



No dia 24 de janeiro de 1920, quase um ano após a ocorrência do já então famoso eclipse de Sobral, uma carta assinada por Frank H. Dyson era publicada no jornal *Correio da Manhã*. A carta tinha como objetivo agradecer a colaboração prestada pelo seu destinatário, o Dr. José Jacome d'Oliveira, o então prefeito da cidade, aos astrônomos ingleses Charles Davidson e Andrew Crommelin, que foram a Sobral com o intuito de verificar a existência do "efeito Einstein". Além do agradeci-

mento, polido, mas sincero, dadas as dificuldades existentes para a organização de expedições astronômicas, já que elas exigem um grande suporte logístico, a carta transmitia a informação de que "...a Expedição foi inteiramente bem sucedida...". Ou seja,

as fotografias tiradas pelos astrônomos ingleses comprovaram o desvio da luz pela presença de campos gravitacionais intensos.

Obviamente, contudo, não foi apenas o Dr. José Jacome d'Oliveira a única pessoa a contribuir para o sucesso da expedição. Muitas outras pessoas, conhecidas ou não, tiveram papel nesse evento. Cientistas, políticos e a própria população deram a sua parte. A se crer nos relatos dos participantes da expedição inglesa, de fato, a população de Sobral foi muito prestativa, chegando mesmo a acatar sem protestos um pedido, nada trivial de

A população de Sobral foi muito prestativa, chegando mesmo a acatar sem protestos um pedido feito (em jornal), por Morize: durante o eclipse as pessoas deveriam se manter calmas e em silêncio, o que implicava, por exemplo, não soltarem fogos de artifício, pois estes poderiam atrapalhar a qualidade das chapas fotográficas

ser obedecido, feito também em jornal, pelo astrônomo brasileiro Henrique Morize, a saber: durante o eclipse as pessoas deveriam se manter calmas e em silêncio, o que implicava, por exemplo, não soltarem fogos de artifício, pois estes poderiam atrapalhar a qualidade das chapas fotográficas. Morize, no dia 24 de maio de 1919, publicou no *Correio da Manhã* um extenso artigo, descrevendo como seria o eclipse. Em particular, por que esse seria o principal objetivo da expedição brasileira, comandada pelo próprio

Morize. Nesse artigo encontramos uma descrição de aspectos visuais interessantes, apresentados pelo Sol durante o eclipse, como as protuberâncias. Morize, e aqui encontramos a explicação para o estranho pedido feito aos moradores de Sobral, ignorando o grau de conhecimento da população a respeito de eclipses, mencionou ainda que eles não erram nocivos à saúde humana.

A colaboração prestada pela população da cidade de Sobral não entrou para a história da Ciência. A rigor, nem mesmo a colaboração prestada por Morize, autor de um relatório minucioso e enviado a vários observatórios, possíveis candidatos para o envio de expedições ao Ceará, uma das melhores regiões para a observação do eclipse, é corretamente citada pelos livros que mencionam esse importante evento astronômico. Pouco importa. Não se trata, no pre-

.....
Antonio Augusto Passos Videira
 Universidade do Rio de Janeiro
 e-mail: guto@cbpf.br

O presente trabalho descreve o famoso eclipse solar total de 1919, importante para confirmar uma das predições da teoria da relatividade geral de Albert Einstein (1879-1955), aquela que afirmava a existência de um desvio da trajetória dos raios luminosos. Em particular, são descritos os eventos acontecidos durante o período de organização das duas expedições inglesas responsáveis pela obtenção dos dados empíricos. Comenta-se também a participação brasileira, bem como a preocupação com o comportamento da população da cidade de Sobral.

sente artigo, de contar a história desse eclipse com o intuito de recuperar a participação de Morize e de outros cientistas brasileiros para sanar uma lacuna nos anais da historiografia da Ciência. O meu objetivo com este trabalho é outro: apresentar fatos relacionados à preparação inglesa para que o eclipse solar total de 29 de maio de 1919 fosse um completo sucesso. Se há uma conclusão a ser enfatizada neste artigo, ela pode ser descrita como: as revoluções científicas, caso existam, são cuidadosamente preparadas.

