

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
INTRODUÇÃO A COSMOLOGIA FÍSICA  
PROF. DR. RAUL ABRAMO  
BRUNO CESAR GUEDES DA ROSA  
CAMILA DE MACEDO DEODATO BARBOSA  
LUIZ CARLOS CORDEIRO

## **GALÁXIAS ELÍPTICAS E ESFEROIDAIS**

### **INTRODUÇÃO**

As primeiras tentativas de descrições das galáxias foram formuladas pelos astrônomos: Thomas Wright, em 1750, com o livro "An Original Theory of the Universe" e pelo filósofo alemão Immanuel Kant que em 1755, escreveu o livro "General History of Nature and Theory of Heaven", contudo, suas descrições eram parciais, pois mesmo classificando corretamente aglomerados de estrelas, era difícil saber se pertenciam ou não a nossa galáxia, pois a distância até elas ainda não era conhecida.

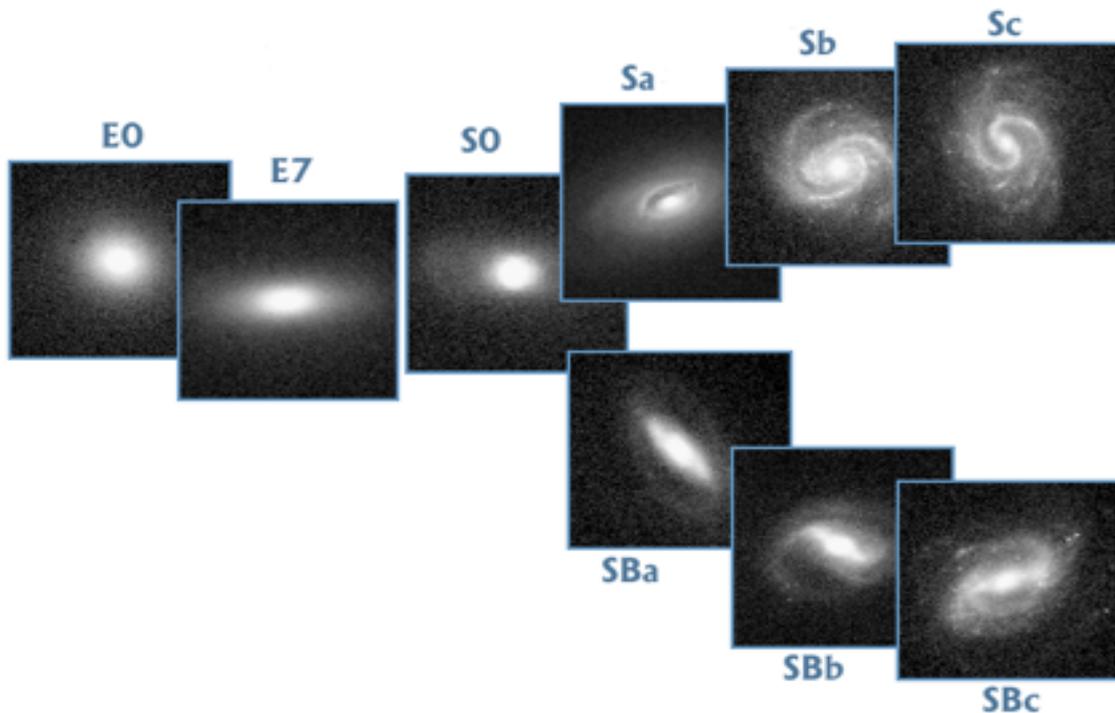
Essa ideia só ficou clara, 168 anos depois, com Edwin Powell Hubble, que conseguiu mostrar através de um telescópio de Mount Wilson, de 2,5 m de diâmetro, estrelas variáveis Cefeidas na nebulosa de Andrômeda (M31), das quais, seguiam o mesmo padrão de variabilidade e, portanto, respeitavam uma relação entre período e luminosidade, assim Hubble foi capaz de calcular suas distâncias, que foi dada como 1 milhão de anos-luz, isso a situava bem além de nossa galáxia que tem 100 anos-luz de diâmetro (atualmente sabe-se que Andrômeda está a 2,2 milhões de anos luz).

