



Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência

Who discovered the expansion of the universe? Priority disputes as way to teach cosmology using history and philosophy of science

Alexandre Bagdonas^{*1}, João Zanetic², Ivã Gurgel²

¹Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

²Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 06 de Novembro, 2016. Revisado em 28 de Novembro, 2016. Aceito em 28 de Novembro, 2016.

Ainda que Edwin Hubble não tenha apoiado publicamente a expansão do universo, atualmente ele é conhecido basicamente por ter descoberto a expansão do universo. Neste artigo revisamos a história da “Lei de Hubble”, com intuito mais do que fazer justiça e dar crédito a outros candidatos a descobridor, como Lemaître, Lundmark, Silberstein e de Sitter, mas na verdade de mostrar como descobertas na ciência costumam ser processos com extensão no tempo, com diversos colaboradores e dificilmente podem ser atribuídas a um único indivíduo em uma data específica. Isso tem várias implicações pedagógicas envolvendo o uso da história da ciência como forma de promover visões mais críticas sobre a ciência na educação básica, incluindo a discussão do conceito de descoberta e de disputas de prioridade na física. **Palavras-chave:** cosmologia, história da ciência, descoberta, disputas de prioridade.

Even though Edwin Hubble has not endorsed in public the expansion of the universe, nowadays he is known mainly for having discovered the expansion of the universe. In this paper we review the history of the “Hubble Law”, aiming more than to make justice and give credit to other candidates for this discovery, such as Lemaître, Lundmark, Silberstein and de Sitter, but in fact to show that discoveries in science are often an extended process, with many collaborators and hardly can be assigned to a single individual scientist in a specific time. This has several pedagogical implications regarding the use of history of science in order to promote more critical views about science in basic education, like discussions about the concept of discovery and priority disputes on physics.

Keywords: cosmology, history of science, discovery, priority disputes.

1. Introdução

Muitos livros e obras de divulgação sobre cosmologia afirmam que o astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953) descobriu a expansão do universo em 1929. Por exemplo, no documentário “Poeira das estrelas”¹, a descrição feita por Marcelo Gleiser do processo de descoberta da expansão do universo

ilustra o que se faz na maioria dos materiais de divulgação científica com pouco cuidado em relação à história da ciência:

Em 1929, um astrônomo americano demonstrou que Einstein estava errado: que o universo não era estático, que ele está em expansão, crescendo cada vez mais. Esse astrônomo se chamava Edwin Hubble. Um telescópio foi fundamental para isso.

Este trecho representa a tradição de diversos livros sobre cosmologia, publicados em diversos países, que

*Endereço de correspondência: aalebagonas@gmail.com.

¹Documentário exibido pela rede Globo, no programa Fantástico, em agosto de 2006. Disponível em <http://memoriaglobo.globo.com/programas/jornalismo/programas-jornalisticos/fantastico/poeira-das-estrelas.htm>

ênfatisam as observações (e não as teorias) no processo de elaboração do conhecimento [1]. Rocha [2] analisou trechos semelhantes de obras de divulgação brasileiras, como a revista *Super Interessante*, salientando que quando se diz que as observações de Hubble permitiram constatar a expansão do universo não se diferencia observação de inferência, induzindo visões ingênuas sobre a natureza da ciência. Na maioria destas obras é atribuída a Hubble a descoberta da expansão do universo, mostrando que a proposta teórica de Albert Einstein (1879-1955) com sua “constante cosmológica” estava errada. Alguns documentários, como *Lost Horizons*, *Big Bang*, da BBC, podem até nos levar a pensar que Hubble teria visto as galáxias se afastando com seu telescópio.²

Contudo, historiadores da cosmologia vêm demonstrando que isso não é verdade [3]. Em 1929, Edwin Hubble propôs que há uma relação aproximadamente linear entre as distâncias de nebulosas e seu desvio espectral para o vermelho, a chamada relação redshift-distância [4]. Porém, ele fez interpretações cosmológicas muito cautelosas, insinuando a possibilidade de que este resultado tivesse relação com o modelo de universo estático, proposto em 1917 pelo matemático, físico e astrônomo holandês, Willem de Sitter (1872-1934). Conforme afirma Hubble:

A característica marcante, entretanto, é a possibilidade de que a relação distância-velocidade possa representar o “efeito de Sitter”, e que então dados numéricos possam ser introduzidos nas discussões sobre a curvatura geral do espaço. Na cosmologia de de Sitter, desvios espectrais aparecem a partir de duas fontes, uma aparente diminuição da velocidade das vibrações atômicas e uma tendência geral das partículas materiais de se espalharem. Essa última envolve uma aceleração e, portanto, introduz o elemento temporal. A importância relativa destes dois efeitos deve determinar a forma da relação entre as distâncias e as velocidades observadas; e nessa conexão pode ser enfatizado que a relação linear encontrada é uma primeira aproximação representando um intervalo restrito de distâncias [4].

Ao longo da década de 1930, mesmo quando a maior parte dos cientistas que estudavam cosmologia relativística aceitaram a expansão do universo como a melhor interpretação para o redshift das galáxias, Hubble permaneceu cauteloso [5]. Em 1935 Hubble e seu colaborador, o físico estadunidense Richard Tolman (1881-1948), afirmaram que:

Até que evidência adicional esteja disponível, ambos os presentes autores desejam manter uma mente aberta em relação à explicação final mais satisfatória para o desvio para o vermelho das nebulosas e, na apresentação das descobertas puramente observacionais, continuar a usar a expressão velocidade de recessão “aparente”. Contudo, ambos tendem à opinião de que se o desvio para o vermelho não é devido a um movimento de recessão, a sua explicação envolverá provavelmente princípios físicos muito novos [6].

Em 1936, Hubble manteve esta postura cautelosa, quando apresentou as contribuições anteriores de outros astrônomos, como Carl Wirtz, Knut Lundmark e Gustav Strömberg, para as investigações envolvendo a relação redshift-distância. Hubble apresentou sua contribuição como sendo a de ter criado métodos mais convincentes para medir as distâncias das nebulosas, confirmando assim que havia uma relação redshift-distância linear [7]. Apesar de reconhecer que até aquele momento não era possível uma conclusão segura sobre o assunto, Hubble demonstrava uma preferência pela ideia de um universo estático e pela explicação dos desvios espectrais para o vermelho que ficou conhecida como “luz cansada”, formulada pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974) [5].

É surpreendente que Hubble ainda seja considerado o descobridor da expansão do universo, apesar de ter publicamente se pronunciado cético em relação a ela. Muitos autores de divulgação científica que conviveram com ele sabiam disso, mas continuaram propagando esta visão historicamente errada. Até o ano de sua morte, em 1953 ele permaneceu cauteloso em relação à interpretação cosmológica dos desvios espectrais. Isso levou o historiador Stephen Brush a compará-lo com Planck e Maxwell, pois todos teriam sido “revolucionários cautelosos”, que lidaram com transições abruptas na ciência, contri-

²<http://www.bbc.co.uk/programmes/b00dcbqm>, acesso em julho de 2016.

buindo para a emergência de novas teorias no campo da mecânica quântica e atomismo, mas mantendo-se cautelosos quanto a sua aceitação. Da mesma maneira, Hubble sem dúvida contribuiu muito para a aceitação da teoria da expansão do universo, apesar de jamais ter se manifestado publicamente em sua defesa [8].

