

A. F. Chalmers



**o
que é
ciência
afinal
?**

editora brasiliense

A. F. CHALMERS

O QUE É CIÊNCIA
AFINAL?

Editora Brasiliense

1993

ALAN F. CHALMERS

O QUE É CIÊNCIA AFINAL?

Tradução: Raul Filker

Editora Brasiliense

1993

Como todos os jovens eu decidi ser um gênio,
mas felizmente o riso interveio.

Cléa, Lawrence Durrell

5. *A Revolução Copernicana*

Era geralmente aceito na Europa medieval que a Terra ficava no centro de um universo finito e o Sol, planetas e estrelas orbitavam em torno dela. A física e a cosmologia que forneciam a moldura na qual estava disposta esta astronomia eram basicamente aquelas desenvolvidas por Aristóteles no século IV a.C. No século II d.C., Ptolomeu projetou um sistema astronômico detalhado que especificava as órbitas da lua, do Sol e de todos os planetas.

Nas primeiras décadas do século XVI, Copérnico projetou uma nova astronomia, uma astronomia envolvendo uma Terra móvel, que desafiava o sistema aristotélico e ptolemaico. De acordo com a visão copernicana, a Terra não é estacionária no centro do universo, mas orbita o Sol junto com os planetas. Na época em que a idéia de Copérnico havia sido concretizada, a visão de um mundo aristotélica fora substituída pela newtoniana. Os detalhes da história desta importante mudança de teoria, uma mudança que ocorreu durante um século e meio, não dão apoio às metodologias defendidas pelos indutivistas e falsificacionistas, e indicam uma necessidade de explicação da ciência e de seu crescimento diferente, mais complexamente estruturada.

Quando Copérnico publicou os detalhes de sua nova astronomia, em 1543, havia muitos argumentos que poderiam ser, e

100

foram, dirigidos contra ela. Esses argumentos, relativos ao conhecimento científico da época, eram sólidos, e Copérnico não pôde defender satisfatoriamente sua teoria contra eles. No sentido de apreciar esta situação, é necessário ter familiaridade com alguns aspectos da visão de mundo aristotélica na qual se baseavam os argumentos contra Copérnico. Segue-se um esboço bem ligeiro de alguns dos pontos relevantes.

O universo aristotélico dividia-se em duas regiões distintas. A região sublunar era a região interna, estendendo-se da Terra central até dentro da órbita lunar. A região sobrelunar era o restante do universo finito, estendendo-se da órbita da lua à esfera das estrelas, e assinalava o limite externo do universo. Nada existia além da esfera externa, nem mesmo espaço. Espaço não preenchido é uma impossibilidade no sistema aristotélico. Todos os objetos celestes na região sobrelunar eram feitos de um elemento incorruptível chamada éter. O éter possuía uma propensão natural a mover-se em torno do centro do universo em círculos perfeitos. A idéia básica foi modificada e aumentada na

astronomia ptolemaica. Visto que observações de posições planetárias em várias épocas não podiam ser conciliadas com órbitas circulares, centradas na Terra, Ptolomeu introduziu no sistema círculos ulteriores, chamados epiciclos. Os planetas moviam-se em círculos, ou epiciclos, e os centros deles moviam-se em círculos em torno da Terra. As órbitas podiam ser ulteriormente refinadas acrescentando-se epiciclos a epiciclos etc., de maneira que o sistema resultante fosse compatível com observações de posições planetárias e capaz de prever suas futuras posições.

Em contraste com o caráter ordenado, regular e incorruptível da região sobrelunar, a região sublunar era marcada pela mudança, crescimento e declínio, geração e corrupção. Todas as substâncias na região sublunar eram misturas dos quatro elementos, ar, terra, fogo e água, e as proporções relativas dos elementos numa mistura determinavam as propriedades da substância por eles constituída. Cada elemento tinha um lugar natural no universo. O lugar natural da Terra era o centro do universo; da água, era a superfície da Terra; do ar, a região imediatamente acima da superfície da Terra; e do fogo, era o topo da atmosfera, próximo à órbita da Lua. Conseqüentemente, cada objeto terrestre teria um lugar natural na região sublu-

101

nar dependendo da proporção relativa dos quatro elementos que ele continha. As pedras, sendo principalmente terra, tinham um lugar natural perto do centro da Terra, enquanto as chamas, sendo principalmente fogo, tinham um lugar natural perto da órbita da lua, e assim por diante. Todos os objetos tinham propensão a se mover em linhas retas, para cima ou para baixo, em direção ao seu lugar natural. Assim, as pedras tinham um movimento natural direto para baixo, em direção ao centro da Terra, e as chamas tinham um movimento natural direto para cima, afastando-se do centro da Terra. Todos os movimentos além dos naturais pressupõem uma causa. Por exemplo, as flechas têm que ser impulsionadas por um arco e as carroças têm que ser puxadas por cavalos.