### **DEFINIÇÃO GERAL DAS GALÁXIAS**

São gigantescas acumulações de estrelas, poeira e gases, que aparecem isoladas no espaço e cujos constituintes se mantêm unidos entre si devido a mútuas interações gravitacionais, sendo por vezes, o seu comportamento afetado por galáxias vizinhas.

### **CLASSIFICAÇÃO**

Galáxias classificam-se quanto a sua forma em: Espirais, Elípticas que podem ser Esféricas e aquelas que não possuem formas padronizadas, que são chamadas de Irregulares. Esse padrão de classificação foi inventado por Hubble e continuam sendo utilizados nas classificações atuais. O diagrama abaixo representa esse modelo de classificação e não uma ideia evolutiva das galáxias.



- **Galáxias Espirais**

A Via Láctea, nossa galáxia, é do tipo espiral: pois possui nebulosas gasosas em uma estrutura espiral.

Apesar da dificuldade de vermos a nós mesmos por estarmos inseridos nessa galáxia, existem outras dificuldades que podemos encontrar para observar objetos a nossa volta, por exemplo, poeira estelar dificulta a passagem de luz desses, a despeito disso temos “mapeadores” que são objetos que nos mostram nossa localização, existem dois tipos básicos de mapeadores: os óticos e os de rádio.

A origem do formato das galáxias espirais ainda não está bem definida, existe a teoria sobre a rotação diferencial (movimento kepleriano), onde a matéria mais próxima do eixo central de rotação tem densidade e velocidade maior do que a mais externa do braço da galáxia, apesar disso pela idade da via láctea, ela deveria ter braços

menores do que apresenta, então outra teoria que se complementa para sua forma é a de ondas de densidade.

O centro da galáxia, não pode ser observado diretamente com clareza, utilizando infravermelho é possível verificar que é super massivo, com um aglomerado de estrelas de um milhão de vezes a massa solar, e provavelmente com um buraco negro com uma massa de 4,3 milhões de vezes a massa solar.



- **Galáxias Elípticas e Esféricas**

As primeiras hipóteses da década de 20 eram que galáxias espirais se tornavam elípticas que por sua vez viravam esferoidais, assim, com o passar do tempo a matéria da galáxia condensava-se até que uma galáxia espiral tornava-se uma galáxia elíptica

ou esférica. Essa teoria não é mais válida, pois temos galáxias elípticas e espirais de idades muito próximas, que devido a sua composição estelar invalida tal hipótese.

Galáxias Elípticas apresentam uma forma esférica ou elipsoidal, tem em geral pouco gás, pouca poeira e poucas estrelas jovens em relação às galáxias espirais.

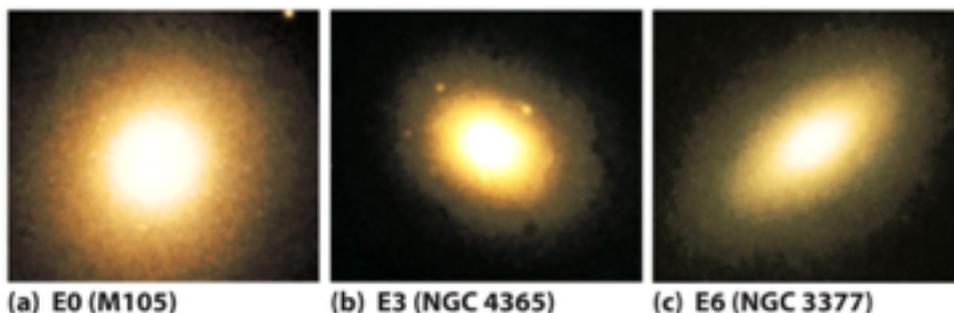
A diferença básica entre uma galáxia elíptica e esférica deveria ser a diferença entre uma elipse com excentricidade 0 e uma com excentricidade maior que 0, mas os objetos no espaço não estão em um plano sempre perpendicular a nossa visão, de modo que uma galáxia com excentricidade elíptica pode parecer uma com excentricidade 0, perpendicular ao plano de nossa visada, ou seja, em outro plano que não um perpendicular a visão. Já uma esférica terá esse formato independente do da direção de seu plano com a visão.