A teoria da expansão do universo foi aceita pela maioria da comunidade científica no início da década de 1930. Um marco importante foi o modelo de universo em expansão proposto pelo físico e matemático belga Georges Lemaître (1894-1966), publicado em francês em 1927 [9] em um periódico pouco lido, que foi traduzido quatro anos depois para o inglês, por influência do renomado astrônomo inglês Arthur Eddington (1882-1944) [10]. Em 1927, portanto dois anos antes de Hubble, Lemaître argumentou que os desvios espectrais para o vermelho poderiam ser evidência de que nosso universo está em expansão.

Recentemente, alguns interessados na história da cosmologia redescobriram os artigos de Lemaître, Lundmark e outros astrônomos e físicos que publicaram sobre a relação entre desvios espectrais para o vermelho e a cosmologia na década de 1920. Isso levou a uma série de debates envolvendo disputas de prioridade envolvendo todos esses cientistas, que foi analisada e comentada em artigos [11, 12], em um livro [13] e em atas de conferência [14].

Neste artigo, vamos apresentar os argumentos envolvidos nesta disputa de prioridades e como essas discussões podem ser conduzidas no ensino de cosmologia, não só para que estudantes aprendam conceitos científicos, mas também para que reflitam sobre características da ciência, ou da chamada “natureza da ciência”³.

Uma das principais estratégias que tem sido propostas para conduzir este tipo de discussão é o estudo de episódios históricos [18]⁴. No caso particular da cosmologia, diversas pesquisas tem recomendado a abordagem histórico filosófica para seu ensino, tanto na formação inicial de professores [20, 21], quanto na educação básica [22–24].

2. História da Lei de Hubble

Desde o início do século XX, Vestu M. Slipher (1875-1969), astrônomo estadunidense que trabalhava no Observatório Lowell, em Flagstaff, Arizona, estudava o espectro da luz vinda de estrelas e nebulosas, que eram corpos cuja natureza estava sendo investigada.

Enquanto alguns achavam que as nebulosas seriam corpos relativamente pequenos, fazendo parte do conjunto local de estrelas, outros consideravam que elas seriam conjuntos maiores de estrelas, o que hoje chamamos de “galáxia”. [25].

Em 1913 Slipher observou algo que considerou inesperado: o desvio espectral da nebulosa de Andrômeda era muito grande. As linhas espectrais referentes a cada elemento químico do espectro de Andrômeda tinham um valor de comprimento de onda diferente do valor para essas linhas espectrais quando medidos na Terra. Desvios espectrais de corpos astronômicos já haviam sido medidos anteriormente, e interpretados como causados pelo Efeito Doppler.

Por exemplo, em 1868 o astrônomo inglês William Huggins (1824-1910) havia observado o desvio espectral da estrela Sirius, sugerindo que ela estaria se afastando da Terra com uma velocidade de cerca de 50 km/s [26, p.17].

Em 1913, Slipher sugeriu que a nebulosa de Andrômeda estaria se aproximando do sistema solar com uma velocidade de aproximadamente 300 km/s, a maior velocidade já observada para corpos astronômicos até então. Esse valor tão alto, muito maior do que as velocidades medidas até então para estrelas, animou Slipher, que considerou promissor continuar buscando desvios espectrais para outras nebulosas [27].

Alguns astrônomos se entusiasmaram com estes estudos sobre nebulosas. J. A. Miller afirmou:

“Parece que você encontrou uma mina de ouro e que trabalhando com cuidado pode fazer uma contribuição tão significativa quanto a feita por Kepler, mas de um modo completamente diferente” [26, p.135].

Já outros astrônomos permaneceram céticos, imaginando que velocidades tão altas de aproximação das nebulosas mostrariam que havia algum problema, seja nas observações, seja na interpretação das mesmas como causadas pelo efeito Doppler. Devido ao seu gosto pessoal e, possivelmente, à insipiração obtida ao ver o reconhecimento que Slipher recebeu por suas descobertas, em 1915, o jovem

³Para uma revisão da produção recente sobre “natureza da ciência” e as polêmicas envolvendo a própria definição deste conceito ver [15–17].

⁴Este Handbook apresenta diversas contribuições internacionais sobre o uso de história e filosofia da ciência na educação. Para revisões da produção nacional em história e filosofia da ciência, ver, por exemplo, o Dossiê da Revista Brasileira de História da Ciência [19].

Edwin Hubble passou a se dedicar à astronomia [28, p.97].

Entre 1914 e 1917, Slipher apresentou a medida de velocidades radiais de nebulosas, conseguindo ampliar gradualmente o número de desvios espectrais medidos. Supondo que nosso planeta não se encontra num local privilegiado do cosmo, é plausível pensar que ao observar os espectros de tais nebulosas, algumas delas se afastariam, enquanto outras se aproximariam. É de se esperar também que a distribuição angular de nebulosas que se afastam e que se aproximam seria isotrópica, isto é, igual em todas as direções. Entretanto não foi isso que Slipher observou. Viu que somente quatro corpos tinham desvios para o azul⁵ e os demais tinham desvios para o vermelho [29].

2.1. O Efeito de Sitter

Os primeiros modelos cosmológicos relativísticos foram propostos no ano de 1917, por Albert Einstein [30] e Willem de Sitter [31]. Ao longo da década de 1920 eles ficaram conhecidos como soluções A (Einstein) e B (de Sitter). Como em 1917 estava acontecendo a Primeira Guerra Mundial, a relatividade geral não ficou muito conhecida fora da Alemanha. No entanto, uma vez que a Holanda se manteve neutra durante a guerra, Willem de Sitter pode manter contato com Einstein e agiu como um diplomata, divulgando a relatividade geral para os países de língua inglesa. Além de ser holandês, de Sitter tinha prestígio na comunidade científica da época e fazia parte da Royal Astronomical Society de Londres [32]. Willem de Sitter tinha amplo conhecimento sobre astronomia, e ao contrário de Einstein, logo se interessou em analisar os modelos cosmológicos relativísticos com base em observações astronômicas. Por exemplo, ele estudou um sistema composto por uma partícula orbitando uma massa central (uma estrela), nos modelos de universo de Einstein (solução A) e de Sitter (solução B), propondo estimativas para o raio de curvatura do espaço, com base em resultados conhecidos de estudos astronômicos da época, como a densidade e paralaxe das estrelas, obtendo valores da ordem de um bilhão de unidades astronômicas [33, p.64]. A característica mais marcante do modelo de de Sitter, que fez com que os astrônomos se interessassem por

cosmologia, é que em seu modelo, por mais que a densidade seja nula:

“se houver mais de uma partícula material elas não poderiam ficar em repouso, e se o universo inteiro estivesse preenchido homoganeamente com matéria uma partícula não poderia estar em repouso sem pressão interna ou atrito” [31, p.8].

Portanto, no modelo de de Sitter quando corpos de prova estivessem presentes, eles se espalhariam com uma velocidade proporcional à distância, o que ficou conhecido como “efeito de Sitter”. No entanto, de Sitter não interpretou esse efeito como se os corpos estivessem realmente se afastando por causa da expansão do espaço [32, p.12].

Para ele isso era um resultado particular da métrica do espaço-tempo descrevendo esse tipo de universo. Em suas palavras:

“as linhas espectrais de várias nebulosas distantes devem, portanto, ser sistematicamente desviadas em direção ao vermelho, dando origem a uma velocidade radial positiva” [31, p.26].

Trata-se de uma solução estática, em que o significado físico do desvio espectral era bastante obscuro [34, p. 238].

