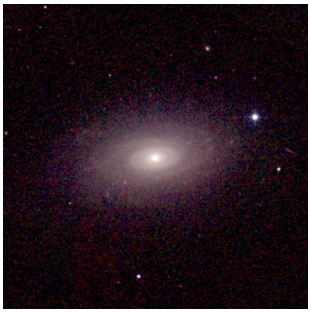
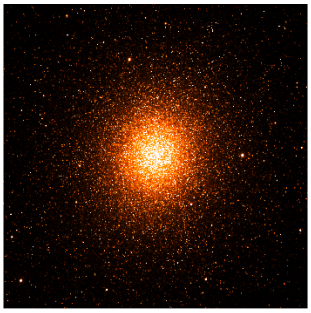
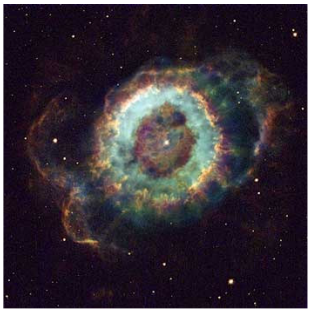
1.1 Historia, Descoberta das Galáxias

A descoberta das galáxias como sistemas exteriores a Via Lactea aconteceu no ano 1923, como conseqüência das pesquisas realizadas por Eddwin Hubble com o telescópio de 2.5 de Mount Wilson, Califórnia, Estados Unidos. Anteriormente todos os objetos extensos, galáxias, aglomerados estelares, nebulosas planetárias eram classificadas como nebulosas.


Galáxia espiral

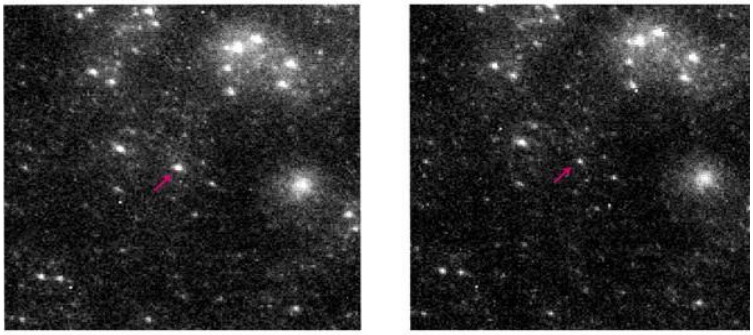

Aglomerado estelar


Nebulosa planétaria

Até 1908, cerca de 15 000 nebulosas haviam sido catalogadas e descritas. Algumas haviam sido corretamente identificadas como aglomerados estelares, e outras como nebulosas gasosas. A maioria, porém, permanecia com natureza inexplicada. O problema maior era que a distância a elas não era conhecida, portanto não era possível saber se elas pertenciam à nossa Galáxia ou não.

Em 1923 ***Edwin Powell Hubble*** (1889-1953) proporcionou a evidência definitiva para considerar as "nebulosas espirais" como galáxias independentes, ao identificar uma variável Cefeída na "nebulosa" de Andrômeda (M31).

Andrômeda M31



Cefeída identificada em IC4182 com o HST

A partir da relação conhecida entre período e luminosidade das Cefeidas da nossa Galáxia e do modulo de distancia:

$$M_v=-3.425\log P+2.52(B-V)-2.459 \qquad V-M_v = -5+5\log d+ A_v$$

e do brilho aparente das Cefeídas (V) de Andrômeda, Hubble pode calcular a distância entre esta e a Via Láctea, obtendo um valor de 2,2 milhões de anos-luz. Isso situava Andrômeda bem além dos limites da nossa Galáxia, que tem 100 mil anos-luz de diâmetro. Ficou assim provado que Andrômeda era um sistema estelar independente.

