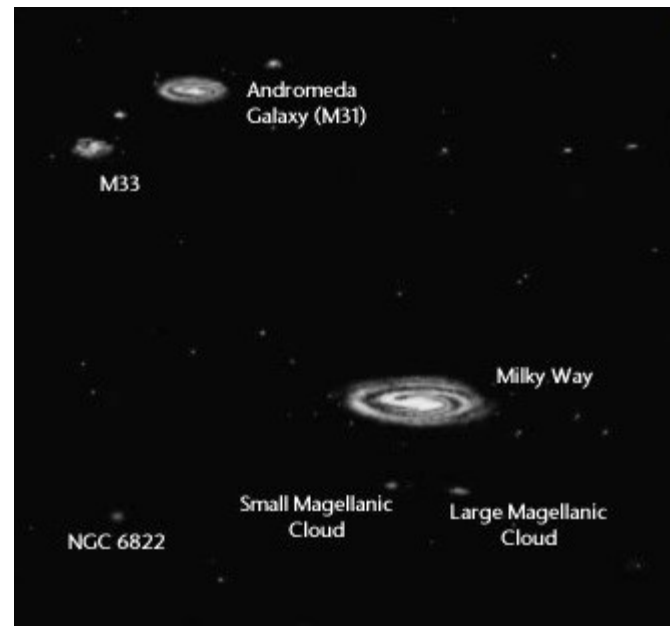
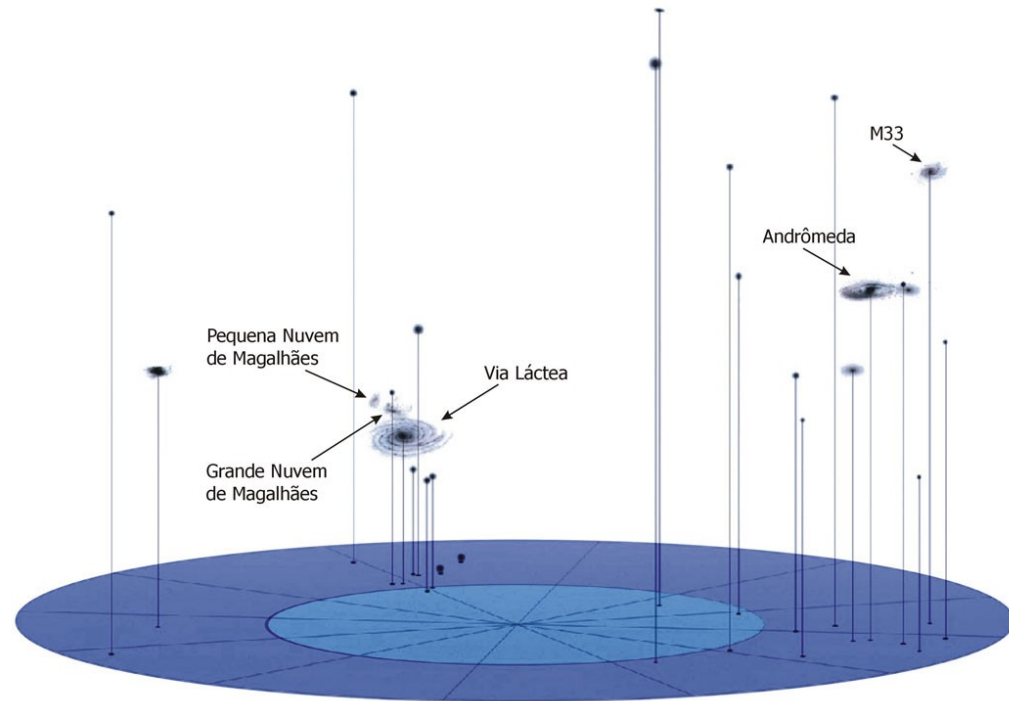


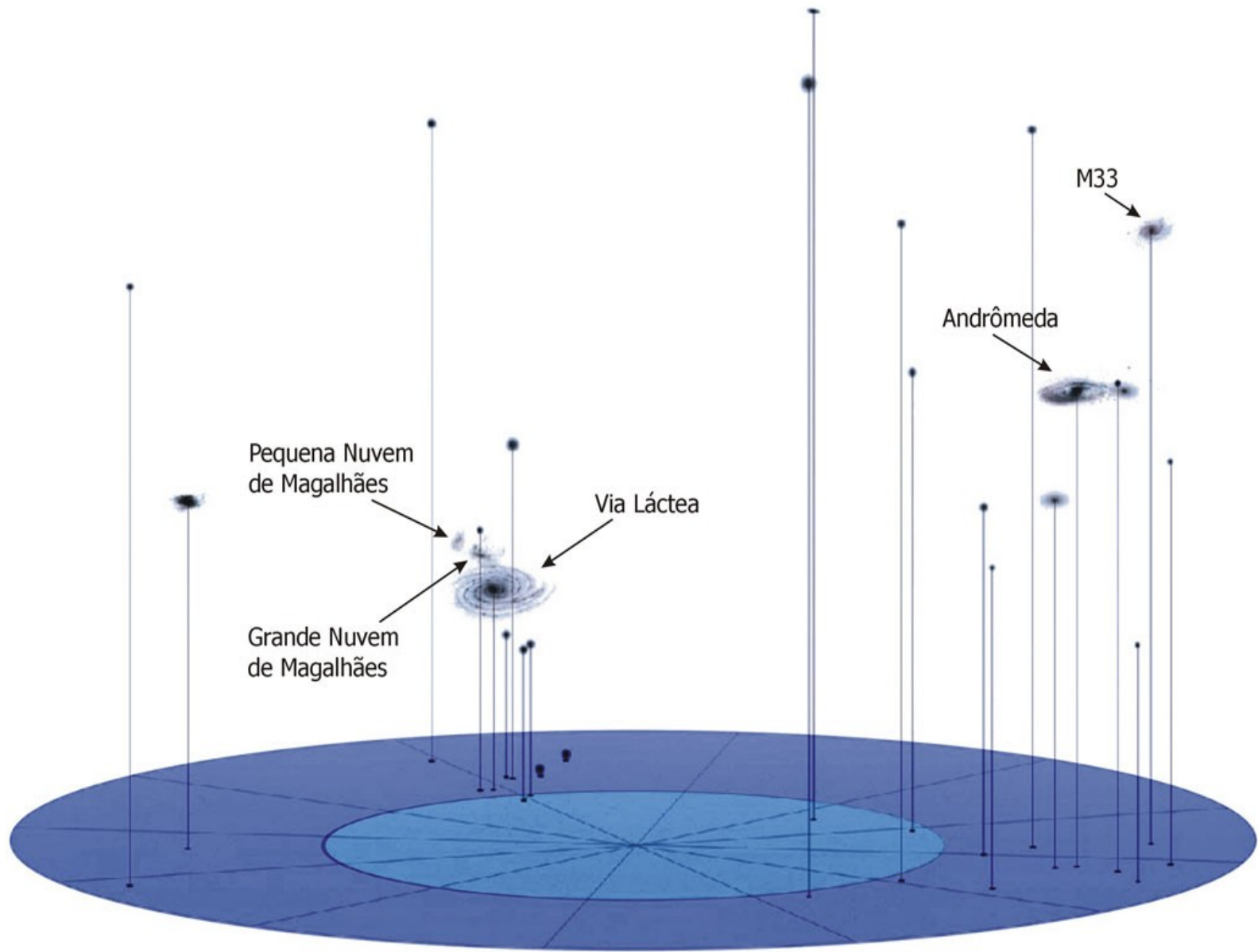
15. A distribuição de galáxias



O Grupo Local (GL)

- a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda formam um sistema binário, cada uma acompanhada por suas galáxias satélites
 - esta estrutura é denominada **Grupo Local** de galáxias
- número de galáxias >35
- tamanho ~ 1 Mpc
- massa ~ $2 \times 10^{12} M_{\odot}$



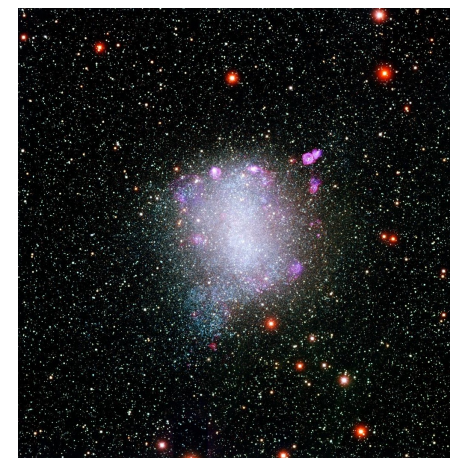
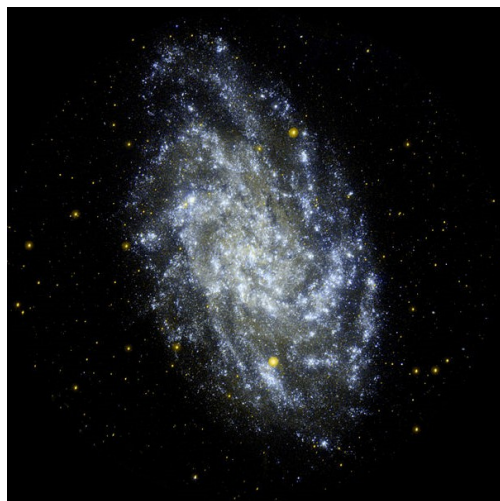


O Grupo Local

Tabela 1 - Membros brilhantes do Grupo Local

galáxia	tipo	M_V
Andrômeda = M31	Sb	-21.2
Via Láctea	Sbc	-20.9
Triângulum = M33	Sc	-18.9
LMC	Im	-18.5
M32 = NGC221	E2	-16.5
NGC6822	Im	-16.0
NGC205	dE	-16.4
SMC	Im	-17.1

O Grupo Local



galáxia	tipo	M_V
Andrômeda = M31	Sb	-21.2
Via Láctea	Sbc	-20.9
Triângulum = M33	Sc	-18.9
LMC	Im	-18.5
M32 = NGC221	E2	-16.5
NGC6822	Im	-16.0
NGC205	dE	-16.4
SMC	Im	-17.1