Willem de Sitter também manteve tanto a constante cosmológica, quanto a imposição de que o universo deveria ser estático. Apesar do estranho “efeito de Sitter” indicar que as galáxias podiam estar se afastando, ele utilizou o termo “velocidade fictícia”, indicando que não adotava uma concepção realista para esse afastamento.

Em 1923, Arthur Eddington escreveu no livro de divulgação *A teoria matemática da relatividade* [35, p. 161] que considerava que o Efeito de Sitter poderia estar relacionado com um dos problemas mais interessantes que estava sendo investigado pelos astrônomos na época: a explicação de uma maioria de desvios espectrais para o vermelho observado por Slipher, que eram interpretados por muitos como evidências de velocidades de afastamento das nebulosas.

Eddington sugeriu que o modelo de de Sitter deveria ser estudado como forma de explicar esse fenômeno, já que a tendência de espalhamento de partículas poderia estar relacionada com o desvio espectral para o vermelho.

⁵Os corpos que atualmente são chamados de NGC 221, 224, 598 e 3031

2.2. Medidas de redshift

A partir de 1920, vários autores fizeram investigações teóricas dos modelos cosmológicos relativísticos, analisando as soluções de Einstein (A) e de de Sitter (B). O “efeito de Sitter” tornou-se muito conhecido ao longo da década de 1920, sendo estudado por diversos astrônomos.

Além de Carl Wirtz, Ludwik Silberstein, os suecos Knut Lundmark e Gustav Strömberg buscaram medir a curvatura do espaço a partir de desvios espectrais de estrelas, aglomerados globulares e/ou nebulosas espirais.

Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939) foi um astrônomo alemão que, em 1924, defendeu que as velocidades radiais positivas das nebulosas espirais crescem significativamente com o aumento da distância [36, p. 152].

A relação não seria linear, mas sim logarítmica, na forma:

$$v = a + b \cdot \log(d) \tag{1}$$

onde v é a velocidade, d é a distância, a e b são constantes [37, p. 143].

O físico Ludwik Silberstein (1872-1948) nasceu em Varsóvia, quando ainda fazia parte do Império Russo. Ele estudou e trabalhou em diversos países (Itália, Alemanha e Inglaterra) até mudar-se para os EUA em 1920, onde se interessou em estudar desvios espectrais de aglomerados globulares [25, p. 144].

Em 1924 Silberstein publicou o livro *A teoria da relatividade* [38], e dois artigos em periódicos [39,40], em que apresentou diagramas do tipo velocidade-distância para aglomerados globulares (Fig.1). Estes são corpos relativamente próximos, com distâncias de até 100 mil anos-luz (ou 30 mil parsecs).

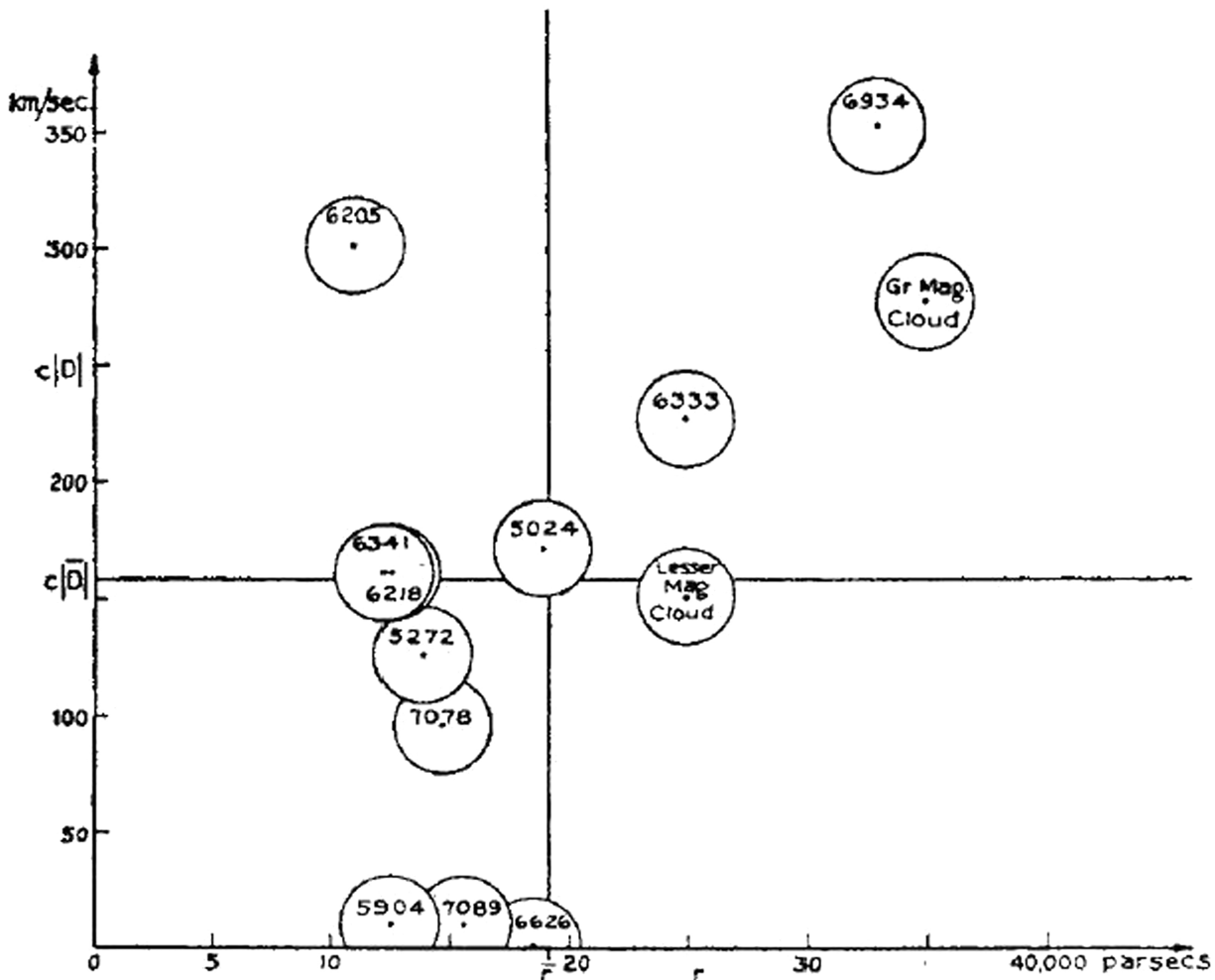


FIG. 1.—Radial velocities and distances of eleven globular clusters and the Magellanic Clouds.

Figura 1: Relação distância – velocidade apresentada por Silberstein em 1924 [39].

Ele encontrou uma relação linear entre os desvios espectrais para o vermelho (redshift) de aglomerados globulares e sua distância do Sol, dada pela relação $z = r/R$ [40], onde z é o desvio espectral, r a distância do aglomerado e R o raio de curvatura do espaço-tempo.

Silberstein fez uma das contribuições mais importantes para os estudos relacionando o efeito de Sitter e as nebulosas, atraindo a atenção de muitos astrônomos para o assunto. Porém, ele escreveu num estilo polêmico, por exemplo, ao criticar o físico alemão Hermann Weyl com palavras fortes, dizendo que ele teria feito “chutes” e assumido “gratuitamente” princípios em suas teses cosmológicas.