Como veremos neste artigo, a comprovação da teoria da relatividade geral de Einstein resultou do esforço conjunto de cientistas e não-cientistas de vários países, entre os quais do Brasil e da Inglaterra.

Einstein e a teoria da relatividade geral

Aproximadamente dois anos após a criação da teoria da relatividade restrita (TRR), entre outros fantásticos resultados obtidos em 1905, Einstein tomou a decisão de resolver um problema que acometia a teoria newtoniana da gravitação. O problema em questão pode ser resumidamente descrito com as seguintes palavras: no quadro teórico da TRR, o conceito de velocidade é relativo, o que não acontece com o conceito de aceleração. Tal situação faz com que o sistema inercial ocupe um lugar privilegiado na teoria newtoniana. Aos olhos de Einstein, essa situação era sinal de que existia uma incompatibilidade de princípios entre a TRR e a teoria da gravitação formulada por Isaac Newton. Sendo um homem de fortes convicções científicas e adepto do uso de princípios como fonte heurística para a prática da Ciência, Einstein recusou-se a aceitar que os sistemas inerciais desfrutariam de uma situação privilegiada quando comparados aos sistemas não-inerciais. Em fins de 1915, após um imenso esforço intelectual e mesmo físico, Einstein tornou pública a sua teoria da relatividade geral (TRG), com a qual propôs tornar os sistemas não-inerciais 'equivalentes' aos sistemas inerciais. Com a TRG, Einstein procurou cons-

truir uma física válida para todo e qualquer sistema de referência.

No processo de construção da TRG, Einstein usou como um de seus pontos de partida uma observação conhecida desde Galileu: no vácuo, todos os corpos caem do mesmo modo, independentemente de suas naturezas. Einstein ficou maravilhado com a exatidão com que essa lei foi verificada. Tal exatidão fez com que suspeitasse que essa lei não descrevia uma mera propriedade dos corpos em queda livre. Na verdade, ela seria um princípio da natureza, denominado por Einstein de Princípio de Equivalência (PE). Sendo um princípio da natureza, o PE deveria ser aplicado à gravitação, apontando para o fato de que as massas dos corpos, que sofrem a ação de um campo gravitacional qualquer, não interfeririam nas equações que determinam os seus movimentos.

Em sua teoria da gravitação, Newton empregou dois conceitos diferentes de massa: a massa gravitacional, responsável pela presença da força da gravidade, e a massa inercial, que representa a reação de um corpo a uma força qualquer. Desde Newton, sabe-se que essas duas massas

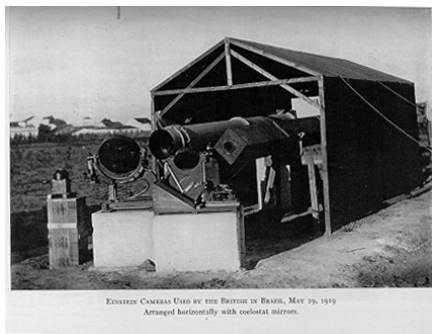
são iguais, o que faz com que as trajetórias dos corpos, sob a ação da força gravitacional (em termos modernos, seria correto falar em campo gravitacional), sejam independentes de suas massas. Essa constatação, já empregada por Newton, ganhou um outro estatuto nas mãos de Einstein, passando a ser considerado um novo princípio físico. De forma muito breve, na gravitação que o físico suíço-alemão propôs em fins de 1915, publicada no início do ano seguinte, os corpos, que se encontram sob a ação de um campo gravitacional, têm as suas trajetórias diretamente determinadas pela massa responsável pelo campo. Uma trajetória, que em uma geometria plana seria retilínea, na teoria de Einstein passou a ser uma geodésica do espaço, tornado curvo devido à presença de corpos maciços.