1.2 Catálogos

A confusão histórica entre galáxias, aglomerados, e regiões HII, é evidente nos primeiros catálogos de objetos nebulares como o catálogo de Messier (1794) que contem 39 galáxias e 109 objetos nebulares mais aglomerados estelares.
As galáxias mais brilhantes do Céu são freqüentemente identificadas por seu numero no catalogo de Messier, por exemplo Andrômeda como M 31. Outros Catálogos continuaram mantendo a mesma classificação , o "New General Catalogue (**NGC**) (H. Dreyer 1890) contem 7840 objetos dos quais 3200 são galáxias. O Index Catalogue (**IC**) (1895-1910) contem 5836 objetos dos quais 2400 são galáxias. O primeiro catálogo que unicamente contem galáxias (1249 galáxias mais brilhantes, que magnitude fotográfica m=13, é o Harvard Catalogue (Shapley and Ames 1932).
. Somente três galáxias, Andrômeda e as Nuvens de Magalhães podem ser observados a olho nu (porque são mais brilhantes que V < 6 magnitudes)

Figura: Esquerda Andrômeda, direita Nuvem Maior de Magalhães, abaixo Nuvem Menor de Magalhães

O numero de galáxias aumenta na medida que o limite de magnitude aumenta no sentido de detectar objetos mais fracos, assim ate V =17, existem catalogadas 500000 galáxias e ate V =23 existem aproximadamente 10^9 galáxias

Escala = 1 minuto de arco

Imagem de longa exposição do telescópio Espacial Hubble, mostrando que todos os tipos de galáxias já eram encontradas no passado remoto (idade > 10^{10} Anos) e a variedade de formas das galáxias

Para conhecer e estudar as galáxias é preciso iniciar descrevendo os principais tipos e classificações e a as propriedades de cada um deles e como que estão relacionadas com a formação e evolução das galáxias .

Informações sobre a posição, magnitude , velocidade radial etc são encontrados nos catálogos de galáxias tais como RC3, RC4 (de Voucouleurs et al). Atualmente existem bancos de dados na INTERNET construídos com os principais catálogos. Informação de magnitude, velocidade radial, imagens, e bibliografia sobre a galáxia encontra-se em **www.ned.ipac.caltech.edu**.

Os Catálogos tem como base, os dados extraídos de imagens do céu tomados com câmeras de grande campo, em diferentes comprimentos de onda. Por exemplo:

European Southern Observatory ESO, levantamento nas cores B, V e J,

Palomar Sky Survey (imagens nas cores B e V) .

Infrared Astronomical Satélite (IRAS) levantamento entre 12 - 100 microns,

Infrared Statelite Observatory (ISO),

EINSTEIN, Rosat , Schandra Dados de Satélite (levantamento de fontes de raios X) .