Alguns criticaram Silberstein, acusando-o de ter assumido o mesmo “princípio de Weyl” que ele havia criticado [37, p.102]. Porém, as principais críticas contra Silberstein vieram por causa da seleção dos aglomerados globulares que fez para defender uma relação linear entre redshift e distância. Silberstein excluiu de sua análise alguns dos aglomerados cujas distâncias e velocidades eram conhecidas porque elas seriam “pequenas de um modo suspeito”, ou seja, muito menores do que os valores previstos segundo a relação velocidade-distância [41, p.310].

Diversos astrônomos criticaram essa exclusão dos dados que não se encaixavam em sua teoria, de forma que relações entre redshift e distância passaram a ser vistas com desconfiança pela comunidade de astrônomos [32, p.15].

O sueco Lundmark [42, p.750] considerou “lamentável” que das 16 velocidades de aglomerados globulares já publicadas, Silberstein tenha arbitrariamente selecionado apenas 7 por serem maiores que 100 km/s. Para Lundmark parecia evidente que não há boa razão para se excluir os aglomerados que não fornecem um valor constante para a curvatura do espaço.

Utilizando todos os dados disponíveis, Lundmark criou o diagrama apresentado na Fig.2, e argumentou que não se pode chegar a nenhuma relação linear entre redshift e distância para aglomerados globulares. Seu compatriota Gustav Strömberg (1882 – 1962) publicou um estudo revisando as medidas de desvios espectrais e reafirmou a posição de Lundmark [43].

Até mesmo o astrônomo estadunidense Harlow Shapley (1885-1972), que inicialmente havia encorajado os estudos de Silberstein, disse ao astrônomo britânico Arthur Eddington que estava desencora-

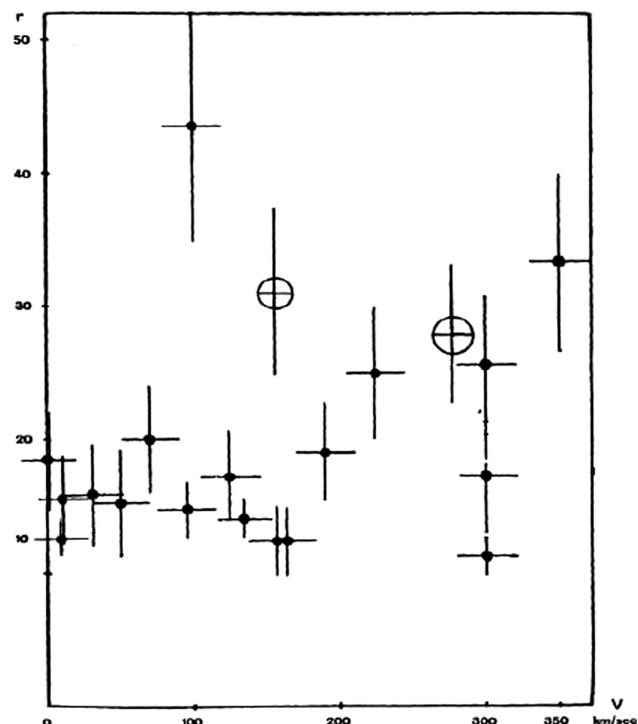


Figura 2: Falta de correlação velocidade-distância para aglomerados globulares [42, p.753].

jando o entusiasmo de alguns de seus estudantes pelo “efeito Silberstein” [25, p.144].

Knut Lundmark (1889-1958) estudou astronomia na universidade de Uppsala, na Suécia, até que foi para os EUA em 1920, onde estudou por dois anos tanto no observatório de Mount Wilson quanto no Observatório Lick, inserindo-se nos debates sobre a natureza das nebulosas e se colocando como um defensor da teoria dos universos-ilha [26, p.105].

Após criticar o trabalho de Silberstein, argumentando que não é adequado estimar a curvatura do espaço com objetos relativamente próximos, como aglomerados globulares, Lundmark decidiu investigar uma possível relação redshift-distância para corpos mais distantes, como cefeidas, novas, certos tipos de estrelas vermelhas e nebulosas espirais [42, p.756].

Ele não encontrou relações redshift-distância conclusivas para nenhum destes tipos de objetos astronômicos, exceto para as nebulosas espirais (Fig.3). Nesse caso, ele utilizou a medida de distância para a nebulosa de Andrômeda como padrão de medida e assumiu que “as dimensões angulares e magnitudes das nebulosas espirais não dependeriam da distância”.

O próprio Lundmark reconheceu a precariedade de seus métodos de medida, baseados numa “hipótese

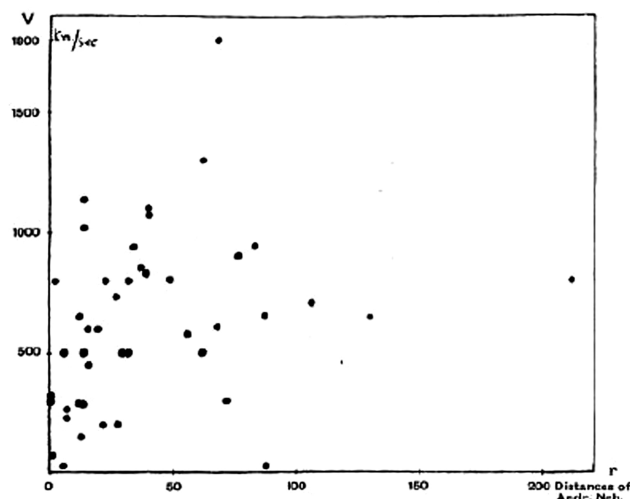


FIG. 5.—Relation between the relative distances (the unit is the distance of the Andromeda nebula) and the measured radial velocities of spiral nebulae.

Figura 3: Relação velocidade-distância para nebulosas espirais [42, p.768].

um tanto grosseira, mas provavelmente a melhor que podemos utilizar no presente”, mas que mostrava “que pode haver uma relação [redshift-distância], embora não seja bem definida” [42, p.767].

Giora Shaviv [44, p.295] comparou os diagramas redshift-distância publicados por Lundmark em 1924 e por Hubble em 1929. Enquanto Hubble utilizou 23 nebulosas, com distâncias até aproximadamente 2 Mpc, Lundmark investigou corpos bem mais distantes, até 40 Mpc.

No entanto, Hubble foi capaz de realizar medidas mais convincentes para as distâncias dessas nebulosas, podendo argumentar com maior confiança que a relação entre redshift e distância é linear.

2.3. Medidas de distância das nebulosas

Georges Lemaitre estudou matemática, física e astronomia na Bélgica e Inglaterra. Entre 1924 e 1925 cruzou o Atlântico para estudar em Cambridge, na Universidade de Harvard e no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Nesse período interagiu com diversos astrônomos estadunidenses, como Harlow Shapley e Edwin Hubble.

Em 1924, alguns meses depois de chegar aos EUA, teve um novo encontro com Eddington em um congresso em Toronto, no Canadá. Lá ele assistiu à apresentação de Ludwig Silberstein que alegava ter encontrado uma relação linear entre desvios espectrais para o vermelho e distâncias para aglomerados globulares, relacionando-a com o modelo de universo estático de de Sitter.

Apesar dos métodos de seleção dos aglomerados globulares de Silberstein terem sido duramente criticados pelos astrônomos, Lemaitre ficou muito interessado no assunto e manteve discussões com o próprio Silberstein, que inspiraram seu trabalho nesta área de pesquisa [45].

Em 1925 Lemaitre assistiu à apresentação de Hubble, relatando sua descoberta, realizada em 1923, de uma cefeida, uma estrela variável, na nebulosa de Andrômeda, que lhe permitiu calcular sua distância em 285 mil parsecs, ou seja, aproximadamente 930 mil anos luz⁶ [46].