Desde 1907, ano em que Einstein começou a colocar no papel as idéias que o levariam a TRG, ele tentava extrair algumas conclusões a respeito da gravitação compatibilizada com a TRR. É, inclusive, importante observar que Einstein procurava extrair conseqüências que pudessem ser submetidas ao crivo da experiência. Por essa mesma época, Einstein estava

Em 1915, após imenso esforço intelectual e mesmo físico, Einstein tornou pública a sua teoria da relatividade geral, propondo tornar os sistemas não-inerciais 'equivalentes' aos sistemas inerciais. Assim, ele procurou construir uma física válida para todo e qualquer sistema de referência



Equipes brasileira e inglesa em Sobral, entre outras pessoas. Henrique Morize é o quarto, em pé, da esquerda para a direita. Os astrônomos ingleses estão sentados: A.C.D. Crommelin é o quarto da esquerda para a direita; C.R. Davidson é o quinto (Observatório Nacional/MCT).



Equipamento usado pela equipe inglesa em Sobral (Science Museum/Science and Society Picutre Library).

convencido de que a nova teoria implicaria dois efeitos físicos: 1) os relógios funcionariam mais lentamente nas proximidades de um campo gravitacional intenso e ocorreria uma mudança das frequências em que um átomo emite radiação nas mesmas circunstâncias e 2) o caráter curvo da trajetória da luz no espaço.

Em 1911 Einstein teve uma idéia que lhe permitiu esclarecer o desvio dos raios luminosos ao realizar que poderia aplicar o princípio de Huygens a respeito da propagação em linha reta da luz e as leis de reflexão e refração. Como o efeito é muito fraco, sua medição requer um campo gravitacional muito intenso. Para a sua verificação experimental, seria preciso obter duas fotografias, uma do campo de estrelas durante a passagem do corpo maciço (por exemplo, o Sol) diante dele e outra do mesmo campo de estrelas sem a presença desse corpo, e comparar, nas duas imagens, as posições das estrelas mais próximas da borda desse corpo. Se o efeito existisse, a posição dessas estrelas estaria ligeiramente modificada. Caso o Sol fosse usado como 'corpo teste' para as idéias de Einstein restaria uma outra dificuldade, causada pela luminosidade do Sol, já que esta impediria que as estrelas mais próximas da sua borda fossem fotografadas. Obter as fotografias com o Sol no céu, mas sem a sua luz, seria possível em apenas uma única circunstância: durante um eclipse solar total.

Sobral e o eclipse

Como físico teórico, Einstein não tinha como conseguir sozinho a veri-

ficação experimental necessária. O primeiro astrônomo que o ajudou foi o alemão Erwin Freundlich, do Observatório de Berlim. A primeira tentativa de Freundlich não deu certo, pois ele usou fotografias de estrelas tiradas por ocasião de antigos eclipses, mas que não foram feitas com o objetivo de calcular o desvio da luz. Para isso, seria fundamental poder registrar imagens por ocasião de um eclipse. A importância do eclipse de 1912, que também foi observado do Brasil - mais precisamente no sul do estado de Minas Gerais - foi que ele se constituiria na primeira tentativa de registrar fotograficamente o desvio. No entanto isso não foi possível, pois no dia do eclipse choveu torrencialmente, impedindo toda e qualquer observação. Registre-se também que o personagem central no eclipse de 1919, Eddington, esteve no Brasil para participar do evento. É provável que o primeiro contato de Eddington com as idéias de Einstein tenha ocorrido nesse momento.

O fracasso do eclipse de 1912 não desanimou a comunidade internacional de astrônomos interessada em comprovar as idéias einsteinianas sobre a gravitação. Pouco tempo depois, Henrique Morize, acionado por Charles Perrine, astrônomo norte-americano e diretor do Observatório de Córdoba, na Argentina, começou a trabalhar em um relatório de modo a apontar as condições que reinariam no Brasil por ocasião do eclipse de 1919, o qual seria excepcional em função do seu tempo de duração. Morize escreveu o tal relatório, o qual foi enviado para vários observatórios no mundo. No seu relatório, Morize indicava que a cidade de Sobral, no Ceará, seria um excelente local de observação.