Este, então, é o esqueleto da mecânica e cosmologia aristotélicas pressuposto pelos contemporâneos de Copérnico, e que era utilizado em argumentos contra a idéia de que a Terra se movia. Vejamos alguns dos mais fortes argumentos contra o sistema copernicano.

Talvez o argumento que constituía a mais séria ameaça a Copérnico fosse o chamado argumento da torre, que explico a seguir. Se a Terra gira sobre seu eixo, como supunha Copérnico, então qualquer ponto da superfície da Terra vai deslocar-se uma distância considerável em um segundo. Se uma pedra é

jogada do alto de uma torre construída sobre a Terra em movimento, ela vai executar seu movimento natural e cair em direção ao centro da Terra. Enquanto ela estiver fazendo isso a torre estará partilhando do movimento da Terra, devido à sua rotação. Conseqüentemente, quando a pedra alcançar a superfície da Terra a torre terá se afastado da posição que ocupava no começo. Esta deverá, portanto, atingir o solo a alguma distância do pé da torre. Mas isso não acontece na prática. A pedra atinge o solo na base da torre. Conclui-se que a Terra não pode estar girando e que a teoria de Copérnico é falsa.

Um outro argumento mecânico contra Copérnico diz respeito a objetos soltos tais como pedras, filósofos etc., que estão sobre a superfície da Terra. Se a Terra gira, por que tais objetos não caem da superfície da Terra, como as pedras cairiam de uma roda em rotação? E se a Terra, enquanto gira, move-se em torno do Sol, por que ela não deixa a Lua para trás?

102

Alguns argumentos contra Copérnico baseados em considerações astronômicas já foram mencionados neste livro. Eles envolviam a ausência de paralaxe nas posições observadas das estrelas e o fato de que Marte e Vênus, quando vistos a olho nu, não mudavam notadamente de tamanho no decorrer do ano.

Por causa dos argumentos que mencionei, e de outros semelhantes, os adeptos da teoria copernicana viram-se diante de sérias dificuldades. O próprio Copérnico estava profundamente imerso na metafísica aristotélica e não tinha resposta adequada para eles.

Em vista da força das circunstâncias contra Copérnico, poder-se-ia muito bem perguntar o que então poderia ser dito a favor da teoria copernicana em 1543. A resposta é “não muito”. A principal atração da teoria copernicana reside na maneira concisa pela qual explicava diversas características do movimento planetário, que só poderiam ser explicadas pela teoria ptolemaica rival de um modo prolixo e artificial. As características são o movimento retrógrado dos planetas e o fato de que, diferentemente dos outros planetas, Mercúrio e Vênus permanecem sempre na proximidade do Sol. Um planeta regressa a intervalos regulares, isto é, interrompe seu movimento em direção a oeste entre as estrelas (como visto da Terra) e por um curto período retoma seu caminho rumo ao leste antes de continuar novamente seu deslocamento para oeste. No sistema ptolemaico, o movimento retrógrado era explicado pela manobra um tanto *ad hoc* de acrescentar epiciclos projetados especialmente para o propósito. No sistema copernicano, não era necessário tal movimento artificial. O movimento retrógrado é uma conseqüência natural do fato de que

a Terra e os planetas juntos orbitam o Sol contra o fundo de estrelas fixas. Observações similares aplicam-se ao problema da constante proximidade do Sol, Mercúrio e Vênus. Esta é uma consequência natural do sistema copernicano uma vez que fica estabelecido que as órbitas de Mercúrio e Vênus estão no interior da órbita da Terra. No sistema ptolemaico, as órbitas do Sol, Mercúrio e Vênus têm que ser artificialmente ligadas para que se alcance o resultado desejado.