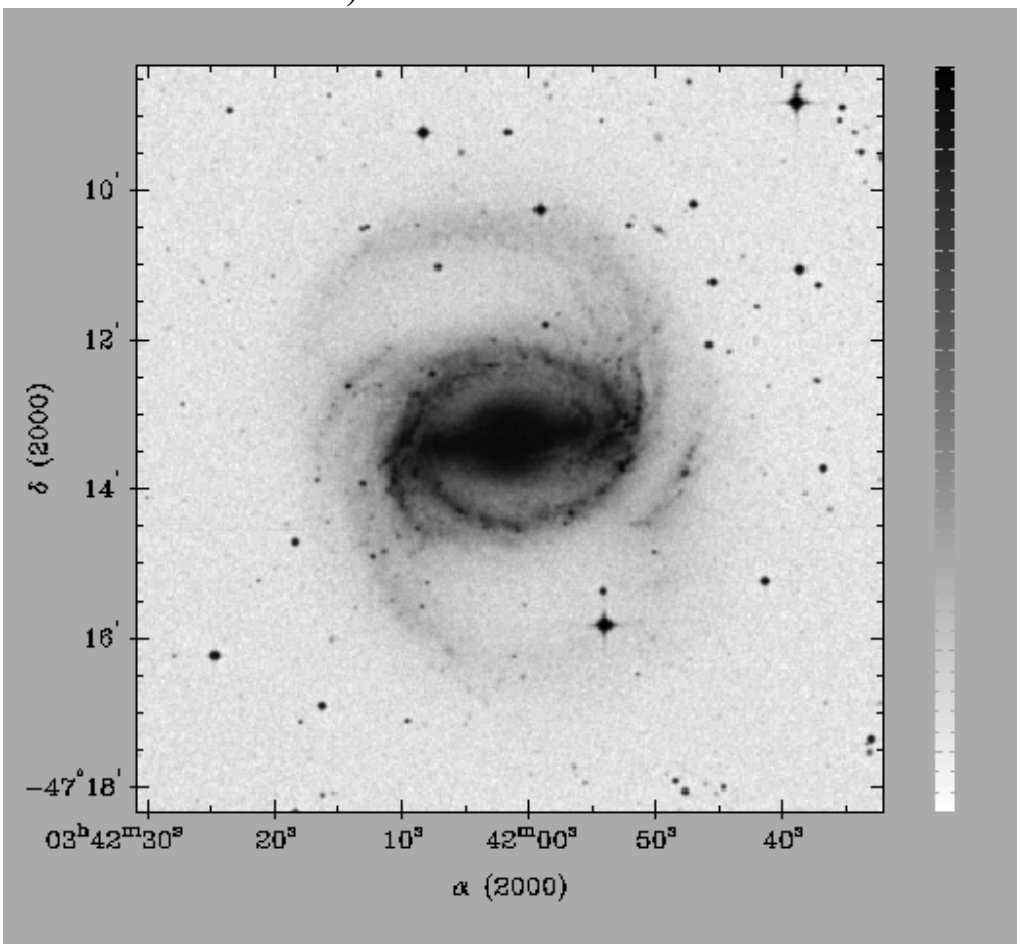


Imagem de NGC1433 DPSS

1.3 Classificação Morfológica de Galáxias

1.3.1 Classificação de Hubble

As galáxias diferem bastante entre si, mas a grande maioria têm formas mais ou menos regulares quando observadas em projeção contra o céu, e se enquadram em duas classes gerais:
espirais e elípticas.
Algumas galáxias não têm forma definida são as chamadas irregulares.
Um dos primeiros e mais simples esquemas de classificação de galáxias, que é usado até hoje, foi inventado por Hubble nos anos 1920. O esquema de Hubble consiste de três sequências principais de classificação: elípticas, espirais e espirais barradas. Nesse esquema, as galáxias irregulares formam uma quarta classe de objetos.
O principais tipos morfológicos das galáxias estão representados no diagrama da forca de Hubble (Fig 1) as galáxias são separadas em três classes elípticas (E), espirais (S) e irregulares (Irr). As espirais estão compostas por duas famílias as espirais normais (S) e as barradas (SB) e elas estão divididas em tipos **Sa, Sb, Sc** os mesmos tipos para as espirais barradas **Sba, SBb, SBc**

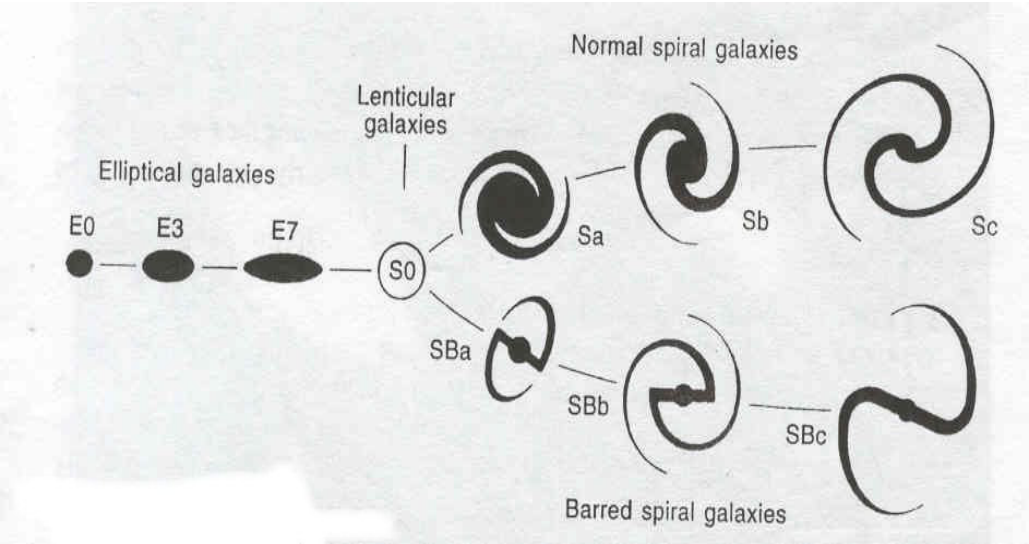
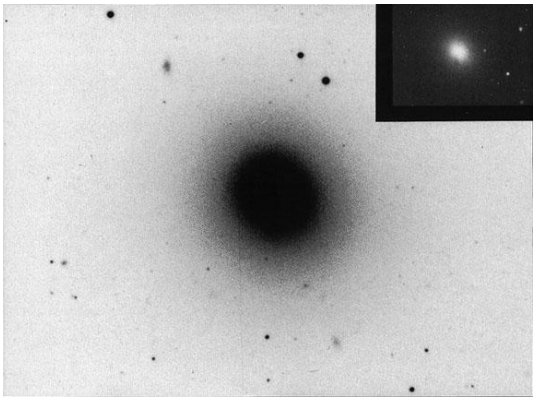


Fig1.1 Diagrama da forca de Hubble

Galáxias Elípticas (E).

