

## GALÁXIAS

Sandra dos Anjos e Ronaldo E. de Souza

## INTRODUÇÃO

As primeiras especulações sobre a natureza das galáxias remontam ao início do século XVIII, quando Thomas Wright, em 1750, um construtor de instrumentos natural da Inglaterra, imaginou que as nebulosas observadas através de pequenos telescópios seriam sistemas estelares semelhantes à Via Láctea. Posteriormente, esta idéia foi revista pelo filósofo Immanuel Kant, em 1755, que formulou a concepção dos *universos-ilhas*, que permaneceu inalterada por mais de um século. Segundo Kant, estas nebulosas seriam enormes sistemas estelares que pareceriam minúsculos vistos no telescópio, devido à fantástica distância que as separam de nós. Estas nebulosas seriam discos achatados, semelhantes à Via Láctea e, portanto, a sua forma aparente seria circular quando vistas de frente. Aquelas observadas inclinadas em relação à linha de visada teriam uma forma elipsoidal. É incrível como estas especulações de Kant, baseadas em tão poucas evidências, aproximam-se tanto do que hoje conhecemos como galáxias!

Nesta época, umas poucas nebulosas eram conhecidas. Algumas eram observáveis a olho nu, outras visíveis apenas com o auxílio de pequenos telescópios então existentes. Já no final do século XVIII, o francês Charles Messier, em

1784, concluiu um trabalho de vários anos publicando uma lista contendo 103 destas nebulosas. Alguns anos mais tarde, Dreyer, em 1887, publicou o *New General Catalogue* contendo uma compilação de todas as nebulosas até então conhecidas. No total são 7840 objetos incluindo tanto galáxias como nebulosas galácticas e, geralmente, identificadas pelo número NGC. Assim, NGC224, ou M31 no catálogo de Messier, identifica a galáxia de Andrômeda, visível a olho nu, no hemisfério norte (Atlas, imagem 23). Posteriormente, Dreyer, em 1907, publicou um suplemento, o *Index Catalogue* (IC), contendo uma lista adicional de 5386 nebulosas.

Um dos pesquisadores mais atuantes deste período foi William Herschel, que conseguiu demonstrar a existência de dois tipos de nebulosas: aquelas que podiam ser resolvidas em estrelas individuais e aquelas que continuavam com a aparência nebular mesmo com o auxílio dos maiores telescópios disponíveis. Ficou claro que as nebulosas do primeiro tipo eram, na verdade, aglomerados de estrelas da Via Láctea e, portanto, não se encaixavam na concepção de universos-ilhas. Em 1864, William Huggins adicionou mais uma informação obtida com o auxílio de um espectrógrafo. Algumas das nebulosas não-resolvidas eram, na verdade, grandes massas de gás aquecido distribuídas pela Via Láctea. Contudo, a natureza da grande maioria das nebulosas que pertenciam à segunda classe continuava ainda misteriosa.

A solução do mistério só foi encontrada em meados da década de 20 do nosso século, com o início da operação do grande telescópio de 100 polegadas de Monte Wilson. Graças a este instrumento, Edwin Hubble foi capaz de mostrar que muitas das nebulosas não-resolvidas como, por exemplo, Andrômeda eram, na verdade, compostas de estrelas e muitas destas estrelas eram semelhantes àquelas que podemos observar na Via Láctea. Em particular, Hubble conseguiu observar uma classe de estrelas variáveis conhecidas como Cefeidas. Ocorre que as variáveis do tipo Cefeidas obedecem a uma relação muito bem-definida envolvendo a magnitude absoluta na cor azul ( $M$ ) e o período de variabilidade ( $P$ ). Portanto, um conjunto suficientemente extenso de observações torna possível a determinação do período e da magnitude aparente média ( $m$ ) que, por sua vez, depende da magnitude absoluta e da distância ( $d$ ),

$$M = m - 5 \log(d) + 5, \quad (10.1)$$

para distâncias medidas em parsecs. Como conseqüência, pode-se então determinar a distância da galáxia. Com este método obtém-se uma distância de 0,69 Mpc para Andrômeda. Se considerarmos que a nossa Galáxia tem um diâmetro de aproximadamente 30 kpc, verifica-se que Andrômeda está a uns 20 diâmetros de distância e, certamente, não faz parte do nosso sistema estelar. Mais



ainda, através do diâmetro aparente de Andrômeda, estima-se que o seu diâmetro real é de aproximadamente 20 kpc, comparável ao da Via Láctea. Verifica-se, assim, que estava correta a concepção original de Kant, denominando estes objetos de universos-ilhas!