O relatório de Morize foi acolhido, por exemplo, pelo Joint Permanent Eclipse Committee, órgão oficial da Royal Astronomical Society para eclipses. Na época, o astrônomo real era Dyson, o mesmo que redigiu a

carta de agradecimentos mencionada no início deste trabalho. Eddington era o secretário geral dessa mesma associação. Além disso, ele era catedrático de astronomia na Universidade de Cambridge. Atualmente, sabe-se que foi Eddington o principal responsável pela decisão dos ingleses organizarem e enviarem duas expedições diferentes (uma para Sobral e outra para a Ilha de Príncipe, então uma possessão colonial portuguesa na costa ocidental da África) com o único objetivo de comprovar as idéias de um cientista, ainda que apenas formalmente, oriundo de um país inimigo. Não se deve esquecer que a decisão inglesa foi tomada pouco tempo antes do fim da Primeira Guerra Mundial.

As atividades que Eddington realizou em favor da teoria da gravitação de Einstein foram múltiplas. Ele escreveu um dos primeiros textos introdutórios a essa teoria. Divulgou-a junto aos públicos especializado e não-especializado. Para o eclipse de Sobral, a participação de Eddington foi decisiva, não apenas pela influência que exerceu no comitê permanente de eclipses, mas também porque organizou uma propaganda na imprensa que foi muito favorável à recepção das idéias de Einstein. O cientista inglês, ajudado por colegas e membros da imprensa, montou uma cuidadosa estratégia de propaganda nos jornais britânicos. Durante dez meses, o *The Times* publicou vários artigos tratando do eclipse de 1919.

Eddington foi o principal responsável pela decisão dos ingleses organizarem e enviarem duas expedições diferentes com o único objetivo de comprovar as idéias de um cientista, ainda que apenas formalmente, oriundo de um país inimigo

A primeira menção ao eclipse na imprensa foi uma curta nota, intitulada 'Próximo eclipse do Sol', e publicada no dia 13 de janeiro de 1919. Essa nota afirmava que o astrônomo real enviaria proximamente ao norte do Brasil dois astrônomos para a observação do eclipse de final de maio. Três meses depois, um outro artigo, desta feita maior e mais completo, contava sobre os objetivos da expedição, acentuando a sua ligação com

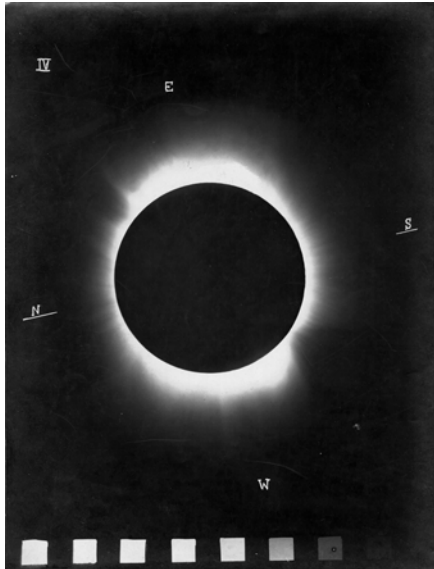


Imagem do eclipse solar de 29 de maio de 1919, foto tirada pela equipe brasileira (Observatório Nacional/MCT).

a teoria da gravitação de Einstein. No próprio dia do eclipse, 29 de maio, saiu uma nota acerca do esquema telegráfico de comunicação entre as expedições e Londres montado para a transmissão de informações relativas ao eclipse. Mesmo após a ocorrência do evento, a população era mantida a par dos trabalhos de análise das imagens obtidas na Ilha de Príncipe e em Sobral. Eddington e Dyson não economizam esforços para criar interesse e expectativa junto à população para os resultados finais.