O Grupo Local

- Anãs irregulares (Ir) e elípticas (dE e dSph)
- WLM e Sagittarius



Tabela 2 - Galáxias do Grupo Local¹

Nome	Alias	Tipo	M_V	Dist. da VL	Dist. do centro do GL
WLM	DDO 221	Ir IV-V	-14.4	0.95 Mpc	0.81 Mpc
IC 10	UGC 192	Ir IV:	-16.3	0.66	0.27
Cetus		dSph	-10.1	0.78	0.62
NGC 147	UGC 326	Sph	-15.1	0.66	0.22
And III	A0032+36	dSph	-10.2	0.76	0.31
NGC 185	UGC 396	Sph	-15.6	0.66	0.22
NGC 205	M 110	Sph	-16.4	0.76	0.31
M 32	NGC 221	E2	-16.5	0.76	0.31
M 31	NGC 224	Sb I-II	-21.2	0.76	0.30
And I	A0043+37	dSph	-11.8	0.81	0.36
SMC		Ir IV/IV-V	-17.1	0.06	0.48
Sculptor		dSph	- 9.8	0.09	0.44
Pisces	LGS 3	dIr/dSph	-10.4	0.81	0.42
IC 1613		Ir V	-15.3	0.72	0.47
And V		dSph	- 9.1	0.81	0.37
And II		dSph	-11.8	0.68	0.26
M 33	NGC 598	Sc II-III	-18.9	0.79	0.37
Phoenix		dIr/dSph	- 9.8	0.40	0.59
Fornax		dSph	-13.1	0.14	0.45
LMC		Ir III-IV	-18.5	0.05	0.48
Carina		dSph	- 9.4	0.10	0.51
Leo A	DDO 69	Ir V	-11.5	0.69	0.88
Leo I	Regulus	dSph	-11.9	0.25	0.61
Sextans		dSph	- 9.5	0.09	0.51
Leo II	DDO 93	dSph	-10.1	0.21	0.57
Ursa Minor	DDO 199	dSph	- 8.9	0.06	0.43
Draco	DDO 208	dSph	- 8.6	0.08	0.43
Milky Way	Galaxy	S(B)bc I-II	-20.9:	0.01	0.46
Sagittarius		dSph(t)	-13.8::	0.03	0.46
SagDIG		Ir V	-12.0	1.18	1.29
NGC 6822		Ir IV-V	-16.0	0.50	0.67
Aquarius	DDO 210	V	-10.9	0.95	0.95
Tucanae		dSph	- 9.6	0.87	1.10
Cassiopeia	And VII	dSph	-12.0	0.69	0.29
Pegasus	DDO 216	Ir V	-12.3	0.76	0.44
Pegasus II	And VI	dSph	-11.3	0.78	0.38

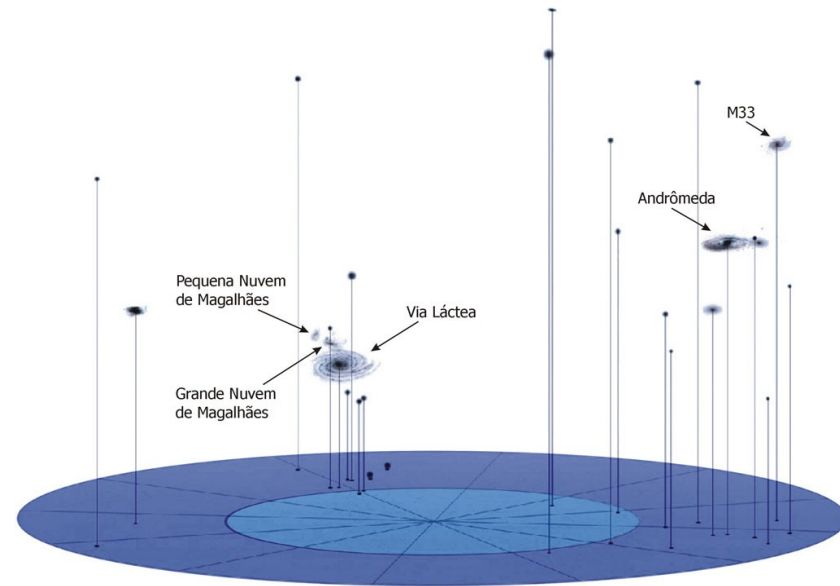
¹galáxias listadas em ordem de ascensão reta crescente

O Grupo Local

estrutura

- os membros mais luminosos estão concentrados em 2 sub-estruturas:
 - uma centrada em M31 (e que contém M33, M32 e NGC205)
 - e a outra centrada na Galáxia (e que contém LMC e SMC)
- várias outras galáxias fracas espalham-se em torno de M31 e da VL
 - LMC e SMC podem também formar um sistema binário
 - as dE e dSph do Grupo Local estão mais concentradas que as dI, que estão mais espalhadas:

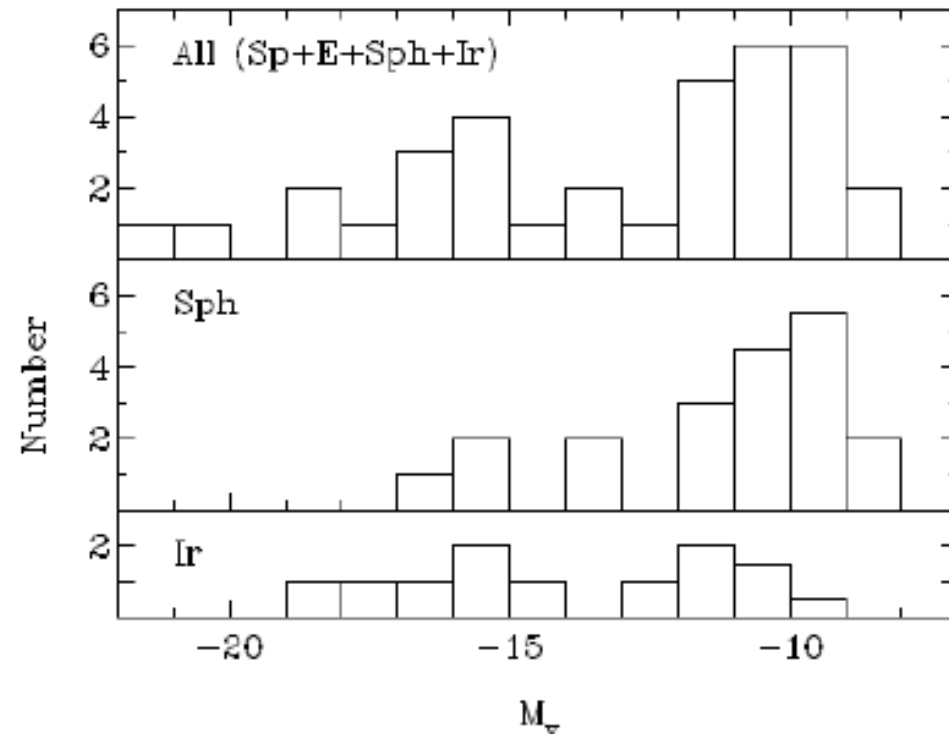
será que as dI evoluem para dE e dSph?



O Grupo Local

- função de luminosidade do GL
 - cresce lentamente para luminosidades mais fracas
 - função de Schechter: $\alpha \approx 1.1 \pm 0.1$
 - a distribuição das dl é mais achatada que a das dSph

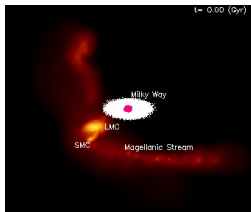
Função de luminosidade do
Grupo Local de galáxias
(Pritchet & van den Berg, 1999)



O Grupo Local

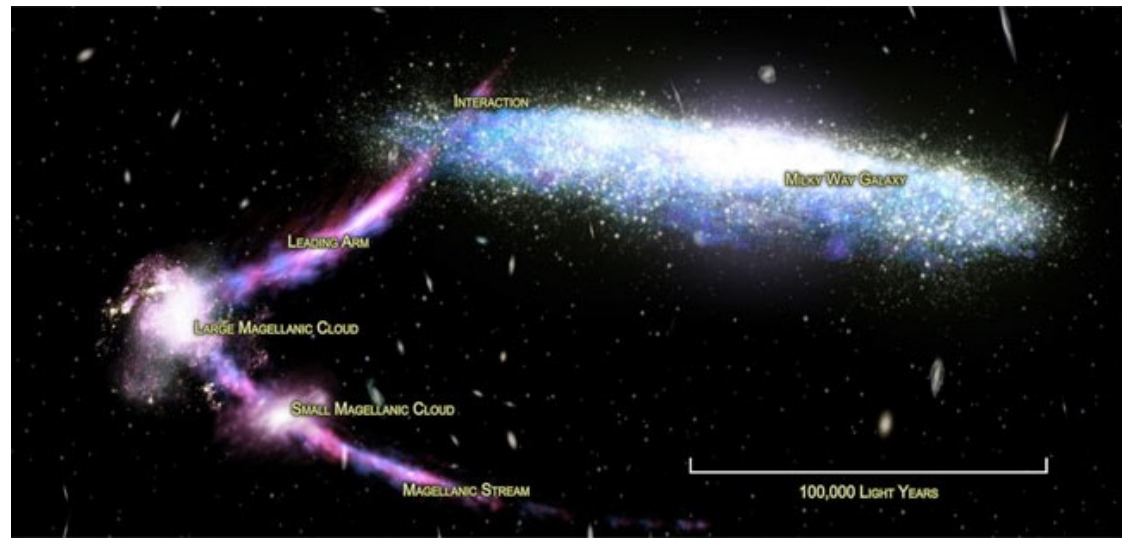
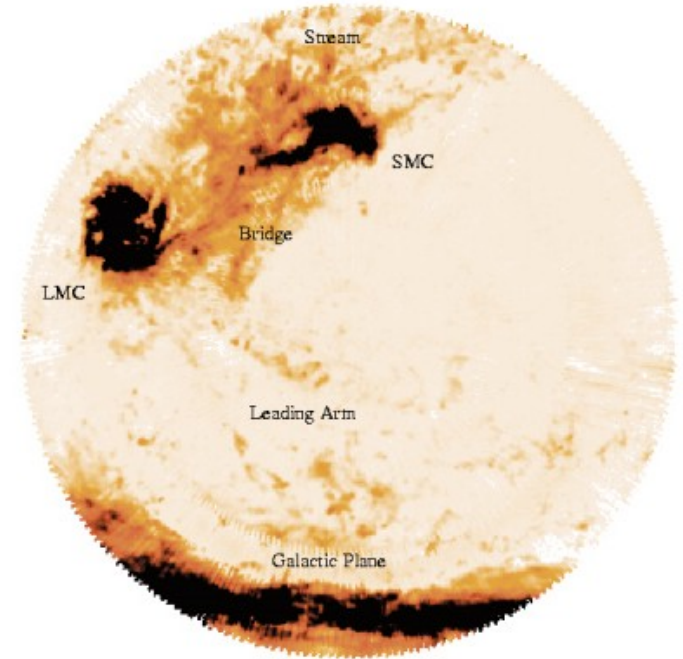
Corrente Magelânica