Hubble dividiu as galáxias, classificando-as em E<sub>0</sub> à E<sub>7</sub>, de acordo com seu suposto achatamento, onde o número ao lado de E é n e é definido como:

$$n=10(1-b/a)$$

Onde a é o diâmetro aparente maior da galáxia e b é o seu diâmetro aparente menor.

As galáxias elípticas podem ser desde gigantes supermassivas (mais raras) com massa de até 10 trilhões de massas solares, como anãs, estas são a maior parte de galáxias do universo, as supergigantes tem milhões de anos-luz de diâmetro e as anãs apenas alguns milhares de anos-luz, o que obviamente não é pouco espaço só comparado com outros gigantes presentes no universo, a Via Láctea, por exemplo, tem 100.000 anos-luz.



- **Galáxias Irregulares**

Como o nome já diz, são galáxias que não possuem nenhuma simetria, entretanto sua composição se assemelha a formação de galáxias espirais contendo estrelas jovens e

velhas do tipo I e II, respectivamente, além de relativamente alta atividade estelar, com estrelas jovens brilhantes e nuvens de gás ionizado distribuído irregularmente.



## FORMAÇÃO DAS GALÁXIAS

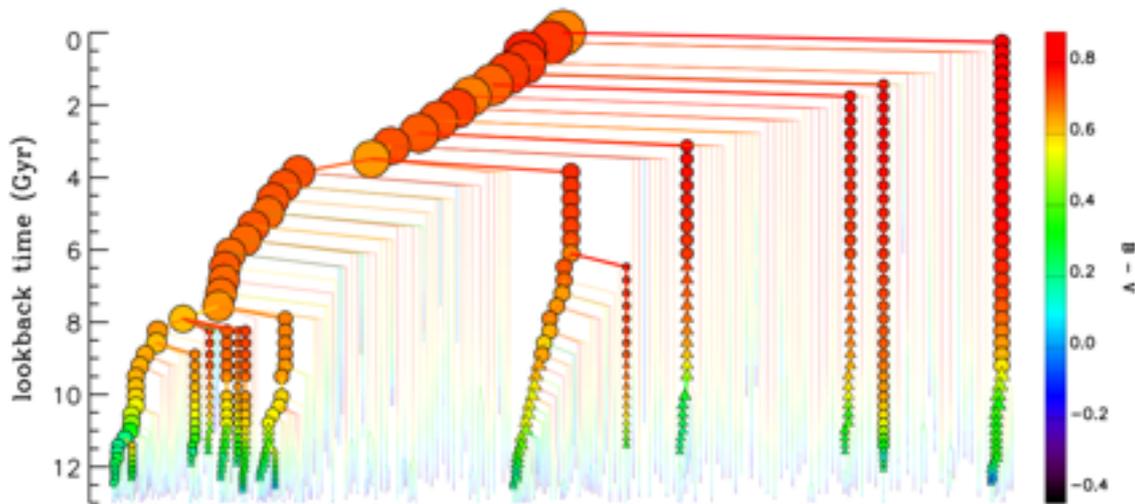
Por ter mais estrelas velhas, acreditava-se que as galáxias, quando jovens, seriam espirais e, mais tarde, evoluiriam a elípticas, mas isso foi descartado depois que viram que as estrelas velhas das espirais tinham a mesma idade de 10 bilhões de anos das estrelas velhas das elípticas.

Acredita-se que essa diferença em que as elípticas possuem mais estrelas velhas do que as espirais, seja devido a taxa com que ocorreu a formação estelar. Nas elípticas, a formação aconteceu mais rápida no início da evolução, talvez porque tenham se originado de nuvens protogalácticas mais densas do que as espirais. Isso fez com que todo o gás fosse consumido. O mesmo ocorreu nas regiões centrais das espirais, onde a densidade era maior, embora no disco a formação estelar procedeu-se mais lentamente, de forma que o gás não foi consumido todo de uma vez, e a formação de novas estrelas pode continuar.