Algumas características matemáticas da teoria copernicana estavam a seu favor na época. Fora elas, os dois sistemas rivais estavam mais ou menos pareados no que se referia à simplici-

103

dade e ao acordo com as observações de posições planetárias. Órbitas circulares centradas no Sol não podiam ser conciliadas com a observação, de modo que Copérnico, como Ptolomeu, tinha que acrescentar epiciclos, e o número total de epiciclos necessários para produzir órbitas em conformidade com as observações conhecidas era mais ou menos o mesmo para os dois sistemas. Em 1543, os argumentos a partir da simplicidade matemática que trabalhavam a favor de Copérnico não podiam ser vistos como uma compensação adequada aos argumentos mecânicos e astronômicos que militavam contra ele. Não obstante, vários filósofos naturais matematicamente capazes foram atraídos pelo sistema copernicano, e seus esforços para defendê-lo foram gradativamente bem-sucedidos nos cento e poucos anos seguintes.

A pessoa que contribuiu mais significativamente para a defesa do sistema copernicano foi Galileu. Ele o fez de duas maneiras. Primeiro, usou um telescópio para observar os céus, e dessa forma transformou os dados observacionais que a teoria copernicana tinha que explicar.⁽³⁰⁾ Em segundo lugar, planejou os inícios de uma nova mecânica que deveria substituir a mecânica aristotélica e com referência à qual os argumentos mecânicos contra Copérnico eram desarmados.

Quando, em 1609, Galileu construiu seus primeiros telescópios e experimentou-os nos céus, ele fez descobertas dramáticas. Viu que existiam muitas estrelas invisíveis a olho nu. Viu que Júpiter tinha luas e que a superfície da Lua da Terra era coberta de montanhas e crateras. Observou

³⁰ Minhas observações sobre Galileu e o telescópio e diversos outros aspectos de minha avaliação da física de Galileu partem do relato provocativo de Feyerabend em *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge* (Londres New Left Books, 1975), pp. 69-164.

também que o tamanho aparente de Marte e Vênus, como vistos através do telescópio, mudava da maneira prevista pelo sistema copernicano. Mais tarde, Galileu deveria confirmar que Vênus tinha fases como a Lua, como Copérnico previra mas que se chocava com o sistema ptolemaico. As luas de Júpiter desarmaram o argumento aristotélico contra Copérnico baseado no fato de que a Lua permanecia junto à Terra que, confirmadamente, se movia. Agora os aristotélicos estavam diante do mesmo problema em relação a Júpiter e suas luas, A superfície da Lua seme-

104

lhante à da Terra derrotou a distinção aristotélica entre os céus perfeitos e incorruptíveis e a Terra cambiante e corruptível. A descoberta das fases de Vênus assinalaram um sucesso para os copernicanos e um novo problema para os ptolemaicos. É inegável que, uma vez que as observações feitas por Galileu através de seu telescópio são aceitas, as dificuldades enfrentadas pela teoria copernicana diminuem.

As observações acima sobre Galileu e o telescópio levantam um sério problema epistemológico. Por que observações através de um telescópio deveriam ser preferíveis a observações a olho nu? Uma resposta a esta questão pode utilizar uma teoria ótica do telescópio que explica suas propriedades ampliadoras e também dá uma explicação das várias aberrações às quais podemos esperar que as imagens telescópicas estejam sujeitas. Mas o próprio Galileu não utilizou uma teoria ótica para este propósito. A primeira teoria ótica capaz de dar apoio nessa direção foi projetada pelo contemporâneo de Galileu, Kepler, no início do século XVII, e essa teoria foi aperfeiçoada e ampliada nas décadas seguintes. Uma segunda maneira de enfrentar nossa questão referente à superioridade do telescópio em relação às observações a olho nu é demonstrar a efetividade do telescópio de um modo prático, focalizando-o em torres distantes, navios etc., mostrando como o instrumento aumenta e torna os objetos mais distintamente visíveis. Contudo, há uma dificuldade com este tipo de justificativa do uso do telescópio em astronomia. Quando objetos terrestres são vistos através de um telescópio, é possível separar o objeto visto das aberrações provocadas pelo telescópio devido à familiaridade do observador com uma torre, um navio etc. Isto não se aplica quando um observador vasculha os céus por algo que não sabe o que é. É significativo a este respeito que o desenho de Galileu da superfície da Lua tal como ele a viu através de um telescópio contenha algumas crateras que de fato não existem. Presumivelmente, essas “crateras” eram aberrações oriundas do funcionamento dos telescópios, longe de serem perfeitos, de Galileu. Já foi dito o suficiente neste parágrafo para indicar que a justificativa das