- em sua órbita, as nuvens de Magalhães se aproximam muito da VL, levando à compressão do gás por forças de maré e a diversos surtos de formação estelar
- isso leva à formação de uma cauda de gás e estrelas entre a VL e as Nuvens, que ocupa uns 80° no céu



Simulação:

<http://astronomy.swin.edu.au/~smaddiso/research/MS.html>

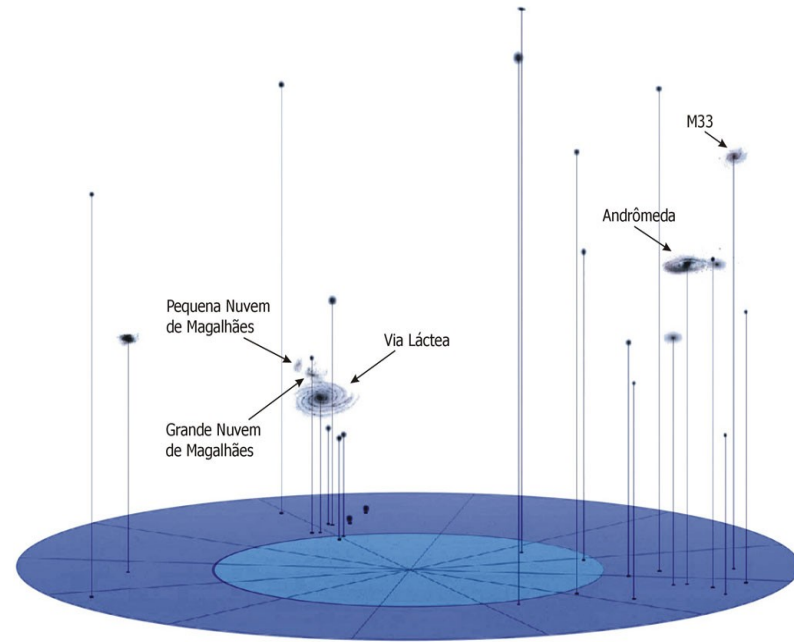


O Grupo Local

massa do Grupo Local

Courteau & van den Bergh (1999, AJ 118, 345):

- Estimam a distância de M31 em 760 kpc
- supondo equilíbrio virializado
 $\langle \sigma^2 \rangle \approx 0.4 G M / R_e$
- $\langle \sigma^2 \rangle^{1/2} \approx 106 \text{ km s}^{-1}$,
- $R_e \approx 350 \text{ kpc}$ (raio contendo metade da massa do sistema)
- logo, $M \approx (2.3 \pm 0.6) \times 10^{12} M_\odot$
- $M/L \approx 30 M_\odot / L_\odot$
- baricentro do GL: na direção de M31, a 0.6 da distância até lá



O Grupo Local

idade do Grupo Local (Courteau & van den Bergh)

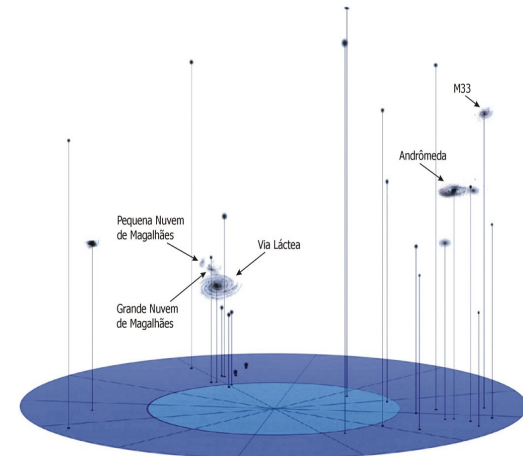
- conforme nos afastamos do centro do GL, a expansão do universo vai ficando importante, até que, a partir da “*superfície de velocidade zero*”, a expansão domina
- $r \approx 1.3 \text{ Mpc}$
- a idade do GL pode ser determinada de sua massa e do raio da superfície de velocidade zero:

$$v \sim a t_{GL} - H_0 r = 0$$

$$\text{se } a = G M / r^2,$$

$$t_{GL} \approx H_0 r^3 / G M$$

- $r \approx 1.3 \text{ Mpc}$ implica em $t_{GL} \approx 18 \pm 3 \text{ Ganos}$



O Grupo Local

evolução do GL:

- a VL e Andrômeda vão se fundir daqui a uns 3 Ganos (depende da órbita)
- energia cinética orbital é transferida para energia interna das galáxias (“aquecendo-as”)
- elas espiralam, se aproximam uma da outra e se fundem
- resultado: uma Elíptica massiva?



Simulação:

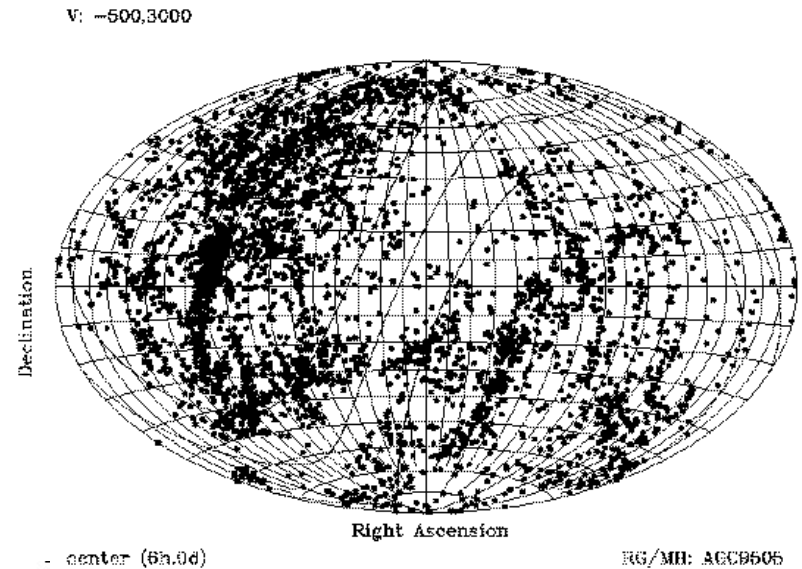
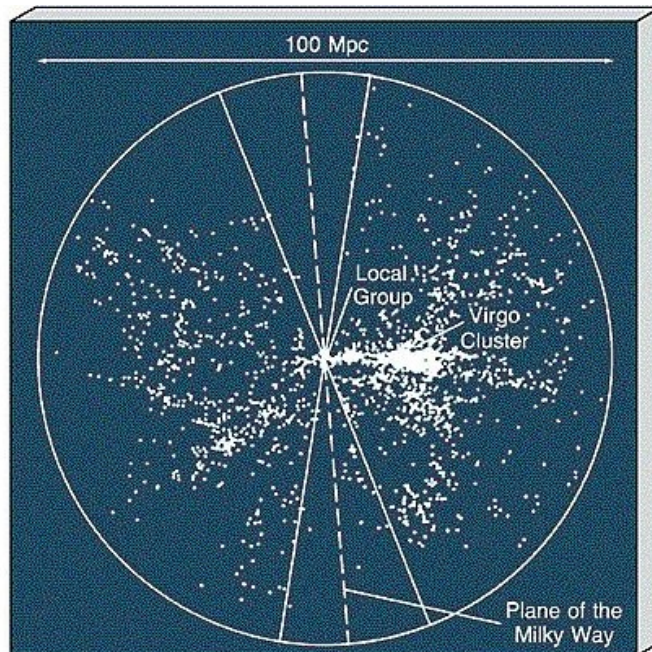
<http://www.cita.utoronto.ca/~dubinski/nbody/>



O Super-Aglomerado Local (SAL)

O Grupo Local encontra-se na periferia de uma grande estrutura achatada: o SAL

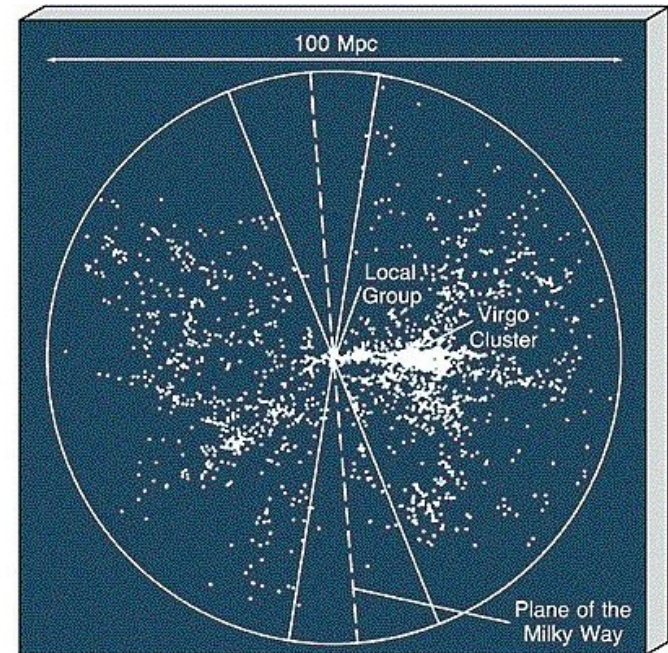
- dimensões: ~ 10 x 15 x 20 Mpc
- centro: aglomerado de galáxias de Virgo