Edwin Hubble utilizou o método de medir distâncias estelares desenvolvido pela astrônoma estadunidense Henrietta Leavitt (1868-1921), baseado na relação entre a magnitude absoluta⁷ e o período de variação do brilho das cefeidas. Esse método foi desenvolvido por Harlow Shapley e empregado no estudo de aglomerados globulares. A calibração da curva período-luminosidade de Shapley foi empregada então por Hubble para determinar a distância da nebulosa de Andrômeda em aproximadamente 285 mil parsecs [46].

Lundmark [42] discutiu uma série de métodos diferentes para estimar a distância de Andrômeda, mas nenhum deles era considerado totalmente confiável. Ele adotou uma distância de 200 mil parsecs, um valor próximo do encontrado por Hubble e utilizou essa medida como base para estimar a distância de outras nebulosas, apenas com base nos diâmetros e magnitudes aparentes.

A confiabilidade do método de medida de distância de Hubble superou todos os métodos utilizados anteriormente por astrônomos como Wirtz, Silberstein e Lundmark. Essa descoberta foi importante e muito reconhecida pela comunidade científica na época, pois foi um argumento decisivo a favor da teoria dos “universos-ilha” [25, p.142]. Como o valor de distância encontrado por Hubble é muito maior do que o das estrelas da Via Láctea, a descoberta dele foi vista como um indício de que Andrômeda é um corpo exterior à nossa galáxia. Com o tempo, constatou-se que o mesmo ocorria para outras “nebulosas”, ou seja, as nebulosas eram outras galáxias.

⁶Um parsec equivale a aproximadamente 3,26 anos luz. A medida atual para a distância de Andrômeda é de aproximadamente 2 milhões de anos luz.

⁷Magnitude é uma medida do brilho de uma estrela. A magnitude aparente é o brilho visto da Terra. Já a magnitude absoluta é o brilho intrínseco, que não leva em consideração a distância da estrela.

Lemaître visitou Slipher no Arizona e Hubble em Mount Wilson (Califórnia) no verão de 1925. A descoberta de Hubble motivou Lemaître a investigar com maior detalhe a proposta de Silberstein de relacionar os desvios espectrais para o vermelho ao modelo de de Sitter. Porém agora em vez de analisar a relação redshift-distância dos aglomerados globulares, Lemaître se interessou pelas nebulosas espirais [45].

O estudo de Hubble demonstrou que as nebulosas espirais eram conjuntos de estrelas, muito mais distantes do que todos os corpos apresentados no diagrama de Silberstein, que como vimos era constituído por distâncias até 40 mil parsecs.

2.4. Modelos relativísticos de universo em expansão

Voltando para Louvain, Lemaître publicou um novo modelo correspondente a um universo estático (semelhante ao de Einstein), mas que após certo tempo saiu do equilíbrio e passou a se expandir [9]. Ele redescobriu o modelo relativístico de universo em expansão publicado pelo russo Alexander Friedmann (1888-1925), em 1922, sem conhecê-lo. Lemaître deduziu teoricamente uma expressão para a relação entre os desvios espectrais para o vermelho e a expansão do universo, que levou a uma aproximação linear para a relação entre a velocidade de recessão e a distância do corpo:

$$v = \frac{c \cdot \sqrt{3}}{R_0} \cdot d \quad (2)$$

Nesta equação c é a velocidade da luz, R_0 é o raio de curvatura do universo e d é a distância do corpo. Lemaître inclusive estimou o valor da constante de proporcionalidade, hoje chamada constante de Hubble, utilizando medidas de desvios espectrais para o vermelho de 43 nebulosas espirais apresentadas por Strömberg [43], cuja maioria havia sido medida por Slipher.

Para determinar distâncias, Lemaître utilizou o método desenvolvido por Hubble a partir da relação

$$\log r = 0,2m + 4,04 \quad (3)$$

onde r é a distância em parsec e m a magnitude aparente [26, p.180]

A equação (24) do artigo de Lemaître publicado em 1927 [9, p.56] é a seguinte (Fig.4).

$$\frac{R'}{R} = \frac{v}{rc} = \frac{625 \times 10^6}{10^6 \times 3,08 \times 10^{18} \times 3 \times 10^{10}} = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1} \quad (24)$$

Figura 4: Equação 24 de Lemaître (1927).

Atualmente a grandeza

$$H = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \quad (4)$$

é denominada “constante de Hubble” na grande maioria dos livros de cosmologia. A chamada “lei de Hubble” é a relação $V = H \cdot d$, sendo H o coeficiente angular da reta média traçada nos diagramas de velocidade-distância.

Na equação 24 de Lemaître, vemos que se pode achar uma “constante de Hubble” H com valor de

$$H = 625 \cdot \frac{km}{s.Mpc} \quad (5)$$

Portanto o que é chamado de “lei de Hubble”, ou relação velocidade-distância já aparecia no artigo de Lemaître. Recentemente, ao redescobrir isso, vários interessados na história da cosmologia argumentaram que ela deveria ser rebatizada como “lei de Lemaître” [14, 34, 45, 47, 48].

Numa reconstrução criada com os dados citados por Lemaître, H. Duerbeck encontrou

$$H = 575 \cdot \frac{km}{s.Mpc} \quad (6)$$

Lemaître encontrou Einstein no V Congresso Solvay em 1927, em Bruxelas, quando ocorreram os famosos debates entre o alemão e Bohr sobre a mecânica quântica. Lemaître conversou com Einstein sobre seu modelo de universo em expansão e ficou sabendo por ele que o russo Friedmann já havia encontrado esse modelo de universo em expansão em 1922. Einstein repetiu a sua avaliação dos resultados de Friedmann para Lemaître: “seus cálculos estão corretos, mas o insight físico é abominável” [45].

Em 1928, o cosmólogo estadunidense Howard Robertson (1903-1961) fez o mesmo que Lemaître havia feito no ano anterior: deduziu teoricamente uma relação linear velocidade-distância e a relacionou a observações astronômicas. Utilizou as medidas dos desvios espectrais para o vermelho de Slipher e as medidas de distâncias das nebulosas que Hubble

já havia publicado e mostrou que estes resultados estavam de acordo com a já conhecida relação entre a velocidade e a distância.

Como Robertson era um físico teórico, publicou seu trabalho em um periódico de física, que não era normalmente lido por astrônomos [26, p.148] [49, p.208].

3. Como Hubble se tornou o “descobridor” da expansão do universo

Em 1928, durante a Terceira Assembleia da IAU (União Astronômica Internacional), Lemaître encontrou de Sitter em Leiden. Embora Lemaître tivesse publicado um artigo em 1925 reinterpretando o modelo de de Sitter, e em 1927 tivesse defendido a expansão do universo, os dois cientistas não discutiram essa teoria. Willem de Sitter era presidente da IAU e estava muito ocupado, enquanto Lemaître era um jovem desconhecido [45].

O astrônomo estadunidense Milton Humason (1891-1972), colaborador de Hubble no observatório de Mount Wilson, contou em uma entrevista que Hubble voltou extremamente animado desse congresso por ver que astrônomos discutiam a relação entre os desvios espectrais para o vermelho das nebulosas e a cosmologia. Ele relatou que dois ou três astrônomos haviam sugerido que as nebulosas menos nítidas seriam mais distantes e com maiores desvios espectrais para o vermelho e pediu para Humason verificar isso. Não se sabe ao certo quem seriam esses astrônomos, mas além de Hubble, estavam nessa mesma conferência de Sitter, Lemaître e Lundmark [48].