93

observações telescópicas não era assunto simples. Aqueles adversários de Galileu que questionavam suas descobertas não eram todos reacionários estúpidos e teimosos. As justificativas ficaram disponíveis e cada vez mais adequadas à medida que

105

telescópios cada vez melhores foram sendo construídos e teorias óticas de seu funcionamento foram sendo desenvolvidas. Mas tudo isso levou tempo.

A maior contribuição de Galileu à ciência foi sua obra de mecânica. Ele configurou alguns dos fundamentos da mecânica newtoniana que deveria substituir a de Aristóteles. Distinguiu claramente a velocidade da aceleração e assegurou que objetos em queda livre movem-se com uma aceleração constante independente de seu peso, caindo a uma distancia proporcional ao quadrado do tempo da queda. Ele negou a afirmação aristotélica de que todo movimento requer uma causa; em seu lugar, propôs uma lei circular da inércia, de acordo com a qual um objeto em movimento não sujeito a forças pode mover-se indefinidamente num círculo em torno da Terra em velocidade uniforme. Ele analisou o movimento de um projétil determinando-o num componente horizontal movendo-se com velocidade constante obedecendo sua lei de inércia, e um componente vertical sujeito a aceleração constante para baixo. Mostrou que o percurso resultante de um projétil era uma parábola. Desenvolveu o conceito de movimento relativo e argumentou que o movimento uniforme de um sistema não pode ser detectado por meios mecânicos sem acesso a algum ponto de referência fora do sistema.

Esses importantes desenvolvimentos não foram alcançados instantaneamente por Galileu. Emergiram gradualmente por um período de meio século, culminando em seu livro *Two New Sciences*,⁽³¹⁾ publicado pela primeira vez em 1638, quase um século depois da publicação da mais importante obra de Copérnico. Galileu tornou suas novas concepções significativas e cada vez mais precisas por meio de ilustrações e experimentos pensados. Ocasionalmente, Galileu descrevia experimentos reais, por exemplo, experimentos envolvendo o rolamento de esferas em planos inclinados, embora a quantidade destes experimentos que Galileu tenha realmente realizado é uma questão bastante polêmica.

³¹ Galileo Galilei, *Two New Sciences*, trad. Stillman Drake (Madison: University of Wisconsin Press, 1974).

A nova mecânica de Galileu permitiu ao sistema copernicano defender-se contra algumas das objeções antes menciona-

106

das. Um objeto preso ao topo de uma torre e partilhando com a torre um movimento circular em torno do centro da Terra pode continuar nesse movimento junto com a torre depois de cair, e pode, conseqüentemente, atingir o solo no pé da torre. Galileu levou adiante o argumento e afirmou que a exatidão de suas leis da inércia podia ser demonstrada jogando-se uma pedra do topo de um mastro de um navio em movimento uniforme: observar-se-ia que ela atingia o tombadilho no pé do mastro; mas ele não afirmava ter realizado o experimento. Galileu teve menos sucesso ao explicar por que os objetos soltos não despencam da superfície da Terra em rotação. Retrospectivamente, isto pode ser atribuído às inadequações de seu princípio de inércia e de sua falta de uma concepção clara da gravidade enquanto força.

Embora o grosso da obra científica de Galileu tivesse a finalidade de reforçar a teoria copernicana, o próprio Galileu não projetou uma astronomia detalhada, e parece ter seguido os aristotélicos em sua preferência por órbitas circulares. Foi o contemporâneo de Galileu, Kepler, que contribuiu com uma brecha importante nessa direção quando descobriu que cada órbita planetária podia ser representada por uma elipse isolada, com o Sol no foco. Isto eliminou o complexo sistema de epiciclos que tanto Copérnico como Ptolomeu julgavam necessário. Nenhuma simplificação similar é possível no sistema ptolemaico, centrado na Terra. Kepler teve à sua disposição os registros de posições planetárias de Tycho Brahe, que eram mais acurados do que aqueles disponíveis para Copérnico. Depois de uma cuidadosa análise dos dados, Kepler chegou às suas três leis do movimento planetário: os planetas movem-se em órbitas elípticas em torno do Sol; uma linha unindo um planeta ao Sol cobre áreas iguais em tempos iguais; o quadrado do período de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.