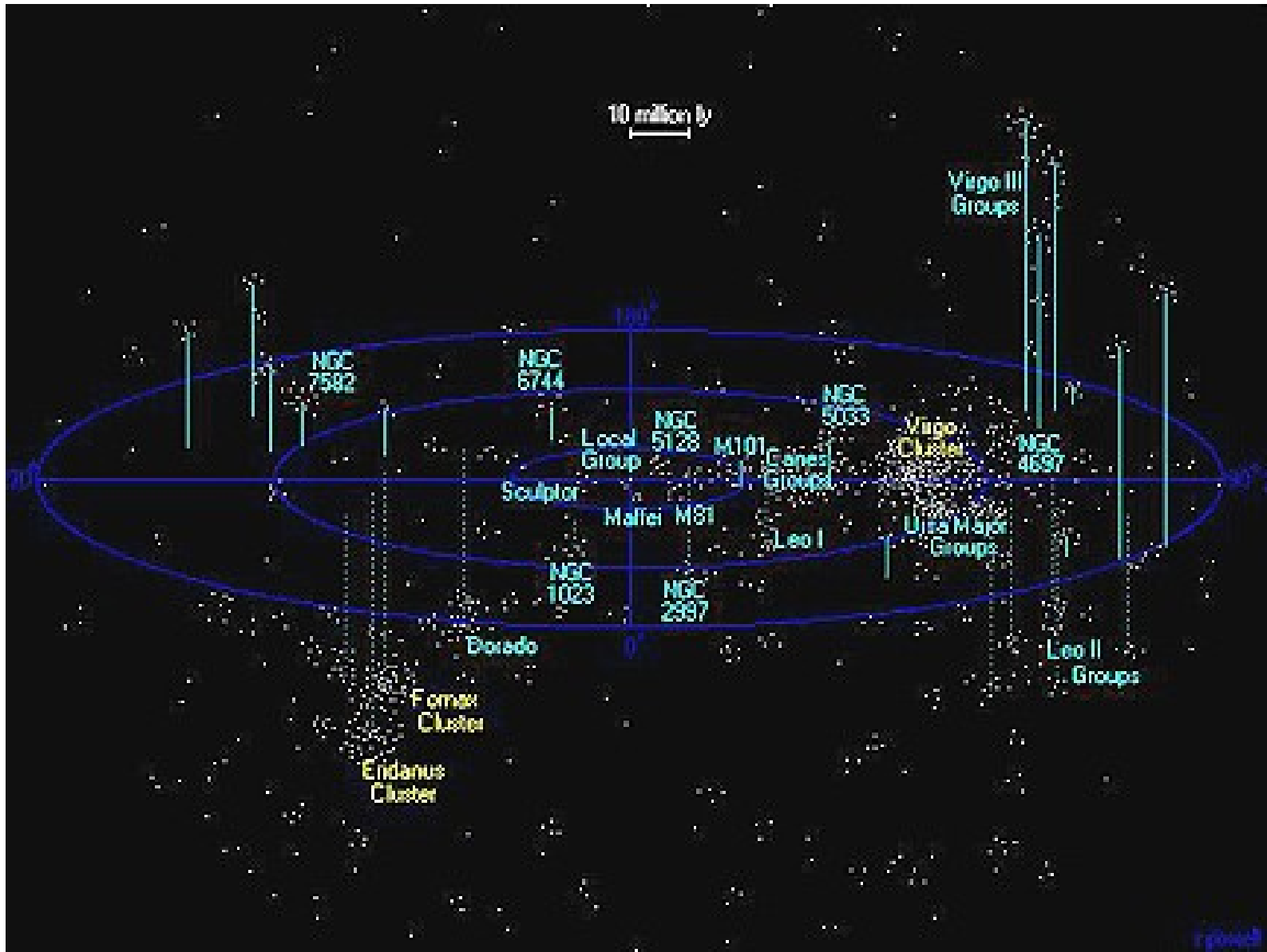
O Super-Aglomerado Local (SAL)

centro: aglomerado de galáxias de Virgo

- $d \sim 15 \text{ Mpc}$, $M \sim 10^{15} M_{\odot}$
- velocidades radiais: $< \sim 3000 \text{ km s}^{-1}$
- ~ 200 galáxias brilhantes: 60% espirais e 20% elípticas



O Super-Aglomerado Local (SAL)



O Super-Aglomerado Local (SAL)

o Grande Atrator

- velocidades peculiares: a velocidade de uma galáxia após se subtrair a velocidade de expansão:

$$v_{pec} = v - H_0 d$$

– as velocidades peculiares aparecem devido às irregularidades na distribuição de matéria

– o estudo da distribuição espacial de v_{pec} levou à proposta da existência do Grande Atrator (GA), que perturba bastante o movimento das galáxias do SAL

$$v_{pec} \sim at, \quad a \sim GM/d^2, \quad t \sim H_0^{-1}$$

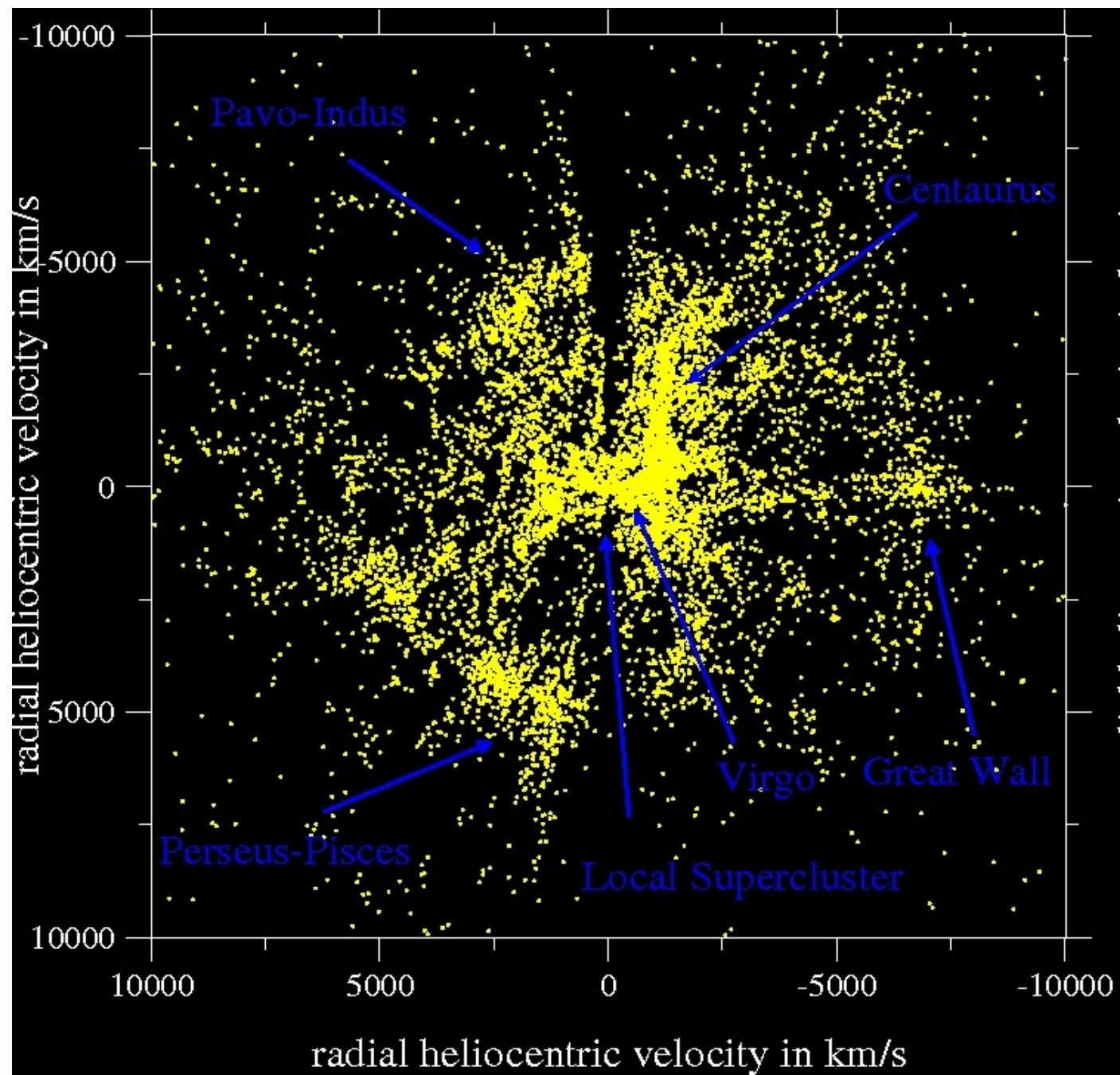
$$v_{pec} \text{ do GL: } \sim 600 \text{ km s}^{-1}$$