Nos anos seguintes, Hubble e Humason conseguiram medidas de distâncias e desvios espectrais para o vermelho para corpos mais distantes do que se conseguira até então. Em 1929 Hubble publicou um trabalho em que apresentava as velocidades radiais de 46 nebulosas, com medidas razoavelmente convincentes das distâncias de somente 24 delas. A grande maioria das nebulosas espirais tinha desvios espectrais para o vermelho e havia deslocamentos para o azul apenas para algumas nebulosas mais próximas.

A partir de um cuidadoso estudo das obras que divulgaram a cosmologia relativística na década de 1930, Kragh e Smith [3] mostraram que Hubble só passou a ser chamado de “descobridor” após duas décadas. Robertson, Tolman, Walker e outros auto-

res estadunidenses apresentaram Hubble e Humason como descobridores da relação velocidade – distância, mas nunca como descobridores da expansão do universo.

Um dos primeiros que nomeou Hubble descobridor da expansão foi Einstein, em 1945, no livro *O significado da relatividade*. Pouco tempo depois, essa prática se tornou muito comum, e as expressões “lei de Hubble” e “constante de Hubble” viraram jargões entre cosmólogos.

Como Merton [50] mostrou em seu estudo recheado de exemplos históricos, frequentemente não é o próprio cientista que se engaja nas disputas de prioridade, mas sim seus compatriotas: amigos, admiradores e até mesmo historiadores da ciência com interesse em defender a relevância das contribuições científicas de sua nação. Porém, Edwin Hubble era uma exceção. Ele não se importava em empregar seu tempo em disputas de prioridade, de forma a defender a importância de suas contribuições. Grace Hubble, em uma entrevista realizada por Christianson [28, p.229], reconheceu que seu marido (Edwin Hubble) sofria frequentemente com brigas envolvendo disputas de prioridade com outros cientistas, como Reynolds, Van Maanen e Lundmark. Essa desavença entre Hubble e Lundmark pode explicar por que o sueco acabou sendo quase “apagado da história”, sendo frequentemente esquecido nas histórias da expansão do universo [14, 47].

Já o trabalho de Lemaître de 1927, publicado em francês numa revista pouco conhecida, provavelmente não foi lido por Hubble. Contudo, é estranho que eles não tenham conversado sobre esse trabalho, já que ambos estiveram presentes na Terceira Assembleia da IAU (União Astronômica Internacional) que ocorreu em Leiden em 1928 [48]. de Sitter (que era o presidente da IAU), Lemaître, e Hubble estavam presentes nessa assembleia, de forma que seria esperado que todos ficassem sabendo do artigo de Lemaître de 1927. Isso não aconteceu, e somente em 1931, 3 anos depois, Eddington “descobriria” o artigo do padre belga, estimulando sua tradução e publicação em inglês. Em 1931, Hubble ficou aborrecido com de Sitter, por apresentar a relação velocidade-distância como uma contribuição de diversos astrônomos, e que teria sido proposta pelo próprio de Sitter pela primeira vez. Escreveu-lhe uma carta defendendo que seu artigo de 1929 seria uma apresentação preliminar de um trabalho que envolveu o esforço de meses de trabalho árduo:

Eu considero a relação velocidade-distância, sua formulação, teste e confirmação, como uma contribuição de Mount Wilson e estou profundamente preocupado com seu reconhecimento como tal (...) Nós sempre assumimos que, quando um resultado preliminar é publicado e um programa é anunciado para testar o resultado em novas regiões, a primeira discussão dos novos dados é reservada como uma espécie de cortesia aos que realmente fizeram o trabalho. Deveríamos inferir que você não adere a essa ética; que devemos guardar nossas observações em segredo? Certamente há um mal-entendido em algum lugar [28, p.230].

Numa carta posterior, Hubble defendeu que ele e seu colaborador Milton Humason sentiam

“que a interpretação (dos desvios espectrais das galáxias) deve ser deixada para você [de Sitter] e os outros poucos que são suficientemente competentes para discutir esta questão com autoridade” [26, p.192].

Portanto ele estava interessado em manter sua prioridade como descobridor observacional da relação redshift-distância, mantendo para de Sitter e Lemaître a possibilidade de se considerarem contribuidores teóricos para essa questão. A resposta de de Sitter foi perdida, mas quando Hubble lhe escreveu novamente algumas semanas depois ele estava bem satisfeito. Dois meses depois, de Sitter visitaria Pasadena (EUA), onde junto com Einstein daria a Hubble o crédito pelas observações astronômicas que levaram à aceitação da teoria da expansão do universo [28, p.230].

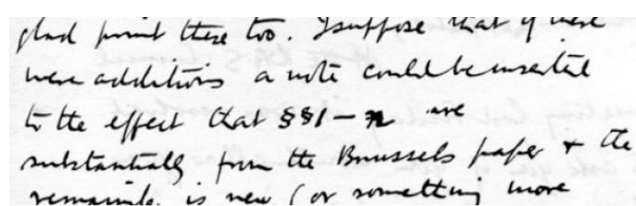
Em 1931 Lemaître foi convidado para traduzir seu artigo de 1927 para o inglês. Porém, curiosamente, vários trechos foram ocultados por ele na tradução. A equação (24), equivale ao que hoje chamamos de lei de Hubble. Porém, Lemaître retirou de sua tradução todas as discussões envolvendo observações astronômicas de desvios espectrais e medidas de distância de nebulosas [48]. Como Hubble não citou Lemaître, Lundmark, e nem mesmo Slipher, criou-se a suspeita de que ele quis propositalmente ocultar as contribuições de outros cientistas. David Block [47] citou diversos casos em que Hubble agiu de modo a enfatizar suas próprias contribuições e esconder as

contribuições de rivais, como Lundmark e Reynolds. Criticou severamente o “eclipse” de Lemaître, insinuando que a tradução de seu artigo para o inglês tenha tido trechos censurados.

Isto seria uma possível influência de Hubble ou Eddington, obrigando-o a aceitar o fato de que Hubble deveria ser considerado o descobridor observacional da relação velocidade-distância, enquanto Lemaître deveria se restringir a apresentar sua contribuição teórica. Como evidência desta acusação, em junho de 2011, Block apresentou uma carta de William Marshall Smart, editor da revista em que a tradução do artigo de Lemaître foi publicada (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*). Para ele, Smart sugeriu que os resultados observacionais de Hubble seriam “mais elegantes” e que Lemaître deveria traduzir seu artigo até o parágrafo 72. O parágrafo seguinte, número 73, é exatamente a equação (24), a versão anterior da “lei de Hubble”. Mario Livio, astrônomo do Space Telescope Science Institute (NASA, EUA) fez uma investigação buscando livrar Hubble das acusações de ter sido responsável pelo ocultamento das contribuições de Lemaître. Argumentou que a carta de Smart seria inocente, não havendo nenhuma evidência de censura ou conspiração contra Lemaître. Para isso, defendeu que Block leu equivocadamente a carta de Smart, que o número 72 seria na verdade a letra “n” [11, p.173].

