hamilton, D. 1998, *ApJ* 492, 45
- Smith, R.J., Lucey, J.R., Hudson, M.J., Schlegel, D.J., Davies, R.L. 2000, *MNRAS* 313, 469
- Smoot, G.F., Bennett, C.L., Kogut, A., Wright, E.L., Aymon, J., Boggess, N.W., Cheng, E.S., de Amici, G., Gulkis, S., Hauser, M.G., Hinshaw, G., Jackson, P.D., Janssen, M., Kaita, E., Keisall, T., Keegstra, P., Lineweaver, C., Loewenstein, K., Lubin, P., Mather, J., Meyer, S.S., Moseley, S.H., Murdock, T., Rokke, L., Silverberg, R.F., Tenorio, L., Weiss, R., Wilkinson, D.T. 1992, *ApJ* 396, L1
- Steiner, J.E., Grindlay, J.E., Maccacaro, T. 1982, *ApJ* 259, 482
- Stoche, J.T., Morris, S.L., Gioia, I.M., Maccacaro, T., Schild, R., Wolter, A., Fleming, T.A., Henry, J.P. 1991, *ApJ* SS 76, 813
- Tarengi, M., Tift, W.G., Chincarini, G., Rood, H.J., Thompson, L.A. 1980, *ApJ* 235, 724
- Tegmark, M., Zaldarriaga, M. 2000, *ApJ* 544, 30

- Thanisch, P. F., McNally, B. V., Robin, A. 1984, *Image & Vision Computing* 2, 191
- Thuan, T.X. 1980, in: *Physical Cosmology, Les Houches, Session XXXII*, eds. R. Balian, J. Audouze & D. Schramm (Amsterdam, North Holland), 277
- Tonry, J., Davis, M. 1979, *AJ* 84, 1511
- Trimble, V. 1995, *PASP* 107, 1133
- Tully, R.B. 1982, *ApJ* 257, 389
- Tully, R.B. 1987, *ApJ* 323, 1
- Turner, M.S. 1999, *PASP* 111, 264
- Ulmer, M.P., Kowalski, M.P., Cruddace, R.G., Johnson, M., Meekins, J., Smathers, H., Yentis, D., Wood, K., McNutt, D., Chubb, T.A., Byram, E.T., Friedman, H. 1981, *ApJ* 243, 681
- Tyson, J.A., Jarvis, J.F. 1979, *ApJ* 230, L153
- Valentijn, E.A., Casertano, S. 1988, *A&A* 206, 27
- Valotto, C.A., Nicotra, M.A., Muriel, H., Lambas, D.G. 1997, *ApJ* 479, 90
- de Vaucouleurs, G. 1953, *AJ* 58, 30
- Vikhlinin, A., McNamara, B.R., Forman, W., Jones, C. 1998, *ApJ* 502, 558
- Voges, W., Aschenbach, B., Boller, Th., Bräuninger, H., Briel, U., Burkert, W., Dennerl, K., Englhauser, J., Gruber, R., Haberl, F., Hartner, G., Hasinger, G., Kürster, M., Pfeffermann, E., Pietsch, W., Predehl, P., Rosso, C., Schmitt, J.H.M.M., Trümper, J., Zimmermann, H.U. 1999, *A&A* 349, 389
- West, M.J. 1989, *ApJ* 347, 610
- Willmer, C.N.A. 1990, Tese de Doutorado, Observatório Nacional, P.E.O.N. 03/1990
- Willmer, C.N.A., Focardi, P., Chan, R., Pellegrini, P.S., da Costa, L.N. 1991, *AJ* 101, 57
- Willmer, C.N.A., da Costa, L.N., Pellegrini, P.S., Fairall, A.P., Freudling, W. 1995, *AJ* 109, 61
- Willmer, C.N.A., Koo, O.C., Ellman, N., Kurtz, M.J., Szalay, A.S. 1996, *ApJ* SS 104, 199
- Wittman, D. 2001, *ApJ* 557, L89
- Wood, K.S., Meekins, J.F., Yentis, D.J., Smathers, H.W., McNutt, D.P., Bleach, R.D., Byram, E.T., Chubb, T.A., Friedman, H. 1984, *ApJ* SS 56, 507
- Yasuda, N. et al. 2001, *AJ* 122, 1104
- Yee, H.K.C., Gladders, M.D., López-Cruz, O., astro-ph/9908001

Yee, H.K.C., Gladders, M.D. 2001, astro-ph/0111431

Yentis, D. J., Cruddace, R. G., Gursky, H., Stuart, B. V., Wallin, J. F., MacGillivray, H. T., Collins, C. A. 1992. In *Digitised Optical Sky Surveys*, eds. H. T. MacGillivray & E. B. Thomson (Kluwer: Dordrecht), p. 67

Zabludoff, A.I., Huchra, J.P., Geller, M.J. 1990, ApJ SS 74, 1

Zaritsky, D., Nelson, A.E., Dalcanton, J.J., Gonzalez, A.H. 1997, ApJ 480, L91

Zel'dovich, Ya.B., Einasto, J., Shandarin, S.F. 1982, Nature 300, 407

Zucca, E., Zamorani, G., Scaramella, R., Vettolani, G. 1993, ApJ 407, 470

Zwicky, F. 1937, ApJ 86, 217

Zwicky, F., Herzog, E., Wild, P., Karpowicz, M., Kowal, C.T. 1961-1968. *Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies (CGCG)*, vol. I-VI, California Institute of Technology, Pasadena (EUA).