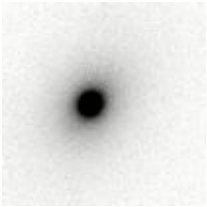


A imagem de uma galáxia elípticas projetadas é uma elipses mais ou menos achatadas. A relação entre os eixos maior (a) e menor (b) varia de 1 a 3.

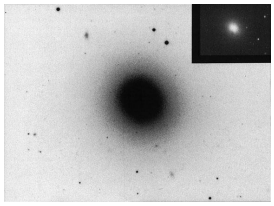
A elipticidade da galáxia e definida como $\varepsilon = (a-b)/a$

As elípticas são classificadas pelo numero $n=(\varepsilon \times 10)$

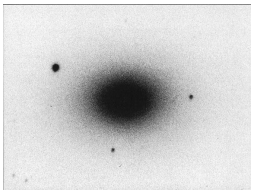
O índice **n** varia de 1 a 7 dando origem aos tipos :**E0, E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7.**



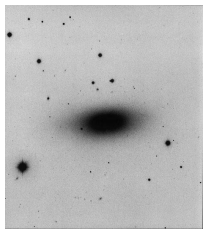
NGC4363 E0



NGC4374 E1



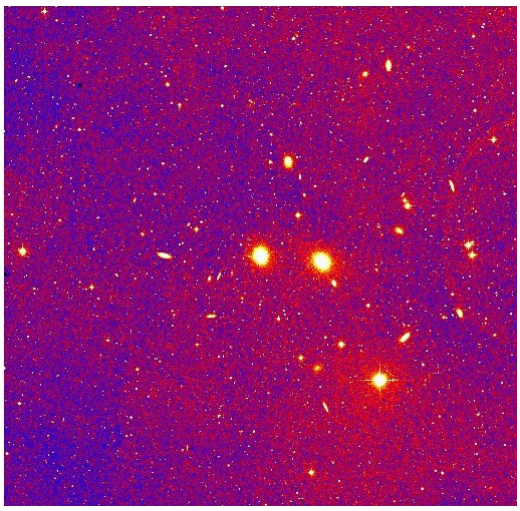
NGC1700 E4



NGC2768 E6

Durante muito tempo foi aceito que as galáxias E são elipsóides com dois eixos iguais e um desigual e que o achatamento é originado na rotação da galáxia portanto uma galáxia E0 pode ser uma galáxia E7 vista de frente e esta mesma galáxia, vista de lado pode ser classificada como E7.

As galáxias mais massivas e mais luminosas são E e elas estão no centro dos aglomerados . As galáxias menos luminosas são também elípticas

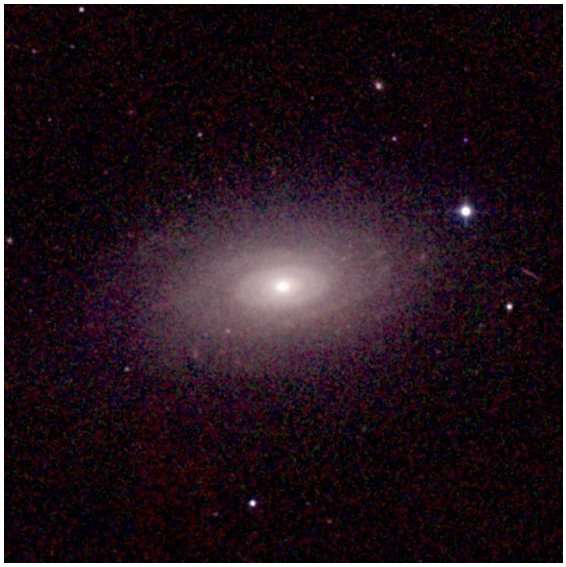


NGC7626 (CD)