Analisando a carta apresentada por Block (Fig. 5), consideramos que ele parece estar certo e a defesa de Livio não se sustenta:

Mario Livio também encontrou a resposta de Lemaître a Smart, editor da revista, o que considerou uma “evidência crucial”. Nessa resposta, o padre e cientista belga afirma que ele próprio decidiu não rerepresentar partes de seu artigo de 1927 por não considerar adequado publicar novamente a discussão provisória sobre as velocidades radiais, que não teriam mais interesse em 1930 [11, p.173].



glad print these two. I suppose that if we
were additions a note could be inserted
to the effect that 551 - 72 are
substantially from the Brussels paper & the
remainder is new (or something more

Figura 5: Trecho da carta de Smart a Lemaître em 1931, apresentada por Block [47] como evidência de pressão para o belga desistir de sua equação 24.

Mario Livio considera que Lemaître não estaria obcecado em estabelecer prioridade por sua descoberta original. Como Hubble já publicara resultados mais convincentes em 1929, ele não via motivos para republicar sua contribuição provisória de 1927, quatro anos depois. Ele preferiu ao invés disso publicar um novo artigo e pedir para se juntar à Royal Astronomical Society. Ele foi convidado por Smart e tornou-se um membro em 1939.

4. Considerações finais

Com base nas discussões apresentadas nesta seção, consideramos que uma conclusão evidente é que é inadequado dizer que “Hubble descobriu a expansão do universo em 1929”. Antes de Hubble, Slipher [29] já havia observado os desvios espectrais para o vermelho das nebulosas espirais e de Sitter (1917), Wirtz (1922), Silberstein (1924), Lundmark (1924), Lemaître (1927) e Robertson (1928) haviam investigado a relação redshift-distância como forma de explicar o chamado “efeito de Sitter”. Pode-se até dizer que Hubble estendeu e reinterpretou o programa de pesquisa de Slipher [32, p.16].

A criação da teoria do universo em expansão teve vários colaboradores, em um processo que durou alguns anos, envolvendo tanto aspectos teóricos quanto experimentais. A ideia do universo em expansão surgiu teoricamente em 1922 com Friedmann, observacionalmente com Slipher em 1912, mas só passou a ser aceita na comunidade científica na década de 1930, com a divulgação dos trabalhos de Lemaître de 1927, processo em que Eddington teve papel preponderante.

Olhando a história da ciência com os olhos atuais, numa visão anacrônica, podemos também ver a expansão do universo no modelo de de Sitter de 1917, e até mesmo nas equações da relatividade geral, publicadas por Einstein no mesmo ano.

Não concordamos com os defensores de que a “lei de Hubble” deveria ser renomeada para “lei de Lemaître” (como D. Block [47]) ou “lei de Hubble-Lemaître”. Concordamos com as objeções a essa proposta apresentadas por Raifeartaigh [51]: Lemaître não fez contribuições originais para a lei empírica entre velocidade e distância. Ele se baseou nas observações de desvios espectrais para o vermelho de Slipher e nas medidas de distância de Hubble, calculando apenas um coeficiente de proporção a partir de valores médios dos dados disponíveis, deixando claro

que aquela era uma discussão provisória. Portanto, seria melhor chamá-la de lei de Slipher-Hubble, ou simplesmente de relação redshift-distância, sem dar crédito individual a nenhum destes contribuidores.

Porém, consideramos que Lemaître merece o crédito por ter sido um dos primeiros a defender explicitamente a expansão do universo, reencontrando as soluções teóricas descobertas por Friedmann sem conhecê-las e tendo o privilégio de poder relacioná-las com observações astronômicas. Friedmann não teve essa possibilidade, já que morreu em 1925, um ano depois de Lemaître começar seus estudos sobre a relação entre os desvios espectrais para o vermelho e a cosmologia, em sua visita aos EUA. Lemaître também criou um dos primeiros modelos com um começo no tempo, tornando-se um dos precursores do modelo do Big Bang, que seria desenvolvido posteriormente por George Gamow após a Segunda Guerra Mundial. A principal contribuição de Hubble foi ter utilizado métodos mais convincentes de determinação de distâncias de nebulosas, conseguindo confirmar a hipótese levantada anteriormente por outros astrônomos de que havia uma relação linear entre os desvios espectrais para o vermelho e a distância. Consideramos que na educação básica, em vez de apresentar a expansão do universo como uma descoberta isolada, seria muito mais interessante apresentar a ciência como uma construção coletiva, de forma que não seja tão importante discutir prioridades históricas, sobre quem teria sido o “primeiro” a fazer cada descoberta.

Mesmo na historiografia contemporânea, não há mais o interesse de debater prioridades científicas como forma de buscar quem deveria receber, por justiça, o crédito merecido. Os historiadores da ciência são atualmente céticos sobre o conceito de “descoberta” como um evento discreto para o qual certa pessoa deve receber “crédito” ou “prioridade”. Não é o trabalho do historiador decidir quem deveria receber crédito por uma descoberta, mas sim estudar quem de fato recebeu o crédito e por que [8, p.125].

Para o historiador estadunidense Thomas Kuhn, a tradição dos cientistas de contar os resultados que a comunidade considera importantes faz com que os manuais, os livros utilizados pelos cientistas em sua formação, atribuam os fenômenos naturais particulares às personagens históricas que supostamente os teriam descoberto. Com isso, fazer descobertas individuais torna-se um objetivo para muitos cientistas, o que explica o acontecimento de constantes

disputas por prioridade. Kuhn defendeu que o modo como normalmente se usa o termo “descoberta” induz a erros sobre como ocorre o processo de criação de teorias científicas. Quando se diz que alguém descobriu algo em certa data temos a impressão de um acontecimento pontual e individual, mas isso raramente acontece na história da ciência. Em geral, a descoberta de um novo fenômeno é um processo complexo, que envolve reconhecer tanto que algo ocorre quanto o que ele é:

Muitas descobertas científicas, em particular as mais interessantes e importantes, não são o tipo de evento sobre os quais é apropriado perguntar “onde?” e, sobretudo, “quem?”. Mesmo que todos os dados concebíveis estivessem à disposição, tais questões com frequência não teriam resposta. O fato de persistirmos em fazê-las é, todavia, sintomático de uma inadequação fundamental em nossa imagem da descoberta [52, p.184].

Em um artigo de 1962, republicado posteriormente em 1977 no livro *A tensão essencial*, Kuhn apresentou três episódios históricos normalmente tidos como descobertas pontuais: a do oxigênio (normalmente atribuída a Priestley, Scheele e Lavoisier), do planeta Urano (atribuída a William Herschel) e dos raios-X (atribuída a Röntgen). A partir de um estudo histórico mais detalhado, Kuhn argumentou que os três

começaram com o isolamento experimental ou observacional de uma anomalia, ou seja, com a insuficiência da natureza para confirmar integralmente as expectativas [52, p.191]

Porém, em seguida é preciso reorganizar essa anomalia segundo uma nova visão. Para isso são necessárias novas observações e reflexões contínuas, ensinando outros cientistas a ver as mesmas situações com outros olhos, o que quase sempre leva um período mais ou menos prolongado.

As descobertas têm uma história íntima que lhes é própria, assim como uma pré-história e uma pós-história. Além disso, nesse intervalo de história íntima, delimitado um tanto vagamente, não há um momento ou um dia específico que o historiador pode identificar como o ponto

preciso em que a descoberta foi realizada, por mais completos que sejam seus dados. Em geral, quando vários indivíduos estão envolvidos, é impossível até mesmo identificar qualquer um deles, inequivocamente como o descobridor [52, p.192].

Para os historiadores da ciência Helge Kragh e Robert Smith [3], a descoberta da expansão do universo é um episódio histórico em que esse modelo de Kuhn se aplica adequadamente. Hubble não descobriu a expansão do universo ao publicar seu famoso artigo de 1929.