$$\text{se } d \sim 150 \text{ Mpc, } M \sim 5 \times 10^{16} M_{\odot}$$

- O GA é associado com aglomerados de galáxias na direção de Centaurus

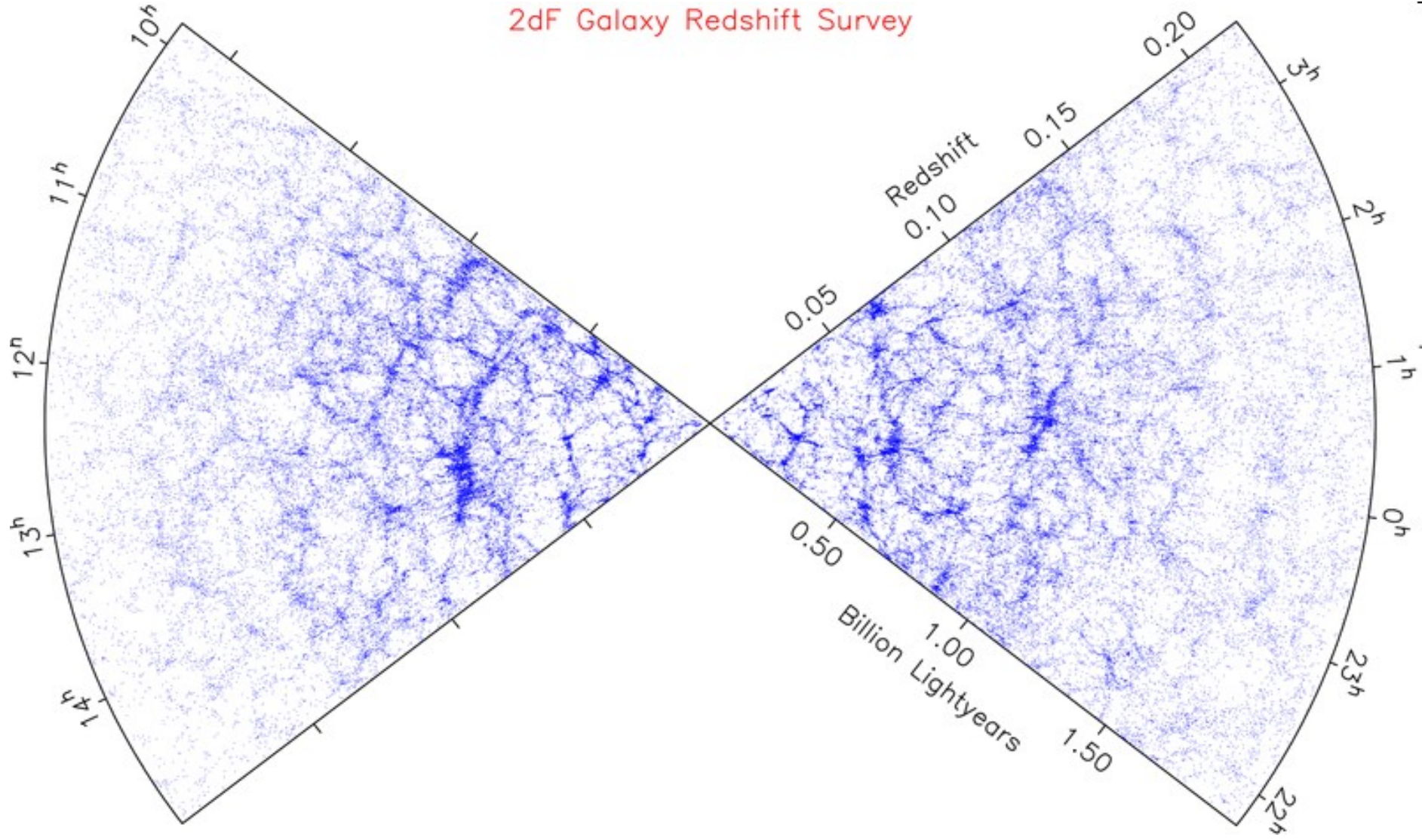
O Super-Aglomerado Local (SAL)



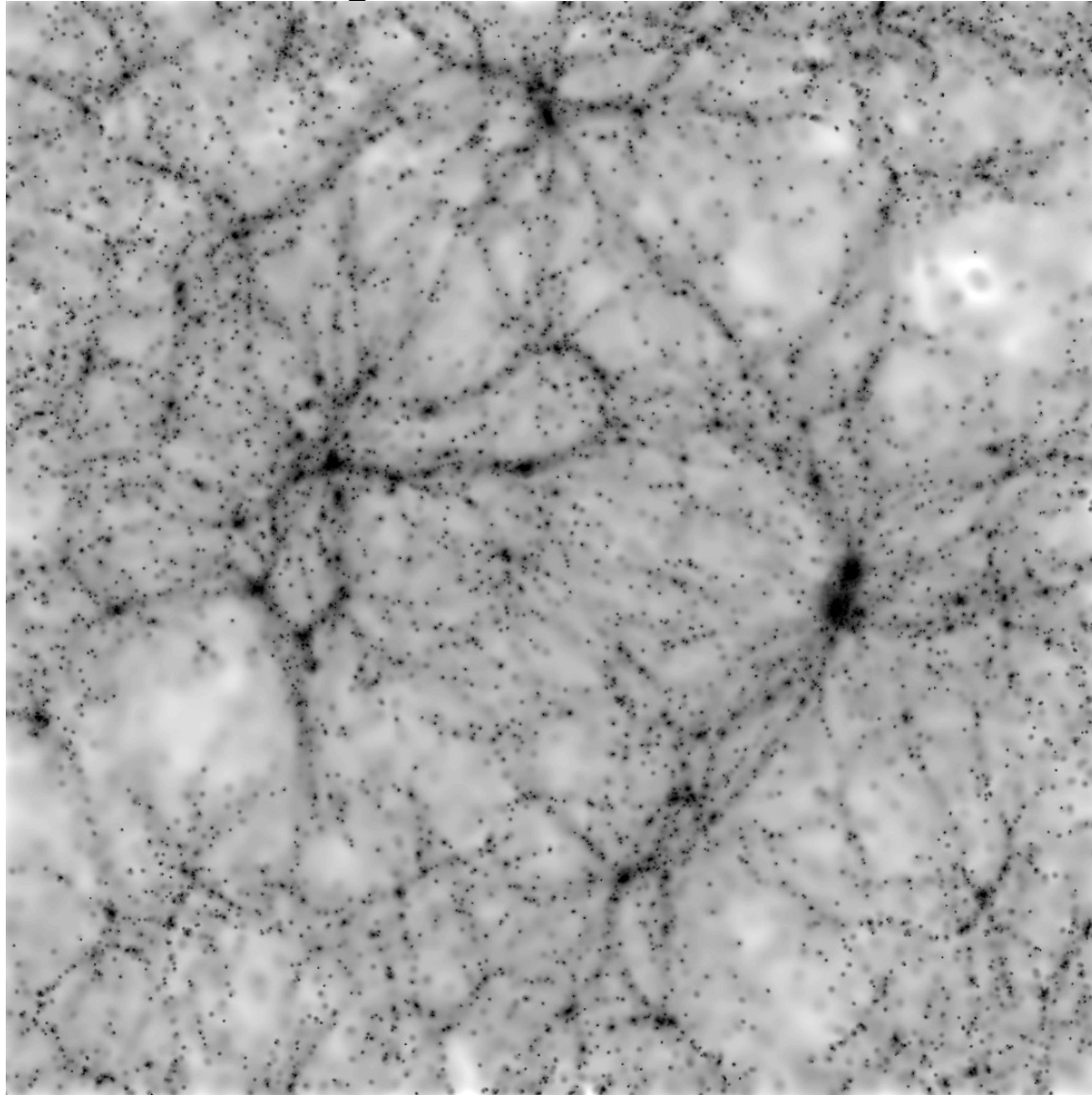


A teia cósmica

2dF Galaxy Redshift Survey



A teia cósmica simulações numéricas



Estatísticas da Distribuição de Galáxias

A estatística mais comum para analisar a distribuição das galáxias é a *função de correlação*

- suponha inicialmente que a distribuição de galáxias no espaço seja *uniforme*
 n : número médio de galáxias por unidade de volume

número esperado de galáxias dentro de um volume dV a uma distância r de outra galáxia:

$$dN = n dV$$

- para uma distribuição não-uniforme (mas isotrópica), essa relação pode ser modificada para

$$dN = n[1 + \xi(r)] dV$$

onde $\xi(r)$, a função de correlação, mede o *excesso de probabilidade, em relação à distribuição uniforme*, de se encontrar uma galáxia a uma distância r de outra

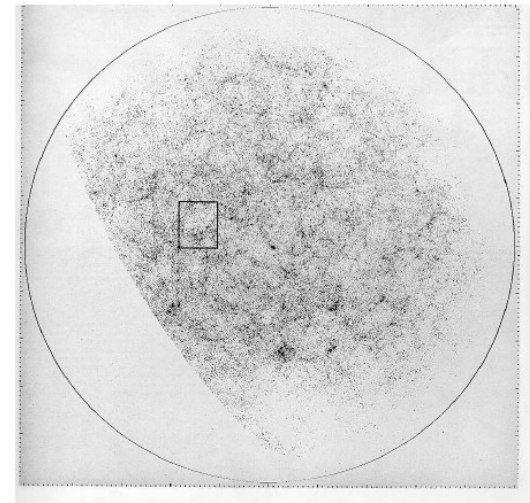


Figura 11.6: Distribuição de galáxias em grandes escalas. São mostradas $\sim 10^6$ galáxias mais brilhantes que 19 do catálogo de Shane & Wirtanen. O polo norte galáctico está no centro da figura.

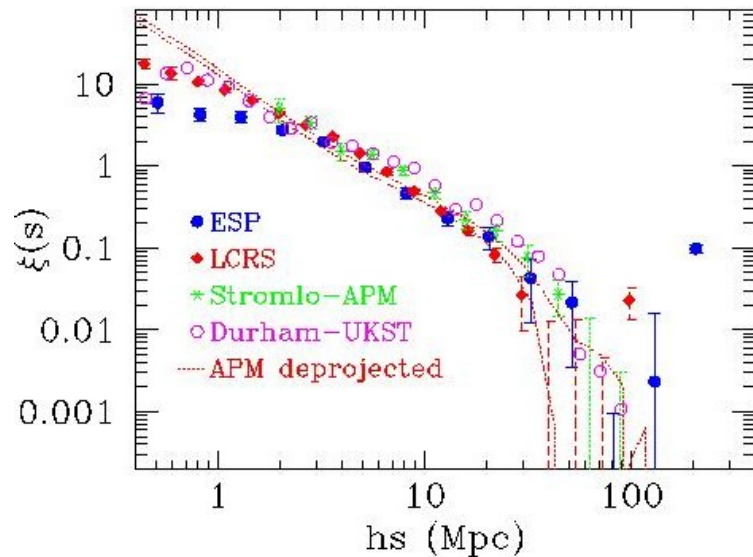
Estatísticas da Distribuição de Galáxias