Elíptica anã em Sagitario

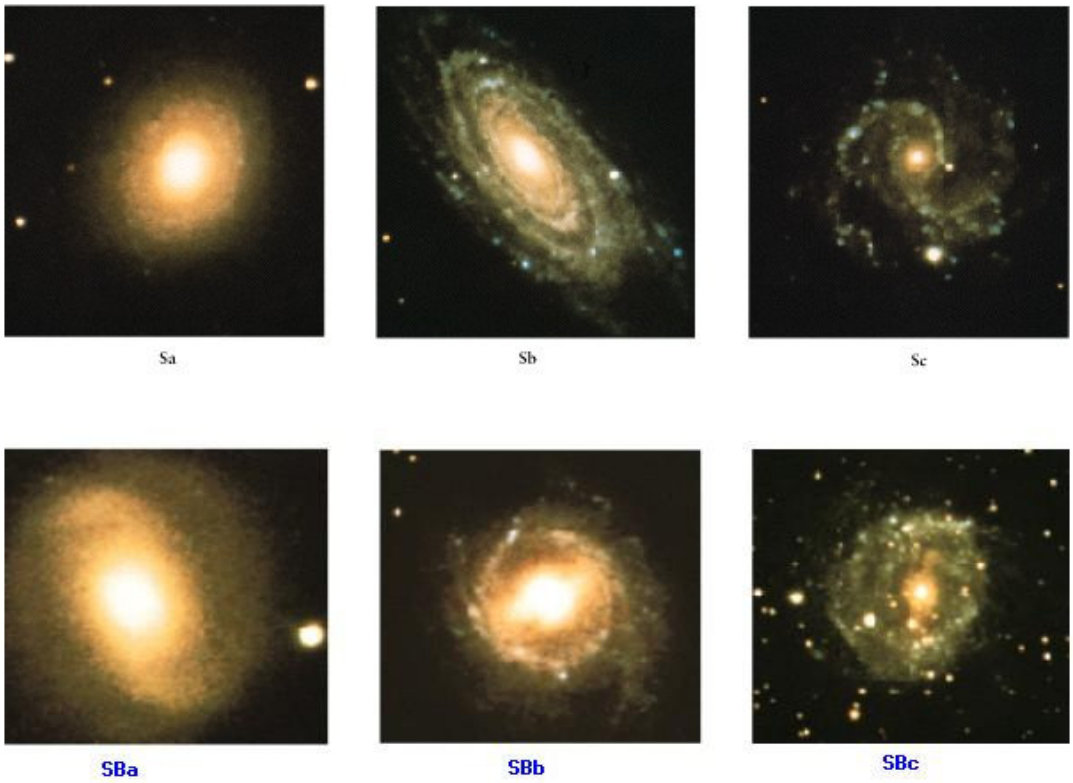
Aparentemente as galáxias E não tem subestruturas, veremos que existem pequenos discos, lentes etc.

Galáxias espirais (S)

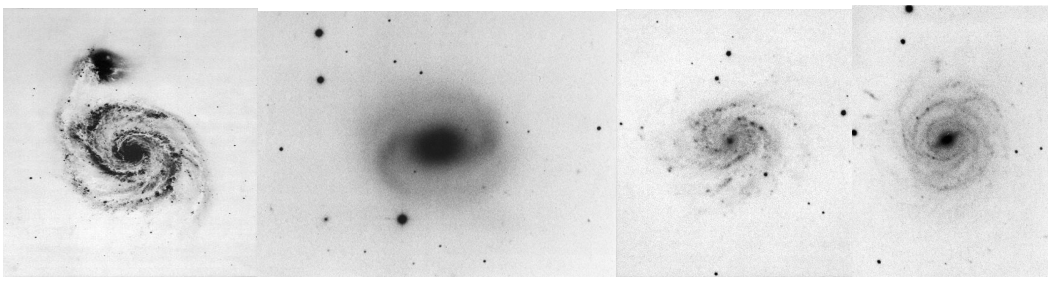


As galáxias espirais tomam seu nome pela estrutura dos braços espirais que enrolam-se sobre um disco. Esta estrutura e muito achatada como pode ser visto em alguma das galáxias vistas de lado a relação entre os eixos pode chegar a/b = 100. Os braços espirais emergem do bojo da galáxia. O bojo tem forma elipsoidal e é a região mais brilhante da galáxia. Este sistema é muito menos achatado que o disco. Nas galáxias barradas o núcleo e cruzado por uma barra e os braços partem da barra da galáxia. A seqüência de Hubble de **Sa** a **Sb** é formada de acordo a vários critérios:

1) tamanho relativo entre o bojo e o disco, esta relação bojo/disco decresce das **Sa** para as **Sc**
2) resolução em regiões HII e estrelas, e predominância dos braços espirais
3) presença de gás, poeira, regiões HII, estrelas jovens etc que aumenta das de **Sa** para **Irr**
4) a estrutura espiral fica mais e mais aberta nas Sc
5) a LUMINOSIDADE total decresce de Sa para Sc



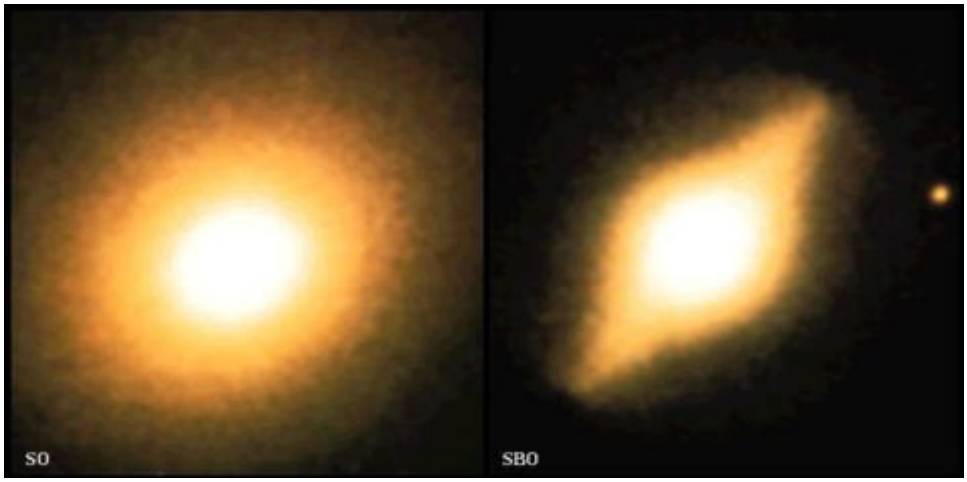
Posteriormente seguindo a classificação de Hubble, foram acrescentados os tipos: **Sd e Sm**. As Irregulares **SBm** tem morfologia similar as Nuvens de Magalhães.



NGC5194 Sb **NGC 7743 Sba** **NGC514 Sc** **NGC521 SBc**

Galáxias Lenticulares

Existem algumas galáxias que têm núcleo, disco e halo, mas não têm traços de estrutura espiral. Hubble classificou essas galáxias como S0, e elas são às vezes chamadas lenticulares. As galáxias espirais e lenticulares juntas formam o conjunto das galáxias disco . Existem galáxias de discoidais com barras S0, SB0



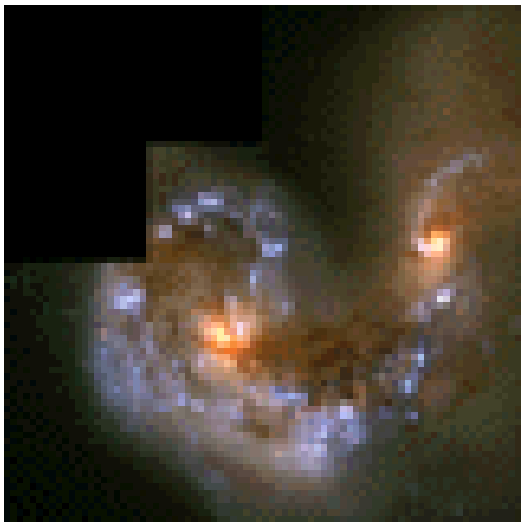
A transição entre as elípticas e as espirais foi preenchida pelas lenticulares **(S0).** Estas galáxias tem um bojo dominante e um disco achatado como as espirais, porem não tem estrutura de braços espirais.

Galáxias Irregulares não tem simetria e estrutura de braços definidos

A freqüência do tipo morfológico das galáxias e a seguinte :
70 % das galáxias são espirais
10% são E,
20% galáxias são S0.
O numero de galáxias Irregulares (I) é muito pequeno.

Galáxias Peculiares

As galáxias que não se enquadram dentro da classificação de Hubble são conhecidas como galáxias peculiares.