Outro fator que diferencia as espirais de elípticas é a quantidade de momento angular da nuvem de gás primordial, pois quanto mais momento angular a nuvem tinha inicialmente, mais achatada será a forma final. Portanto, as elípticas teriam se formado de nuvens que tinham pouca rotação quando começaram a se contrair, ao passo que as espirais teriam se formado do colapso de nuvens com maior rotação.

Atualmente, acredita-se que as galáxias elípticas são resultado de diversas colisões de galáxias e protogaláxias (galáxias que surgiram no início do universo), como temos aglomerados de galáxias há interações gravitacionais entre elas, fazendo com que, desde o início da formação do universo elas continuamente colidiram-se. A figura

abaixo ilustra as fusões entre galáxias e a relação com a temperatura das galáxias que a compõem:



## MASSA DAS GALÁXIAS

Assim como nas estrelas, a massa das galáxias é uma característica física importante.

O problema que esses objetos estão a distâncias astronômicas, e vários fatores influenciam as medições de todos os tipos, e por conseguinte sua classificação. Por exemplo a rotação de galáxias espirais no núcleo é diferente do resto do corpo, assim para galáxias que giram e tem a velocidade dos braços no sentido e direção do observador faz com que haja uma compressão do comprimento de onda da luz, por efeito Doppler, assim os braços da galáxia que estiverem se deslocando com velocidade na direção e sentido oposto ao observador, terá seu comprimento de onda de luz aumentado também pelo efeito Doppler, aproximando o comprimento de onda para o azul ou para o vermelho respectivamente.

As massas das galáxias elípticas são determinadas a partir de uma **aproximação** que utiliza o teorema de Virial:

$$E_g + 2E_c = 0$$

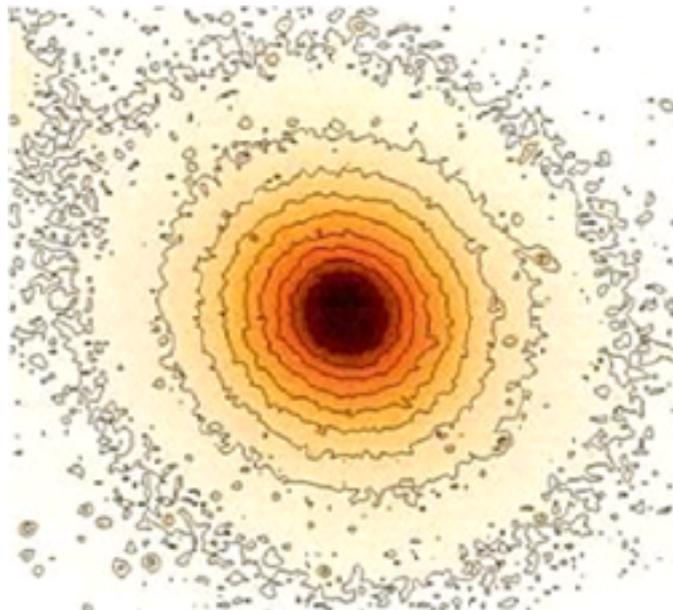
Esse teorema pressupõe um corpo de densidade homogênea e a galáxia como um sistema estacionário. Sendo  $E_g$  a energia potencial gravitacional e  $E_c$  a energia cinética envolvida no sistema,  $V$  a velocidade média das estrelas (utilizado no cálculo da energia cinética),  $M$  a massa total da galáxia,  $R$  o raio médio da galáxia e  $G$  a constante gravitacional. Resolvendo pelo teorema do Virial é possível determinar a massa dessa galáxia elíptica como:

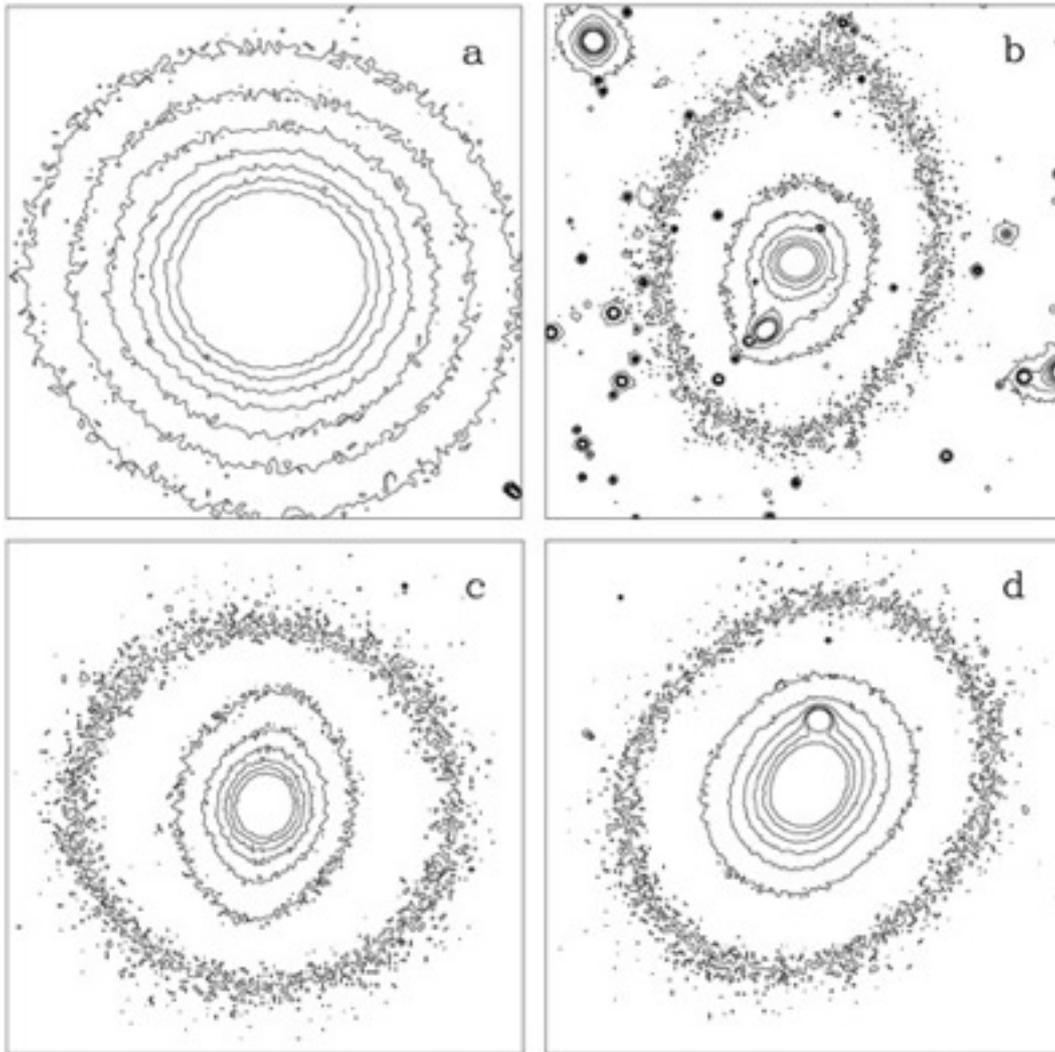
$$M_{(\text{elíptica})} = 2V^2R/G$$

## LUMINOSIDADE

A luminosidade foi um fator importante para se concluir que existiam outras galáxias fora da Via Láctea, como já vimos Hubble a partir da luminosidade característica de Cefeidas concluiu que existiam outras galáxias no universo.