As duas expedições inglesas embarcaram no dia 8 de março de 1919 para viagens que durariam seis meses; elas se separaram em Lisboa. Duas semanas depois da sua partida, Crommelin e Davidson chegaram ao estado do Pará. Informados de que Morize ainda não chegara a Sobral, os dois partiram para Manaus, onde permaneceram um mês. A expedição inglesa chegou à cidade cearense no dia 26 de abril. Os astrônomos ficaram hospedados na casa de um deputado da cidade, situada em frente à pista de corridas do Jockey Clube, local onde foram instalados os equipamentos usados durante a observação do eclipse.

Segundo o relatório escrito por Crommelin, o dia 29 de maio amanheceu completamente nublado;

algumas horas depois, as nuvens se dissiparam e um clarão abriu-se entre elas. O Sol permaneceu nesse buraco durante praticamente todo o eclipse, possibilitando a realização de fotografias. Do outro lado do Atlântico choveu torrencialmente durante a manhã, mas no momento do eclipse Eddington e Cottingham conseguiram tirar fotografias.

As fotografias, reveladas mais tarde em Londres, apresentaram resultados bem diferentes. daquelas obtidas na Ilha de Príncipe, apenas duas foram usadas, embora registrassem apenas seis ou sete estrelas. A situação em Sobral foi inteiramente outra. Davidson e Crommelin consideraram entre satisfatórias e excelentes as várias placas tiradas com um telescópio de quatro polegadas. Nessas imagens, sete estrelas apareciam nitidamente. Aquelas fotografias tiradas com o astrógrafo de Greenwich continham doze estrelas, as quais apareciam difusamente. A explicação sugerida para isso foi que, no momento do eclipse, a regulação do astrógrafo teria sido alterada em função da queda brusca de temperatura dentro da luneta. Em meados de julho, os dois astrônomos retornaram a Sobral para fotografar o mesmo campo de estrelas, desta vez sem a presença do Sol.

O cálculo da medida do efeito previsto por Einstein não foi um processo simples. Em todas as placas analisadas, as estrelas estavam situadas a alguma distância do Sol. Para calcular o valor do desvio na borda solar era preciso estimar as distâncias de cada uma das estrelas e de seus raios luminosos ao centro do Sol e aplicar a lei do decrescimento do desvio, dada por $1/r$. Além disso, era preciso tomar cuidado com deslocamentos ou rotações nas placas e com a aberração e a refração. Realizada a análise, as medidas obtidas

com as fotografias do telescópio de quatro polegadas foram consideradas as melhores, com um desvio médio 1,98 segundos de arco com uma margem de erro de $\pm 0,12$. As placas do astrógrafo da Ilha de Príncipe deram um valor médio para o desvio de 1,61 segundos de arco com uma margem de erro de $\pm 0,30$. As placas do astrógrafo de Sobral forneceram o valor de 0,97 segundos de arco, o que corresponderia ao valor calculado pela teoria newtoniana. Esse valor, contudo, foi descartado em função da baixa qualidade das imagens. Tal foi, ao menos, a argumentação oficial, o que foi posteriormente contestado. Hoje em dia, permanecem poucas dúvidas com relação ao fato de que Eddington, no que foi acompanhado por Dyson e Davidson, seus companheiros no artigo que apresentou os resultados das expedições, deliberadamente deixou de lado esses resultados.

A participação brasileira

A expedição brasileira, chefiada por Morize e composta por Lélío Gamma, Allyrio de Mattos, Th. H. Lee e Domingos Costa, chegou a Sobral no dia 9 de maio. Morize publicou, em 1920, na *Revista de Ciências*,

O dia 29 de maio amanheceu completamente nublado, mas as nuvens se dissiparam e um clarão abriu-se entre elas. O Sol permaneceu nesse buraco durante praticamente todo o eclipse, possibilitando a realização de fotografias. Em meados de julho, os astrônomos retornaram a Sobral para fotografar o mesmo campo de estrelas sem a presença do Sol

então o órgão oficial da Academia Brasileira de Ciências, um relatório sobre as observações brasileiras. O principal objetivo da expedição brasileira era fazer observações espectroscópicas da coroa solar. Segundo suas próprias palavras: *A forma e a disposição da coroa [solar], assim como*

a indagação espectroscópica de sua composição constituíram, pois, os dois principais assuntos do programa da Comissão Brasileira em sua expedição a Sobral...