Para entender melhor como se deu esse complexo processo de criação, consolidação e aceitação da teoria da expansão do universo, acreditamos que estudos deste episódio histórico podem gerar discussões interessantes sobre a natureza da ciência. Portanto, ao trazer estas discussões sobre disputas de prioridade para o ensino de ciências, nossa intenção principal não foi tirar os méritos do trabalho de Hubble, nem fazer “justiça”, atribuindo o crédito ao verdadeiro merecedor. Buscamos, criar subsídios para que reflexões sobre o conceito de descoberta na ciência sejam realizados tanto na formação de professores de ciência, quanto nas aulas da educação básica.

Seria muito mais interessante estudar a história da cosmologia relativística como forma de evidenciar influências de concepções filosóficas, crenças particulares e motivações pessoais dos cientistas no processo de aceitação das teorias; assim como na criação da versão oficial da história da ciência transmitida pelos livros escritos pelos cientistas e divulgadores das ciências. Defendemos que na educação básica não se deve apresentar a história da cosmologia como um conjunto de nomes, fatos e datas como as descobertas realizadas pelos grandes cientistas que devem ser memorizadas pelos alunos.

Seria muito mais interessante apresentar a criação das teorias como um processo estendido por um período e que envolve vários colaboradores.

Agradecimentos

Agradecemos o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, processos 2011/07928-0 e 2013/02218-3; à professora Cibelle Silva que orientou a dissertação de mestrado que deu origem a esta pesquisa, continuada com auxílio dos grupos de pesquisa dos professores João Zanetic

e Ivã Gurgel. Além de agradecer às contribuições de diversos membros destes dois grupos, merecem destaque Domingos Soares e Osvaldo Pessoa Jr. por suas contribuições a este texto durante o exame de qualificação de doutorado e em discussões posteriores.

Referências

- [1] H. Kragh, *Science & Education* **20**, 343 (2011).
- [2] G. Rocha, in: *Ensino de Física – Reflexões, Abordagens & Práticas*, editado por José Carlos O. de Jesus e Gustavo Rodrigues Rocha (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2012), p. 31-42.
- [3] H. Kragh and R.W. Smith, *History of Science*, **41**,141 (2003).
- [4] E. Hubble, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **15**, 168 (1929).
- [5] A.K.T. Assis, M.C.D. Neves and D.S.L. Soares, 2nd Crisis in Cosmology Conference **413**, 255 (2009).
- [6] E. Hubble and R.C. Tolman, *Astrophysical Journal* **82**, 302 (1935).
- [7] E. Hubble, *The Realm of the Nebulae*. (Yale University Press, New Haven, 1936).
- [8] S.G. Brush, *American Journal of Physics*, **70**, 119 (2002).
- [9] G. Lemaître, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* **47**, 49 (1927).
- [10] G. Lemaître, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **91**, 483 (1931).
- [11] M. Livio, *Nature* **479**, 171 (2011).
- [12] H. Nussbaumer and L. Bieri, *The Observatory* **131**, 394 (2011).
- [13] H. Nussbaumer and L. Bieri, *Discovering the Expanding Universe* (Cambridge University Press, Cambridge, 2009).
- [14] M. Way and D. Hunter, *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932*. *Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2013*), ASP Conference Series, 471
- [15] A. Bagdonas, J. Zanetic e I. Gurgel, *Revista Brasileira de História da Ciência* **7**, 242 (2014).
- [16] A. Bagdonas, E. Rozentalski and F. Polati, in: *13th Biennial International Conference of the History, Philosophy and Sociology of Science, and Science Teaching*, Rio de Janeiro, 2015.
- [17] A.F.P. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 703 (2015).
- [18] M.R. Matthews (ed), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (Springer, The Netherlands, 2014).
- [19] T. Forato, A. Guerra e M. Braga, *Revista Brasileira de História da Ciência* **7**, 137 (2014).
- [20] A. Bagdonas and C.C. Silva, *Science & Education* **24**, 1173 (2015).
- [21] L.H.M. Arthurly e L.O.Q. Peduzzi, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 1 (2013).
- [22] A. Bagdonas, *Controvérsias Envolvendo a Natureza da Ciência em Sequências Didáticas Sobre Cosmologia*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2015.
- [23] W. Jardim, *A Abordagem Histórico-Filosófica como Caminho para se Introduzir o Estudo de Cosmologia no Ensino*. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2012.
- [24] K. Skolimowski, *Cosmologia na Teoria e na Prática: Possibilidades e Limitações no Ensino*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2014.
- [25] R. Smith, *Journal of History of Astronomy*, **10**, 133 (1979).
- [26] R. Smith, *The Expanding Universe: Astronomy's "Great Debate", 1900-1931*. (Cambridge University Press, Cambridge, 1982).
- [27] V. Slipher, *Lowell Obs. Bulletin* **2**, 56 (1913).
- [28] G. Christianson, *Edwin Hubble. Mariner of the Nebulae*. (Farrar, Straus and Giroux, New York, 1995).
- [29] V. Slipher, *Proceedings of the American Philosophical Society* **56**, 403 (1917).
- [30] A. Einstein, in: *Cosmological Constants: Papers in Modern Cosmology*, edited by J. Bernstein and G. Feinberg (Columbia University, New York, 1917), p. 16-27.
- [31] W. de Sitter, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **78**, 3, (1917).
- [32] H. Kragh, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. (Princeton University Press, Princeton, 1996).
- [33] N. Herrera, *A dinâmica do Universo: Sir Arthur Eddington e as Cosmologias Relativísticas*. Dissertação de Mestrado, Unicamp, 2002.
- [34] A. Blanchard, in: *Historical Development of Modern Cosmology, ASP Conference Proceedings* (Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2001), p. 237.
- [35] A. Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity*. (Cambridge University Press, Cambridge, 1923).
- [36] S. van den Bergh, *JRASC* **105**, 197 (2011).
- [37] J. North, *Measure of the Universe: A History of Modern Cosmology*. (Dover, New York, 1965).
- [38] L. Silberstein, *The Theory of Relativity*. (McMillan, London, 1924).
- [39] L. Silberstein, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **84**, 363 (1924).
- [40] L. Silberstein, *Nature* **113**, 2849 (1924).
- [41] N.S. Hetherington, *Isis* **62**, 309 (1971).
- [42] K. Lundmark, *Nature*, **84**, 747 (1924).
- [43] G. Stromberg, *The Astrophysical Journal* **61**, 353 (1925).

- [44] G. Shaviv, *Astrophysics and Space Science Library, Volume 387*. (Springer, Berlin, 2012).
- [45] J. Farrell, *The Day Without Yesterday: Lemaître, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology*. (Basic Books, New York, 2005).
- [46] E. Hubble, *The Observatory* **48**, 139 (1925).
- [47] D.L. Block, [arXiv:1106.3928](https://arxiv.org/abs/1106.3928) (2011).
- [48] S. van den Bergh, *JRASC* **105**, 151 (2011).
- [49] E. Harrisson, *Cosmology, The Science of the Universe*. (Cambridge University Press, Cambridge, 1981).
- [50] R.K. Merton, *American Sociological Review* **22**, 635 (1957).
- [51] C. Raifeartaigh, [arXiv:1212.5499](https://arxiv.org/abs/1212.5499) (2012).
- [52] T. Kuhn, *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. (University of Chicago Press, Chicago, 1977).