Classificação revisada de de Vaucouleurs (1959)

Esta classificação descrita no "General catalogue of Bright galaxies" introduz tipos intermédios entre as famílias e tipos morfológicos da classificação de Hubble. Leva em conta características secundarias importantes, como ser anéis internos e externos. Atualmente é a classificação mais utilizada. Como mostra a figura a classificação e visualizada como um volumem, na direção do eixo maior os tipos, na direção de um eixo transversal as famílias A(normal), no outro eixo Anel interno (r), intermediário(rs), ou espiral (s)

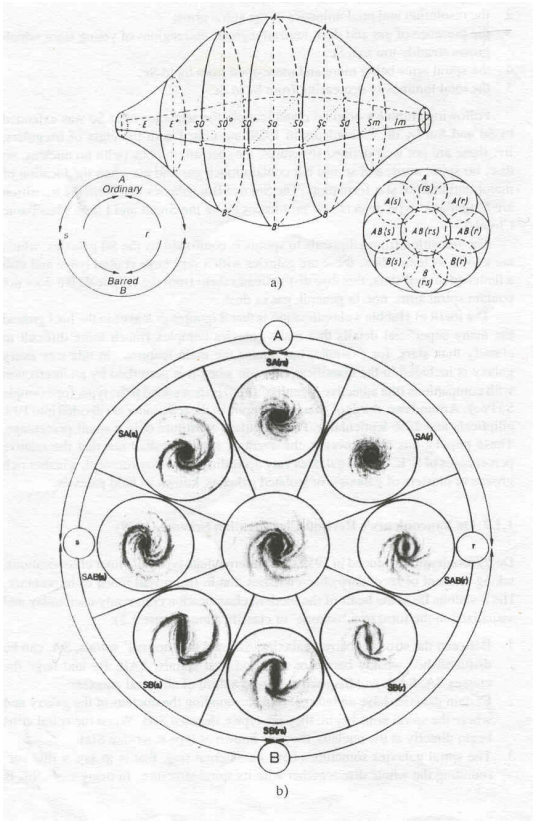


Figura 1.2 :Volumem de Classificação de Vacouleurs (1959), incorporando o tipo intermediário SAB entre as galáxias com barra definidas SB e as normais SA. As galáxias tem dois tipos distintos de estrutura espiral (a,ab,b,bc,c,cd,d,m) ; ou um anel interno r, ou externo R .

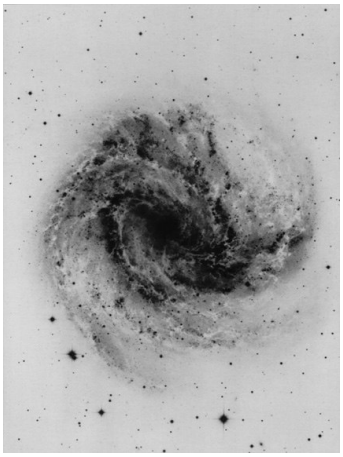
As características morfológicas, consideradas nesta classificação são as seguintes:

1) Entre as galáxias barradas bem definidas **SB** e as espirais normais **SA**, pode-se distinguir tipos com barras fracas ou distorcidas, estas são as galáxias intermediarias **SAB**.
2) Algumas galáxias apresentam anéis internos rodeando o núcleo onde partem a estrutura dos braços espirais, estas galáxias são tipo **r** e denotadas como **S(r).** Outras galáxias não apresentam esta característica e são classificadas como **S(s)** .

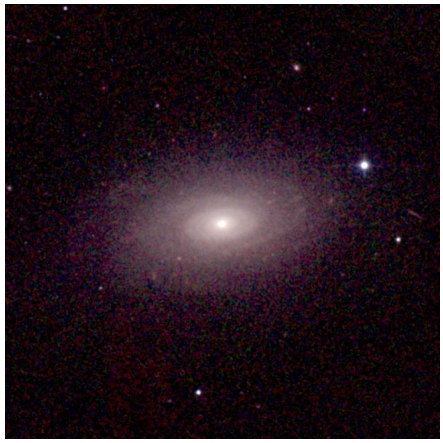
3) Algumas galáxias espirais apresentam um anel externo rodeando o disco. Esta característica e designada com **R** e antecede ao tipo da galáxias por exemplo RSA(r)b Em algumas galáxias os braços espirais externos unem-se formando um pseudo anel
4) Tipos intermediários entre os tipos de Hubble **a, ab, b, bc, c, cd, dm, m**

1.4 Classificação de Luminosidade de Van den Bergh

Considerando unicamente a estrutura espiral e possível distinguir galáxias com braços espirais fragmentados com aspecto filamentoso (NGC 5055) fig 1.3) e galáxias espirais com braços bem definidos que partem da região central e continuam ate a borda do disco , chamadas galáxias de "gran design" (NGC5236 fig1.4).