Esta descoberta deu início a um ramo importante da Astrofísica, a Astronomia Extragaláctica, que tem por objetivo estudar objetos astronômicos em várias direções e profundidades do céu. Estes estudos incluem questões como origem, evolução e dinâmica de galáxias a partir da distribuição e movimento destes objetos.

Não é difícil imaginar que, após esta descoberta, houvesse curiosidade em se saber se havia ou não relação entre a morfologia e o conteúdo interno, bem como em se determinar as propriedades cinemáticas e dinâmicas destes objetos. Desta forma, desde a década de 20, muitos pesquisadores têm contribuído no sentido de esclarecer as dúvidas surgidas desde então, e o texto a seguir dá uma visão do conhecimento que se tem hoje sobre as galáxias.

## MORFOLOGIA DAS GALÁXIAS

Um dos primeiros problemas abordados pela Astronomia Extragaláctica foi a questão da forma das galáxias. Desde o início estava bem claro que as galáxias se distribuía segundo uma grande variedade de formas. Como classificá-las? O esquema taxonômico de maior sucesso, que é aplicado com pequenas modificações até os dias de hoje, foi proposto por Hubble em 1936. No Atlas (imagens 22 a 27) apresentamos galáxias de diversos tipos.

Hubble, inicialmente, dividiu as galáxias em duas grandes categorias: elípticas (E) e espirais (S). As galáxias elípticas se caracterizam por apresentarem forma simétrica marcadamente elipsoidal. A distribuição de luz é bastante suave do centro para a borda, ao contrário das espirais que exibem braços conspícuos. Algumas apresentam uma imagem aproximadamente circular e são chamadas de E0. Outras são mais achatadas (E1 a E7). Nestas, Hubble mediu a excentricidade  $e$  da imagem, multiplicou-a por 10 e adicionou o primeiro dígito resultante a sua classificação. Assim, NGC3115, cuja excentricidade é da ordem de 0,7, é classificada como uma E7. Curiosamente, observa-se que não existem galáxias elípticas mais achatadas que E7. Este fato provavelmente está relacionado com as instabilidades que impedem a existência de sistemas ainda mais achatados, se estes não estiverem em rotação.

As galáxias espirais, como o próprio nome indica, têm uma distribuição de luz que mostra claramente a presença de um ou mais braços espirais. Algumas

mostram, além dos braços, uma região central em forma de barra. Este fato inspirou Hubble a dividir as espirais em duas subfamílias: espirais barradas e não-barradas. A forma dos braços varia bastante entre uma espiral e outra. As espirais com braços mais fechados e bojos relativamente maiores foram designadas como Sa, enquanto que aquelas com braços mais abertos e bojos relativamente menores foram chamadas de Sc. Entre estas duas classes extremas, Hubble situou uma classe intermediária denominada Sb. Posteriormente, com o objetivo de representar no sistema de classificação proposto uma classe de objetos com propriedades intermediárias, entre as elípticas e as espirais, Hubble postulou uma classe de galáxias denominadas lenticulares ou S0. Estas galáxias tiveram, mais tarde, sua existência comprovada pelas observações.

A Figura 10.1 apresenta este esquema de classificação. É interessante ressaltar que o sistema de classificação de Hubble, a princípio, induzia os astrônomos a acreditar que deveria existir uma seqüência evolutiva na classificação morfológica. Hoje em dia sabemos que isto não é correto. As galáxias não nascem elípticas e se transformam necessariamente em espirais ou irregulares e vice-versa. Alguns estudos baseados na luminosidade, bem como no momento angular por unidade de massa, mostram que esta evolução não deve necessariamente ocorrer. Basicamente podemos dizer que as galáxias surgiram em uma mesma época cosmológica. Alguns efeitos de interação gravitacional podem ter ocorrido, mas a forma geral deve ter se preservado ao longo do tempo e deve ser decorrente de condições iniciais particulares, que determinaram as diferentes classes morfológicas.