- Estudos sobre a distribuição de galáxias:
para $r < 10h^{-1}$ Mpc,
 $\xi(r) \approx (r / r_0)^{-\gamma}$

$$\gamma \approx 1.8, r_0 \approx 5 h^{-1} \text{ Mpc}$$

r_0 : comprimento de correlação

a correlação entre as galáxias é produzida pela interação gravitacional entre elas



- $N(< r)$: número médio de galáxias dentro de uma distância r de outra
$$N(< r) = \int dN = 4 / 3 \pi r^3 n + 4\pi n \int_0^r r'^2 \xi(r') dr'$$

Estatísticas da Distribuição de Galáxias

o *espectro de potências* da distribuição de galáxias:

• contraste de densidade:

$$\delta(\mathbf{r}) = (\rho(\mathbf{r}) - \langle \rho \rangle) / \langle \rho \rangle$$

$\rho(\mathbf{r})$: densidade de galáxias num ponto \mathbf{r}

$\langle \rho \rangle$: densidade média de galáxias

• Transformada de Fourier do campo de densidades:

$$\delta_k = 1/V \int \delta(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r}^3$$

• espectro de potências:

$$P(k) = \langle |\delta_k|^2 \rangle$$

mede as flutuações numa dada escala

• a *função de correlação* e o *espectro de potências* da distribuição de galáxias se relacionam pela transformada de Fourier:

$$P(k) = \int \xi(r) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r}^3$$

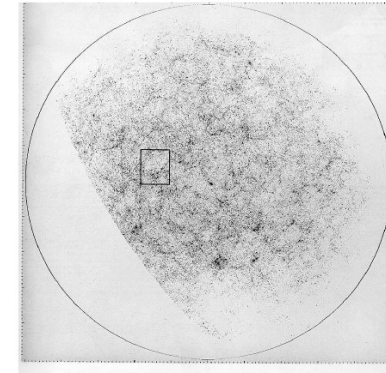
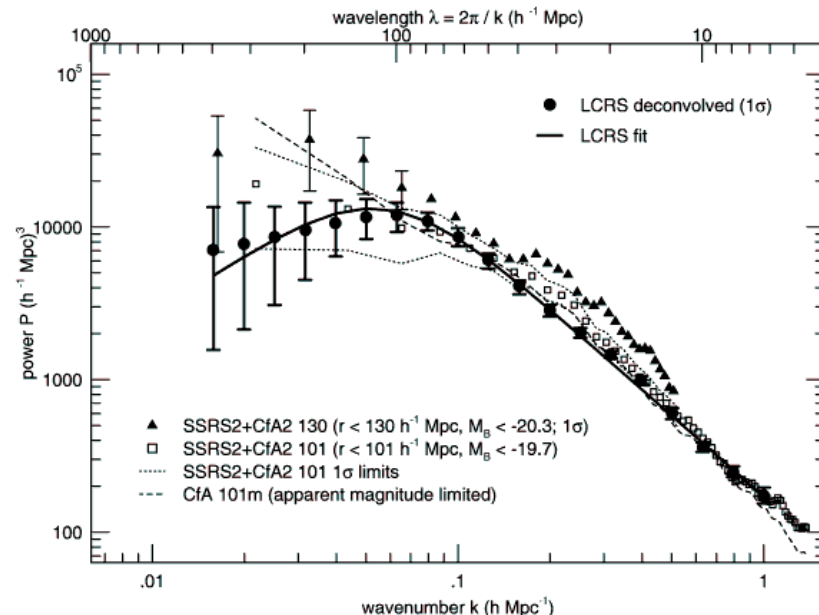
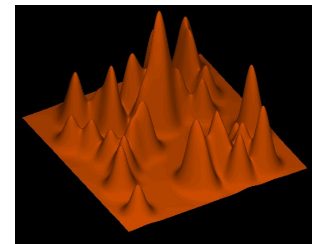
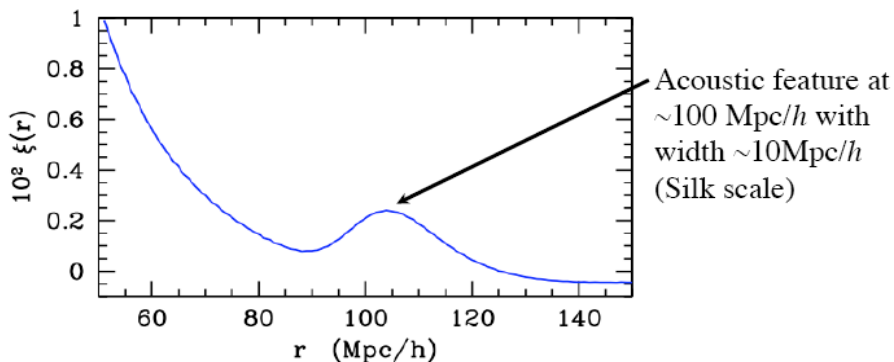
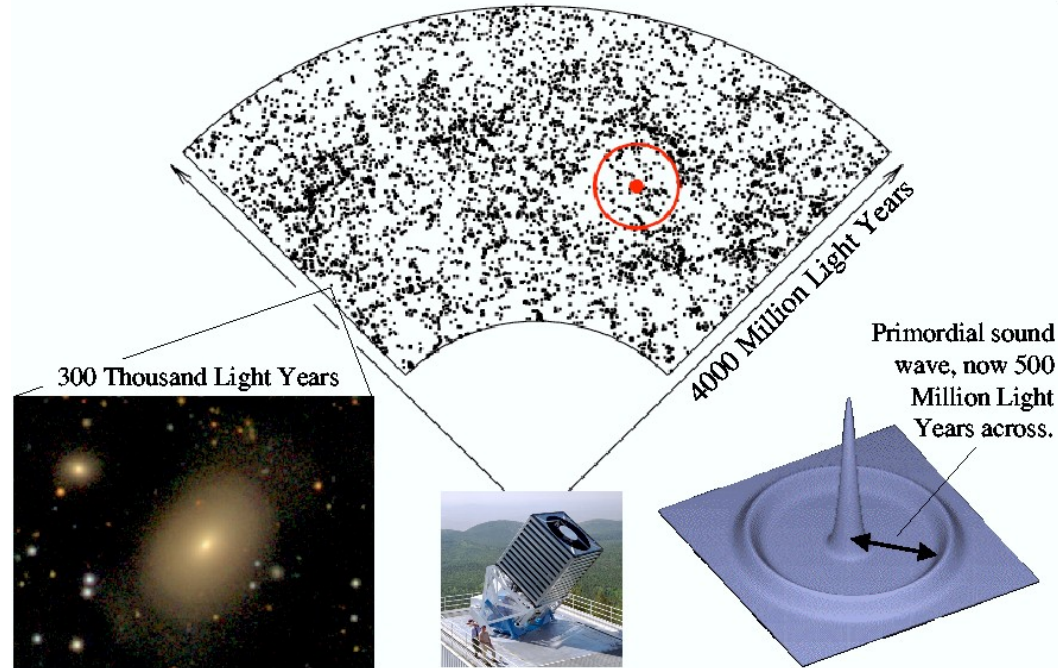


Figura 11.6: Distribuição de galáxias em grandes escalas. São mostradas $\sim 10^6$ galáxias mais brilhantes que 19 do catálogo de Shane & Wirtanen. O polo norte galáctico está no centro da figura.



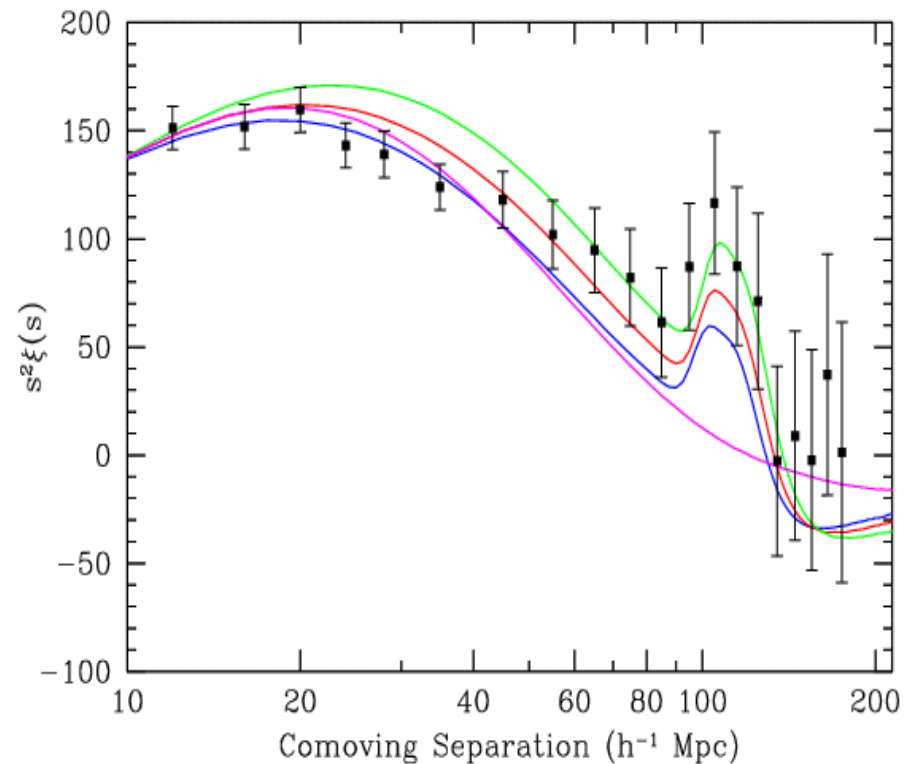
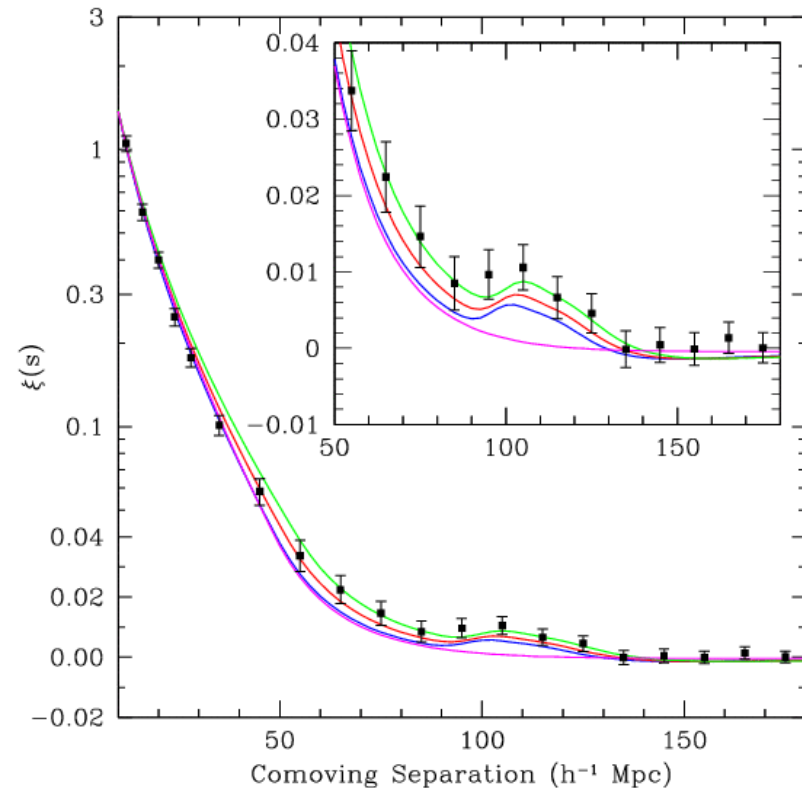
As oscilações acústicas de bárions