NGC5236 SbI



NGC5055 SbIII

Esta característica pode ser interpretada pela teoria da formação da estrutura espiral. As galáxias mais massivas e luminosas possuem braços espirais mais robustos. Esta classificação adjudica os tipos segundo a luminosidade intrínseca da galáxia. A nomenclatura acrescenta ao final do tipo morfológico da galáxia um numero romano de I a IV de acordo a luminosidade intrínseca da galáxia (SBbI; SbcII etc) . As galáxias que estão no

fim da seqüência são galáxias elípticas anãs ou as irregulares ricas em gás.

O meio ambiente também modifica a morfologia das galáxias (Dressler..) nos aglomerados de galáxias, observam-se espirais deficientes em gás que possuem uma estrutura espiral muito fraca, chamadas de galáxias anêmicas, em contrapartida também existem no centro dos aglomerados galáxias elípticas gigantes com halos muito estendidos denominadas galáxias cD's . Enquanto as espirais perdem gás e estrelas devido a interação com outras galáxias formando as galáxias anêmicas as elípticas sugam estrelas e gás formando as CD's. É interessante mencionar que as galáxias S0 são muito abundantes nos aglomerados de galáxias, por este motivo acredita-se que muitas S0 podem ter seu origem em galáxias espirais que perderam totalmente sua estrutura espiral.

NOTA: Leitura do capitulo 8 do Unsolved problems on Astrophysics (J. Bahcal e Ostricker).

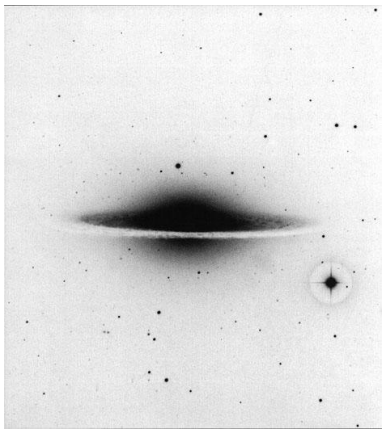
1.5 Pitch Angle

A medida do grau de enrolamento da estrutura espiral é medida pelo "pitch" ângulo. Este ângulo mede-se a partir do circulo traçado com qualquer raio e a tangente ao braço, como ilustra a figura 1.X. As galáxias As que tem uma estrutura espiral muito enrolada em torno do bojo, tem pitch ângulo pequeno (~ 5) entretanto as galáxias Sc tem pitch ângulos maiores de ate 20 graus. Na maioria das galáxias espirais o pitch ângulo e constante para todos os braços espirais de uma galáxia independente do raio em que é medido. Variações deste ângulo dão importantes informações sobre a formação da estrutura espiral como veremos nos próximos capítulos.

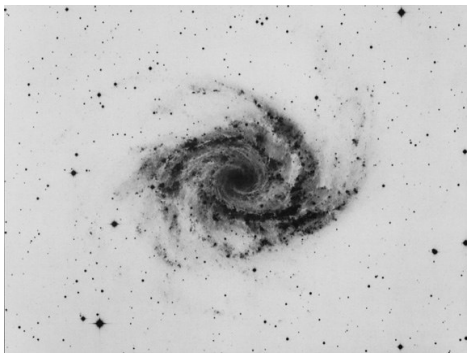
Medida da inclinação

As galáxias estão inclinadas em relação a linha de visada randomicamente, portanto embora tenham a mesma forma podem ter formas aparentes diferentes. Por convenção definimos a inclinação da galáxia como o ângulo formado pelo disco e a normal a linha da visada. Galáxias com inclinação de 90 graus são as chamadas galáxias "edge-on" e as galáxias com inclinação igual a zero grau são chamadas face-on. O disco das galáxias espirais visto de frente é circular portanto a galáxia inclinada apresentara eixos desiguais

. A inclinação pode ser determinada a partir da relação entre o eixo maior (a) e o menor (b) $i = \text{cós}^{-1} (b/a)$



NGC 4594 espiral de lado



NGC2997 espiral de frente

Fim