A partir da luminosidade sabemos qual o tipo de população estelar presente nas galáxias e assim podemos melhor classifica-las. Entretanto, não é simples definir um raio onde marque fim do brilho superficial de uma galáxia, então, para auxiliar nesse processo são utilizadas isofotas, que são curvas de nível de intensidades luminosas conhecidas. Nas galáxias elípticas, essas curvas são concêntricas e por vezes podem não seguir uma forma exatamente elíptica, essas discontinuidades podem ser resultados de fusões de galáxias. A seguir temos alguns exemplos de isofotas:

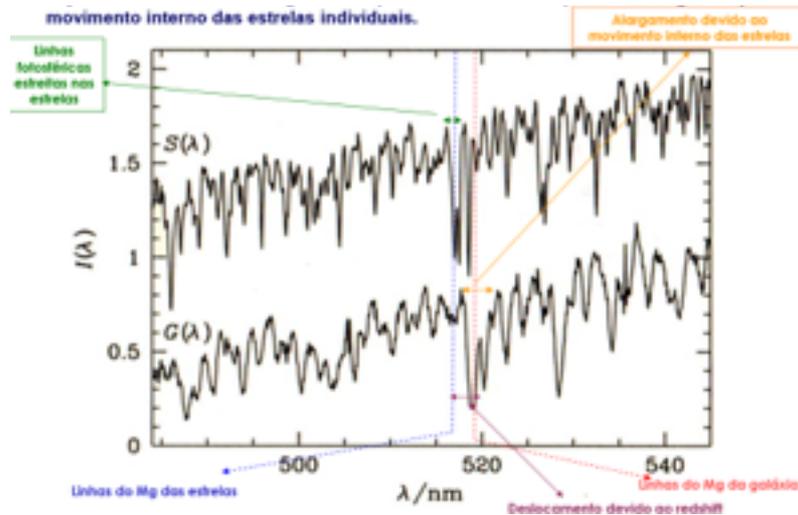




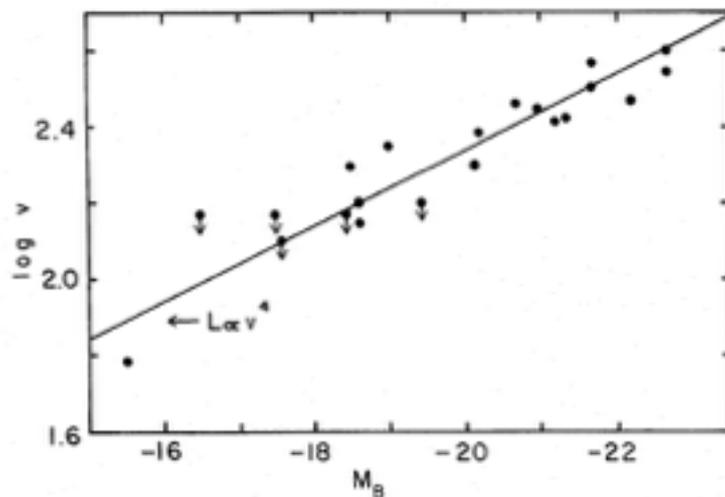
Galáxias elípticas obedecem a uma relação de luminosidade e velocidade média das estrelas presentes nela, essa velocidade tem uma distribuição aproximada de uma Gaussiana, definida por:

$$f_i(v') = 1/(2\pi\sigma^2)^{1/2} \exp(-(v'-\langle v \rangle)^2/2\sigma^2)$$

De acordo com essa distribuição podemos analisar que o gráfico da intensidade luminosa das estrelas ( $S(\lambda)$ ) possui linhas fotosféricas mais estreitas que a intensidade luminosa da galáxia ( $G(\lambda)$ ), podemos ver tais propriedades no gráfico a seguir:



Com base nessa distribuição de velocidades ( $v$ ), é possível calcular a luminosidade aproximada total de uma galáxia, sendo que a luminosidade é diretamente proporcional a uma constante (que depende da massa  $M$ , a constante de gravitação universal  $G$  e o raio  $R$ ) e a  $v^4$ . Essa é a relação de Faber & Jackson que possui o comportamento da curva abaixo:



A distribuição de luz também obedece ao perfil de Vaucouleurs ou lei de  $r^{1/4}$ , sendo que em termos de magnitude temos:

$$\mu(r) = \mu_e + 8.3268 \cdot [(r/r_e)^{1/4} - 1]$$

Sendo  $r_e$  e  $\mu_e$ , respectivamente, o raio e a magnitude efetiva, ou seja, o raio referente à metade da luminosidade da galáxia. Essa é a mesma equação usada para calcular o brilho superficial do bojo de uma galáxia espiral.