- Durante a Era Radiativa, a matéria bariônica se propagou na forma de ondas que viajam na velocidade do som, acoplada aos fótons
- Essas ondas formam uma casca em torno das concentrações de matéria escura
- Quando o universo fica neutro (aos 380 mil anos de idade), a matéria bariônica se desacopla dos fótons e começa a ser atraída para os halos de matéria escura, formando os corpos celestes
- As oscilações acústicas de bárions (BAO- *Baryon Acoustic Oscillation*) são a marca que as antigas cascas deixaram na distribuição de galáxias!
- Tem uma importância cosmológica muito grande: o raio da oscilação é bem conhecido!

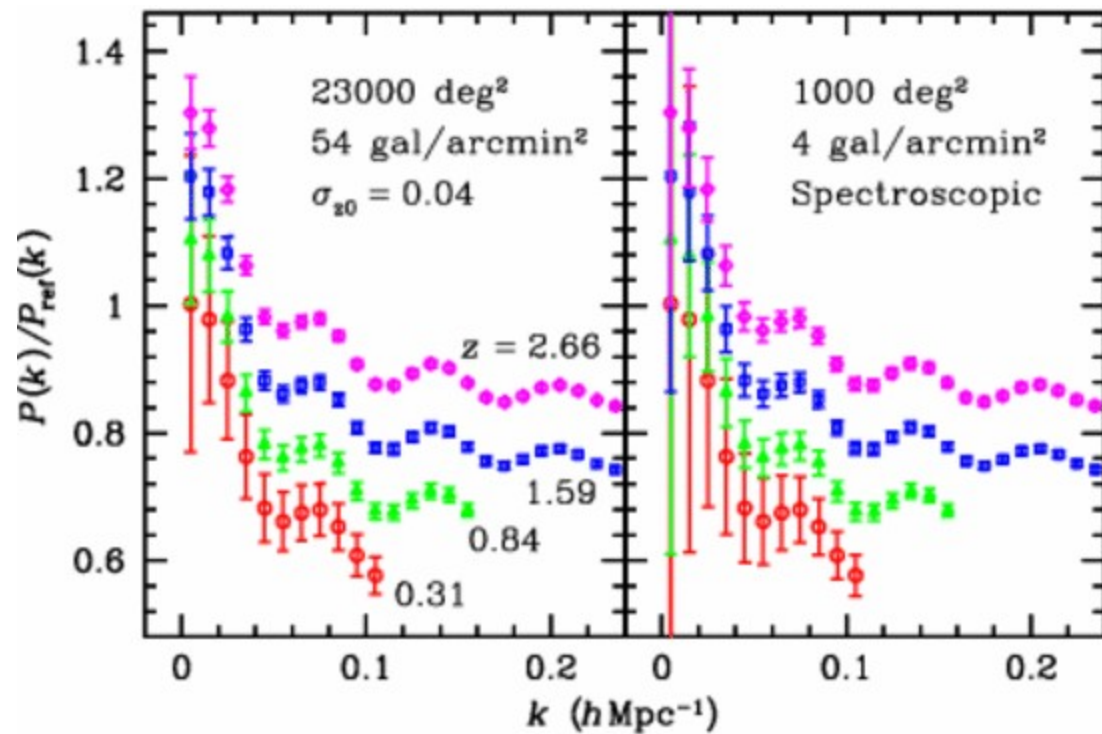
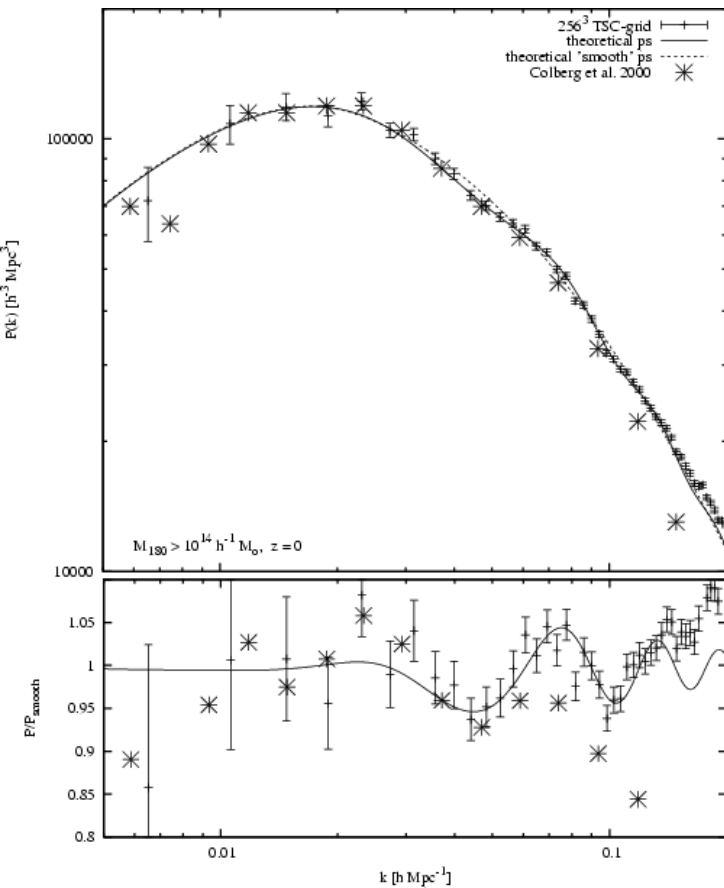


As oscilações acústicas de bárions

- oscilações de bárions na função de correlação:



- oscilações de bárions no espectro de potências:



previsões para o LSST

Estatísticas da Distribuição de Galáxias

outra estatística: a *dimensão fractal*

- se a distribuição de galáxias for puramente fractal,

$$N(< r) \propto r^{D_2}$$

D_2 : dimensão fractal (constante)

- distribuição uniforme: $D_2 = 3$
- usando $N(< r)$ acima:
 - se $\xi(r) \ll 1$, $D_2 \approx 3$
 - se $\xi(r) \gg 1$, $D_2 \approx 3 - \gamma$
- observações: a distribuição de galáxias não é puramente fractal e torna-se uniforme em grandes escalas

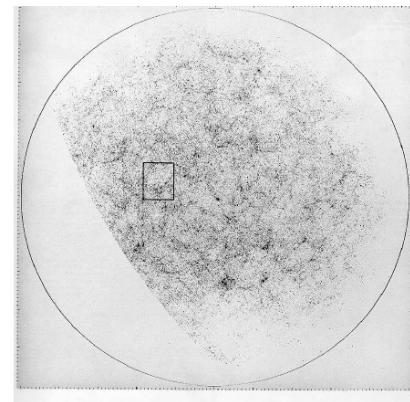


Figura 11.6: Distribuição de galáxias em grandes escalas. São mostradas $\sim 10^6$ galáxias mais brilhantes que 19 do catálogo de Shane & Wirtanen. O polo norte galáctico está no centro da figura.

Estatísticas da Distribuição de Galáxias

Tabela 1 - Dimensão Fractal D_2

amostra	profundidade (h^{-1} Mpc)	D_2
SA Pisces-Perseus	1.0 - 3.5	1.2
galáxias próximas (CfA)	1.0 - 30	2.0
Stromlo-APM	30 - 60	2.8
ESO Slice Project	300 - 400	2.93
radiação X de fundo	~ 500	$3 - D_2 \simeq 10^{-4}$
radiação de fundo em microondas	~ 1000	$3 - D_2 \simeq 2 \times 10^{-5}$

Grupos, Aglomerados, Super-Aglomerados e Vazios

pode-se identificar diversos tipos de estruturas em grandes escalas:

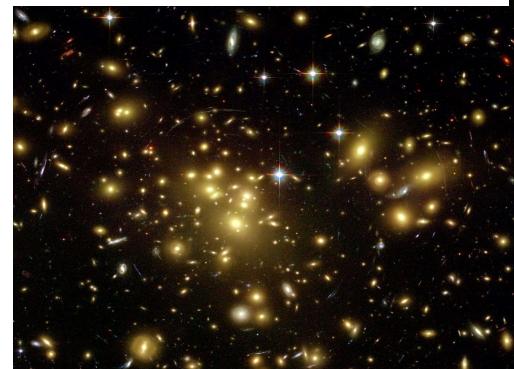
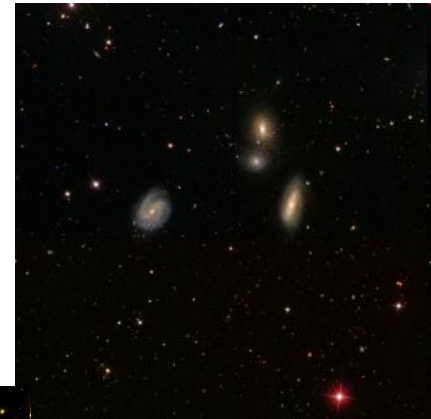
- grupos: poucas galáxias brilhantes
 $M \sim 10^{12} - 10^{14} M_{\odot}$
contraste de densidade: $\rho \sim 10$ vezes a densidade média
- aglomerados pobres: $\sim 10 - 200$ galáxias brilhantes
ex.: Virgo (~ 2500 galáxias, ~ 200 brilhantes)
- aglomerados ricos: $\sim 200 - 1000$ galáxias brilhantes
ex.: Coma (~ 1000 brilhantes)
contraste de densidade: $\rho > 200$ vezes a densidade média