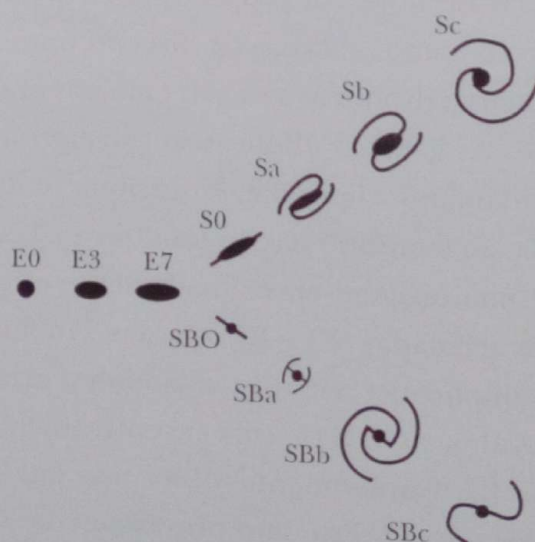


Figura 10.1. Ilustração do esquema de classificação proposto por Hubble. Da esquerda para a direita, a seqüência corresponde inicialmente a galáxias elípticas (E), de elipticidade crescente. A seqüência divide-se, então, em dois ramos, o das galáxias normais (S0, Sa, Sb, Sc) e o das com barras (SB0, SBa, SBb, SBc).



## POPULAÇÕES ESTELARES

Tendo-se demonstrado que as galáxias são essencialmente enormes massas de estrelas e gás, semelhantes à nossa Via Láctea, várias questões começaram a ser discutidas. Por exemplo, qual a natureza da população estelar destes objetos?

Para responder a esta questão deve-se verificar quais as principais características das estrelas na vizinhança solar. Afinal, deve-se esperar que os mesmos tipos de estrelas que temos aqui sejam encontrados em galáxias mais distantes! Na Tabela 10.1 apresenta-se um resumo das principais características de estrelas vizinhas próximas (ver capítulo 7). A primeira coluna contém a classificação ou tipo espectral das estrelas. A massa discriminada na segunda coluna está em unidades da massa do Sol ( $M_{\odot}$ ). Na coluna da luminosidade, também em unidades solares ( $L_{\odot}$ ), pode-se observar, por exemplo, que as estrelas mais massivas chegam a apresentar uma emissão equivalente a alguns milhares de "sóis". Finalmente, a última coluna contém a razão entre a massa ( $M$ ) e a luminosidade ( $L$ ). O parâmetro  $M/L$  é tradicionalmente utilizado em Astronomia para representar a eficiência da emissão da luz por uma dada estrela. Assim, um valor  $M/L \approx 1$  indica uma estrela que emite tão eficientemente quanto o Sol. Já um valor  $M/L > 1$  como, por exemplo, uma anã do tipo M da Seqüência Principal, indica uma estrela que emite proporcionalmente menos que o Sol. Finalmente, uma gigante do tipo K tem  $M/L < 1$ , indicando um objeto que emite mais eficientemente que o Sol.

Tabela 10.1. Algumas características de estrelas da vizinhança solar. Estrelas de tipo V estão na Seqüência Principal, enquanto que as de tipo III são gigantes.

Tipo ( $M_{\odot}$ )	Massa ( $L_{\odot}$ )	Luminosidade ( $M_{\odot}/L_{\odot}$ )	M/L
B0V	18,00	3 600,00	0,005
A0V	3,20	45,71	0,070
F0V	1,70	7,73	0,220
G0V	1,10	1,49	0,740
K0V	0,78	0,37	2,100
M0V	0,47	0,02	22,000
G0III	2,50	31,25	0,080
K0III	4,00	57,14	0,070
M0III	6,30	126,00	0,050

Observa-se nas galáxias mais próximas que a fração de massa contida em gás interestelar não chega a atingir 10%. Portanto, pode-se dizer, sem grande margem de erro, que a maior parte da massa contida dentro da região visível das galáxias deve estar na forma de estrelas. Além disto, o espectro de uma galáxia elíptica normal é muito semelhante ao de uma estrela do tipo K0III. Porém, sabe-se que, na vizinhança solar, as estrelas mais abundantes são aquelas de baixa massa da Sequência Principal (MV). Portanto, em uma primeira aproximação, pode-se imaginar que a população estelar seja composta apenas por estes dois tipos de objetos. Observações da galáxia M31 revelam que a região central, contendo uma massa  $M_{TOT} \approx 10^{10} M_{\odot}$ , emite uma luminosidade total de  $L_{TOT} \approx 2,5 \times 10^8 L_{\odot}$ . Verifica-se que uma proporção de apenas 0,2% da massa em gigantes do tipo K0III emite praticamente 98,8% da luz da galáxia. Esta parece ser uma característica comum às galáxias com populações estelares velhas.