A partir do gráfico abaixo é possível analisar a distribuição de magnitudes para valores distintos de  $r^{1/4}$ .

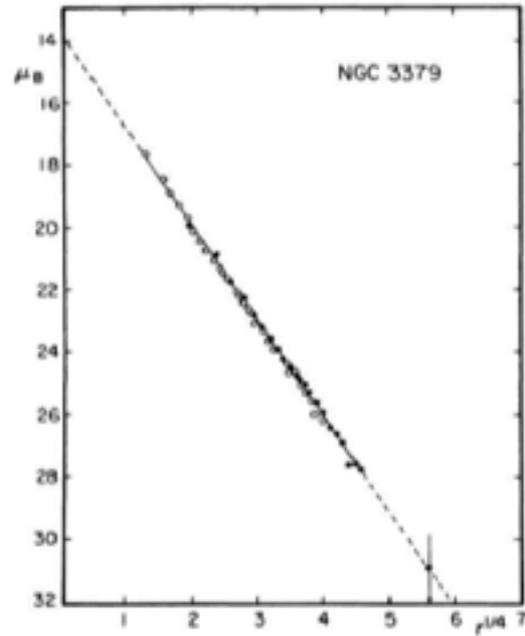


FIG. 2.—Mean E-W luminosity profile of NGC 3379 derived from McDonald photoelectric data. ●, Pe 4 data with 90 cm reflector; ○, Pe 1 data (M + P) with 2 m reflector. Note close agreement with  $r^{-1/4}$  law.

## ANEXOS

### - Comparações

Tabela 1: Sendo cD - Galáxias Lenticulares, E – Elípticas e S0/SB0 – Galáxias Espirais podemos comparar características importantes destas nas tabelas abaixo:

	cD	E	S0/SB0
$M_B$	-22 to -25	-15 to -23	-17 to -22
$M (M_\odot)$	$10^{13}$ - $10^{14}$	$10^8$ - $10^{13}$	$10^{10}$ - $10^{12}$
Diameter ( $D_{25}$ , kpc)	300-1000	1-200	10-100
$(M/L_B) (M_\odot/L_\odot)$	> 100	10-100	~ 10
$(S_N)$	~ 15	~ 5	~ 5

Tabela 2: Nessa tabela temos mais detalhes comparativos de galáxias

Propriedade	Espirais	Elípticas	Irregulares
Massa ( $M_{\odot}$ )	$10^9$ a $10^{12}$	$10^5$ a $10^{12}$	$10^8$ a $10^{11}$
Diâmetro ( $10^3$ parsecs)	5 - 30	1 - 1000	1 - 10
Luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$10^8$ a $10^{11}$	$10^6$ a $10^{12}$	$10^7$ a $2 \times 10^9$
População estelar	Velha e jovem	Velha	Velha e jovem
Tipo espectral	A a K	G a K	A a F
Gás	Bastante	Muito pouco	Bastante
Poeira	Bastante	Muito pouca	Varia
Cor	Azulada no disco Amarelada no bojo	Amarelada	Azulada
Estrelas mais velhas	$10^{10}$ anos	$10^{10}$ anos	$10^{10}$ anos
Estrelas mais jovens	Recentes	$10^{10}$ anos	Recentes

## REFERÊNCIAS

Notas de aula do Prof. Pieter Westera – UFABC:

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/AstroAula15.pdf>

Notas de aula do Prof. Dr. Ronaldo E. de Souza – USP:

<http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/extragal/Cap5.pdf>

SOUZA, Ronaldo E., “*Introdução à Cosmologia*”, 2004, Editora edusp

FILHO, Kepler de Oliveira, “*Astronomia e Astrofísica*”, 2ª edição 2004, Editora Livraria da Física

[http://www.ccvalg.pt/astronomia/galaxias/o\\_que\\_sao\\_as\\_galaxias.htm](http://www.ccvalg.pt/astronomia/galaxias/o_que_sao_as_galaxias.htm)