$\sim 90\%$ das galáxias são membros de pequenos grupos; $\sim 5-10\%$ pertencem a aglomerados ricos

Hickson 44



NGC201



Abell 1689

Grupos, Aglomerados, Super-Aglomerados e Vazios

super-aglomerados e vazios

- SA: ~ 50 Mpc, $M \sim 10^{16} M_{\odot}$
- forma dos SA: frequentemente filamentosares ou achatados
- exemplo de SA: a “Grande Muralha” 70 x 200 Mpc
- Os aglomerados são frequentemente encontrados na conexão de vários filamentos
- contraste de densidade: $\rho \sim 2$ vezes a densidade média
- vazios: tamanhos ~ 50 Mpc não contêm galáxias brilhantes

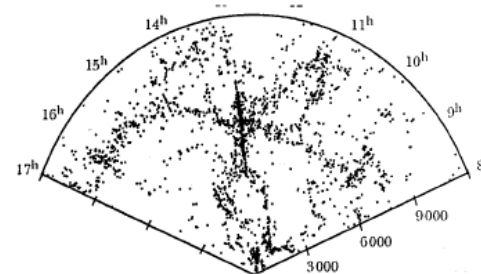
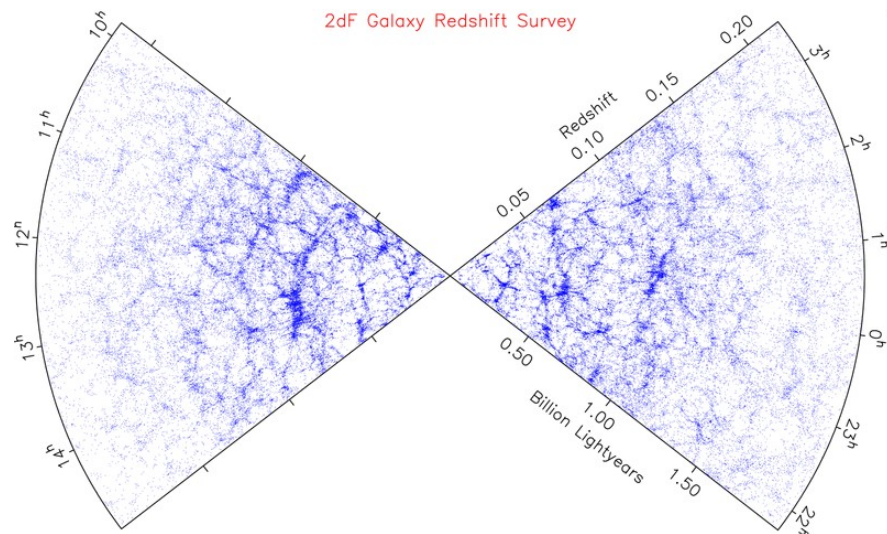
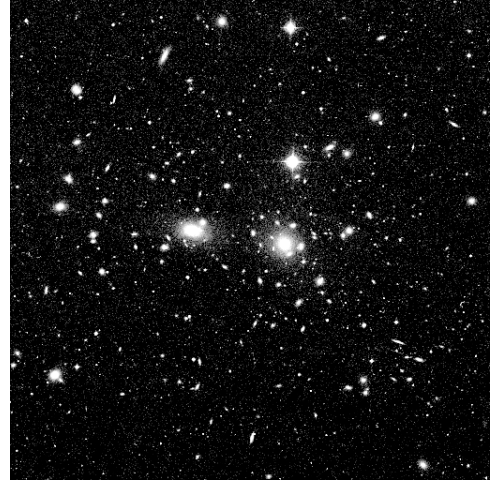
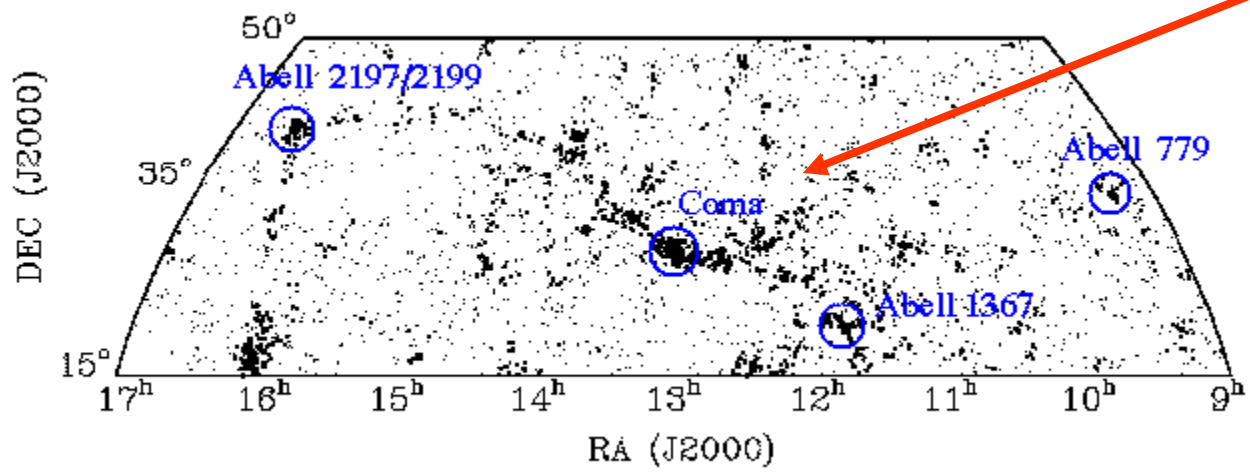
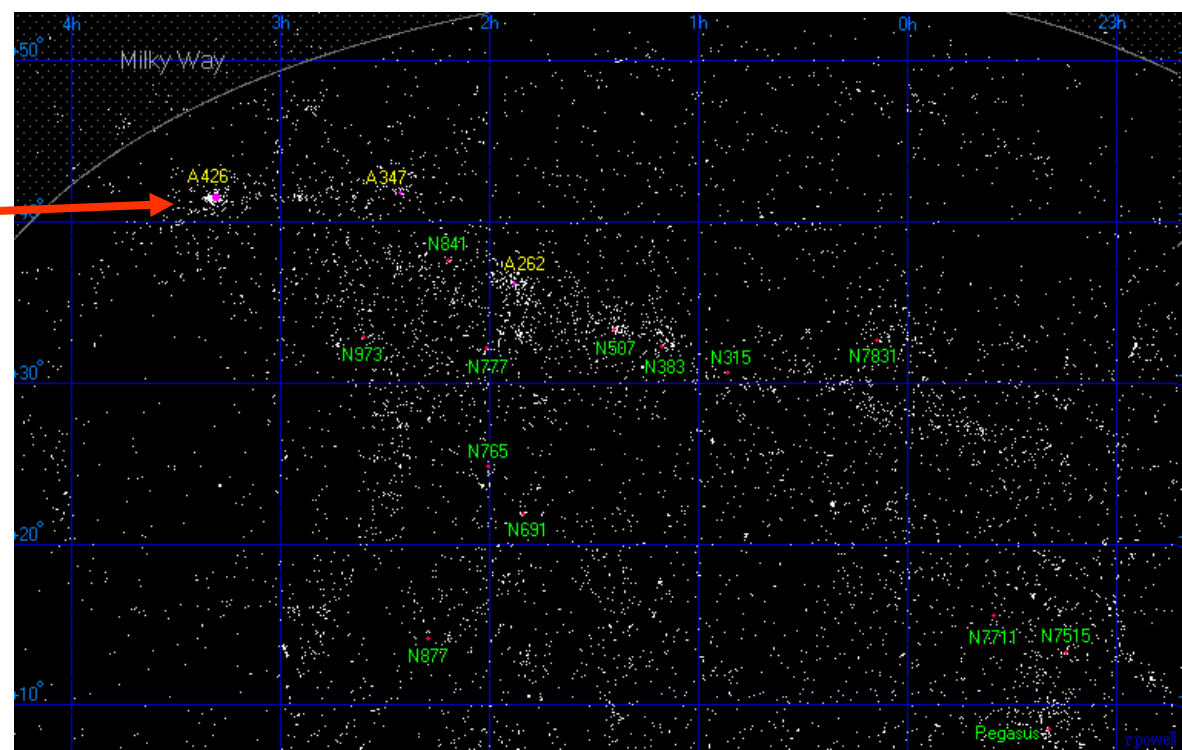


Figura 11.1: Distribuição das galáxias com velocidades radiais $< 12000 \text{ km s}^{-1}$ mais brilhantes que $m_B \simeq 15.5$ dentro de uma fatia de 12° de declinação de largura. A coordenada radial nas figuras é a velocidade radial (em km s^{-1}) e a coordenada angular é a ascensão reta das galáxias. A região mais densa, com ascensão reta $\sim 13^h$, é o aglomerado de Coma. Esta figura, devido à forma da distribuição de galáxias, é conhecida como o “homínculo”.



Perseus-Pisces

Aglomerado de Perseus
A426



Exercícios

1. Investigue quem é e quais são as propriedades da galáxia WLM.
2. NGC 4321 tem 6 anãs companheiras. Localize-as usando o DSS.
3. A densidade média de galáxias “brilhantes” (isto é, com $M_B \geq -19.5 + 5 \log h$) é $\approx 0.010 h^3$ galáxias Mpc^{-3} . Qual é o número esperado dessas galáxias dentro de uma distância de 1 Mpc de uma outra galáxia? Compare com o que acontece no Grupo Local. Use $h = 0.7$.