

Marcelo Moschetti

A Unificação do Cosmo

O rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Departamento de Filosofia do Instituto de
Filosofia e Ciências Humanas da Universidade
Estadual de Campinas sob orientação da Prof.^a
Dr.^a Fátima Regina Rodrigues Évora

Este exemplar corresponde à redação final da
Dissertação defendida e aprovada pela
Comissão Julgadora em 09 / 08 / 2002.

BANCA

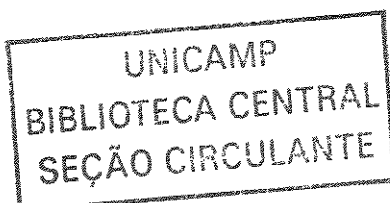
Prof.^a Dr.^a Fátima Regina Rodrigues Évora – IFCH / UNICAMP (Orientadora)

Prof. Dr. Pablo Rúben Mariconda – FFLCH / USP

Prof. Dr. Carlos Arthur Ribeiro do Nascimento – IFCH / UNICAMP

Prof. Dr. Caetano Ernesto Plastino – FFLCH / USP (Suplente)

Agosto
2002



UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

DATA 80
CHAMADA TIUNICAMP
M85u
EX
MBO BC/ 50955
C 16.837/02
DX
CO R\$ 11,00
A 26/09/02
CPD

MO0174318-8

3 10 259059

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IFCH - UNICAMP

Moschetti, Marcelo

M85u

A Unificação do Cosmo. O rompimento de Galileu com a
distinção aristotélica entre céu e Terra /Marcelo Moschetti. -
Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Fátima Regina Rodrigues Évora.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Cam-
pinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas.

1. Galileu, 1564 - 1642. 2. Filosofia da natureza. 3. Cosmo-
logia. I. Évora, Fátima Regina Rodrigues. II. Universidade Es-
tadual de Campinas. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. III.
Título.

Resumo

Segundo A. Koyré, a revolução científica dos séculos XVI e XVII tem como fatores principais o rompimento com a distinção aristotélica entre céu e Terra e a geometrização da natureza. Intimamente ligados, esses fatores destacam Galileu Galilei (1564-1642) como um dos principais artífices da ciência moderna. Esta dissertação refaz, a partir das observações telescópicas de Galileu e da primeira jornada do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo* (1632), o caminho percorrido pelo autor no seu rompimento com a cosmologia dualista da tradição.

Abstract

According to A. Koyré, the two chief factors of the sixteenth and seventeenth centuries scientific revolution are the rejection of the aristotelian distinction between heaven and Earth and the geometrization of nature. These closely connected factors put Galileo Galilei (1564–1642) in relief as one of the leading artificers of modern science. This thesis follows the author's rejection of the traditional dualistic cosmology. To reach its target, the thesis focuses on his telescopic observations and on the first day of the *Dialogue concerning the two chief world systems* (1632).

000245393

*Dedico este trabalho
à Dona Sonia e ao “Seu” Nelson*

Sumário

Agradecimentos	1
Introdução	5
I. A tradição em crise	13
<i>A tradição</i>	15
<i>O estopim (Copérnico)</i>	30
<i>Primeiras conseqüências da crise</i>	45
II. As primeiras observações telescópicas	53
<i>A mensagem das estrelas</i>	55
<i>O cannocchiale</i>	75
III. Mudanças no céu	83
<i>As manchas solares</i>	85
<i>Os cometas e a polêmica com os jesuítas</i>	110
IV. A primeira jornada	123
<i>Movimento em um mundo (geometricamente) ordenado</i>	125
<i>A matéria, o devir e o comportamento da luz</i>	149
Conclusão	167
Ilustrações	173
Bibliografia	183

Agradecimentos

No plano institucional, agradeço à FAPESP, que financiou parte desta pesquisa entre meados de 1998 e o início de 2000 e possibilitou a aquisição pela biblioteca do IFCH / UNICAMP das *Opere* de Galileu. Devo também à instituição agradecimento pelos pareceres da assessoria, cujas críticas e sugestões muito contribuíram no andamento deste trabalho. Agradeço também à FAEP / UNICAMP pelo auxílio-ponte recebido em 1998, enquanto aguardava a aprovação da bolsa de estudos pela FAPESP.