Galileu e Kepler certamente fortaleceram a questão em favor da teoria copernicana. Contudo, mais desenvolvimentos eram necessários antes que aquela teoria estivesse seguramente baseada numa física abrangente. Newton foi capaz de tirar vantagem da obra de Galileu, Kepler e outros para construir essa física abrangente que publicou em seu *Principia* em 1687. Ele formulou uma clara concepção de força como a causa da

aceleração em vez do movimento, uma concepção que tinha estado presente de maneira bastante confusa nos escritos de Galileu e Kepler. Newton substituiu a lei da inércia circular de Galileu por sua própria lei da inércia linear, de acordo com a qual os corpos continuam a se mover em linhas retas numa velocidade uniforme a menos que sofram a ação de uma força. Outra contribuição importante de Newton foi, é claro, a lei da gravidade, que possibilitou a Newton explicar a exatidão aproximada das leis do movimento planetário de Kepler e da queda livre de Galileu. No sistema newtoniano os domínios dos corpós celestes e dos corpos terrestres foram unificados, cada conjunto de corpos movendo-se sob a influência de forças de acordo com as leis do movimento de Newton. Uma vez que a física de Newton havia sido elaborada, foi possível aplicá-la em detalhe à astronomia. Tornou-se possível, por exemplo, investigar os detalhes da órbita lunar, levando em conta seu tamanho finito, a rotação da Terra, a oscilação da Terra sobre seu eixo, e assim por diante. Tornou-se também possível investigar o desvio dos planetas da lei de Kepler devido à massa finita do Sol, forças interplanetárias etc. Desenvolvimentos tais como estes deveriam ocupar os sucessores de Newton pelo próximo par de séculos.

A história que esbocei aqui deve ser suficiente para indicar que a Revolução Copernicana não ocorreu a partir da queda de um ou dois chapéus da Torre de Pisa. Ficou claro também que nem os indutivistas nem os falsificacionistas dão um relato da ciência compatível com ela. Os novos conceitos de força e inércia não surgiram como resultado de observação e experimentação cuidadosas. Tampouco surgiram através da falsificação de conjecturas audaciosas e da substituição contínua de uma conjectura audaciosa por outra. As formulações iniciais da nova teoria, envolvendo concepções novas incompletamente formuladas, foram mantidas com perseverança e desenvolvidas a despeito de aparentes falsificações. Apenas depois de um novo sistema de física ter sido projetado – processo que envolveu o trabalho intelectual de muitos cientistas por vários séculos – é que a nova teoria pôde ser comparada com sucesso aos resultados da observação e do experimento de forma detalhada. Nenhuma explicação da ciência pode ser aceita como suficiente a menos que possa acomodar fatores como estes.

OUTRAS LEITURAS

A crítica de Lakatos a tudo com exceção dos tipos mais sofisticados de falsificacionismo está em seu artigo “Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes”, em *Criticism and the Growth of Knowledge*, ed. I. Lakatos e A. Musgrave (Cambridge: Cambridge University Press, 1974), pp. 91-196. Outras críticas clássicas estão em P. Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory* (Nova York: Atheneum, 1962) e W.V.O. Quine no artigo “Two Dogmas of Empiricism”, em seu *From a Logical Point of View* (Nova York: Harper and Row, 1961), pp. 20-46. Explicações históricas da Revolução Copernicana que colocam dificuldades para os falsificacionistas estão em T. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Nova York: Random House, 1959); A. Koyré, *Metaphysics and Measurement* (Londres: Chapman and Hall, 1968); e P. K. Feyerabend, *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge* (Londres: New Left Books, 1975). O artigo de Lakatos, “Popper on Demarcation and Induction”, em *The Philosophy of Karl R. Popper*, ed. P. A. Schilpp (La Salle, Illinois: Open Court, 1974), critica a afirmação falsificacionista por ler resolvido os problemas da indução. Kuhn critica o falsificacionismo em *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: Chicago University Press, 1970) e em “Logic of Discovery or Psychology of Research?”, em *Criticism and the Growth of Knowledge*, ed. Lakatos e Musgrave, pp. 1-23.