Apesar de ter enfrentado problemas com alguns instrumentos, a comissão brasileira conseguiu fazer as observações desejadas, o que

permitiu Morize afirmar, em seu trabalho de 1920, que também os brasileiros tinham alcançado os seus objetivos. Afinal, o que estava em jogo, para Morize, em última instância, era mostrar a competência científica dos cientistas brasileiros, bem como a da instituição da qual ele era o diretor: o Observatório Nacional.

Conclusão: Newton derrubado

A literatura secundária sobre o eclipse de Sobral e a sua contribuição para a confirmação empírica da TRG não deixa dúvidas a respeito do papel de Eddington e da sua preferência por essa teoria em detrimento da gravitação newtoniana. Essa preferência era tão grande que ela levou o astrônomo inglês a deliberadamente escolher as imagens que melhor se adequavam ao propósito de comprovar a 'lei de Einstein', como ele se referia à TRG. No seu trabalho junto à imprensa, Eddington cuidadosa e deliberadamente escolheu um modo de

apresentação das possibilidades de resultados quantitativos que não deixava muitas margens para que a TRG não fosse sancionada pelas conclusões das expedições.

Eddington trabalhou o tempo todo com três possíveis resultados para as medições, todos eles referentes a um raio de luz que praticamente tocasse a borda do disco solar: a) um desvio igual a zero, o que exigiria que se formulasse uma nova compreensão da composição da luz; b) um desvio igual 0,87 segundo de arco (este resultado confirmaria a teoria de Newton); e c) um desvio de 1,75 segundo de arco, explicado pela TRG de Einstein. Ainda que existissem outras explicações potenciais para os diferentes graus de deflexão da luz, tal como, por exemplo, aquela que

Eddington tinha grande preferência pela teoria da relatividade em detrimento da gravitação newtoniana. Essa preferência era tão grande que ela levou o astrônomo inglês a deliberadamente escolher as imagens que melhor se adequavam ao propósito de comprovar a 'lei de Einstein'

que a lei de Einstein (era desse modo que ele se referia à TRG) teria sido confirmada pelas expedições. Silberstein não foi, naquele dia, praticamente ouvido. O responsável pela condução dos trabalhos daquela sessão, J.J. Thomson, o descobridor do elétron, se colocou ao lado daqueles três, apesar de reconhecer publicamente que a audiência não tinha capacidade de auferir completamente o sentido das figuras que foram exibidas. Ele confiava na qualidade e na seriedade da análise levada a cabo por Dyson e Eddington.

Após muito tempo de trabalho, o clima estava maduro o suficiente para que se proclamasse que uma revolução na Ciência havia sido realizada. Vista a partir da perspectiva de uma estratégia deliberada e planejada, a manchete do *The Times*, publicada no dia 7 de novembro, não pareceu exagerada: "Revolution in Science – New Theory of the Universe – Newtonian Ideas Overthrown: Revolução na Ciência – Nova Teoria do Universo – Idéias Newtonianas derrotadas". Começava, então, a construção da fama mundial de Einstein.

Referências

- John Earman and Clark Glymour, The gravitational red shift as a test of general relativity: History and analysis. *Studies in History and Philosophy of Science* **11**, 175 (1980).
- Jean Eisenstaedt and Antonio Augusto Passos Videira, A prova cearense das teorias de Einstein ou como a cidade de Sobral entrou para a história da Ciência. *Ciência Hoje* **20**:115, 25 (1995).
- Henrique Morize: Resultados obtidos pela Comissão Brasileira do eclipse de 29 de maio de 1919. *Revista de Ciências* **3**:IV, 65 (1920).
- Alistair Sponsel, Constructing a 'revolution in science': The campaign to promote a favourable reception for the 1919 solar eclipse experiments. *British Journal of History of Science* **35**, 439 (2002).



Descrição do eclipse e de seus resultados publicado no *Illustrated London News* (Illustrated London News Picture Library).