À minha orientadora, Fátima Regina Rodrigues Évora, agradeço pelo apoio em todas as etapas deste trabalho, pelas discussões realizadas e pela paciência que demonstrou diante de um orientando nem sempre ideal. Agradeço também pelo exemplo de seriedade e boa vontade que eu gostaria de ser capaz de seguir.

Agradeço ao “Mestre Yoda” Carlos Arthur Ribeiro do Nascimento pela generosidade de acompanhar este trabalho em diversas etapas de sua elaboração e pelas inestimáveis sugestões. Sou grato também ao professor Pablo Rúben Mariconda, da FFLCH / USP, pelas críticas e sugestões feitas por ocasião do exame de qualificação.

Aos três professores supracitados devo agradecimento pela rara oportunidade de dialogar diretamente com parte significativa da bibliografia brasileira sobre Galileu.

Em etapas diferentes, vários professores do IFCH / UNICAMP contribuíram para a realização deste trabalho: José Carlos Pinto de Oliveira, Oswaldo Giacoia Jr. e Francisco Benjamin de Souza Netto. Particularmente no que se refere às discussões sobre Aristóteles,

agradeço ao professor Lucas Angioni pelos esclarecimentos e críticas. Registro aqui o meu agradecimento a todos os professores responsáveis pela minha formação na pessoa do professor José Cavalcante de Souza, que despertou minha paixão pela filosofia.

Pelo incentivo dado a esta pesquisa, agradeço também às professoras Marilena de Souza Chauí e Regina André Rebollo..

Parte da redação deste trabalho foi feita no Ceará, onde exerci atividades docentes entre 2000 e 2001, e tive a oportunidade de discutir este trabalho com meus alunos do curso de filosofia, aos quais devo agradecer também pela paciência em ouvir a minha ladainha. Entre os cearenses, agradeço especialmente aos colegas de departamento Flávio Telles Melo e Alexandre “pacato cidadão”, não apenas por discutir parte das idéias aqui contidas, mas principalmente pela amizade e pelo apoio.

Aos colegas do seminário sobre a *Física* de Aristóteles - grupo de estudos coordenado pela professora Fátima Évora, agradeço a oportunidade de debater questões centrais desta dissertação. Agradeço também aos colegas e amigos Marcelinho Amaral Penna-Forte, Rochelle Cysne Frota D’Abreu, Guilherme Amaral Luz, Márcio Damin Custódio, Cristiano Novaes Rezende e Claudemir Roque Tossato pelo apoio na realização desta pesquisa. Pelo apoio “logístico” em diversos momentos, agradeço aos amigos Cabeça, Foca, Paulão, e novamente aos primos de Juiz de Fora, Barrica e Bola (respectivamente Marcelinho e Guilherme).

Agradecer aos meus pais é até uma redundância – eu poderia começar falando de quando a Dona Sonia me levava à biblioteca semanalmente, em 197..., ou quando eles compreenderam que não iriam ter um filho médico. Há também o apoio financeiro em todos os momentos, ou o apoio emocional nos mais difíceis, e ainda toda a disposição em ajudar, inclusive na revisão de alguns trechos da dissertação. É um agradecimento que eu

devo por esta e também por qualquer outra coisa que eu venha a fazer. Agradeço também aos meus outros familiares pelo apoio, especialmente pelas muitas velinhas que a velhinha Dona Laura acendeu nesses anos.

Finalmente, agradeço à Maristela por um relacionamento que sobreviveu a dois mestrados simultâneos, três mudanças e várias crises, pelo carinho, pela compreensão e, principalmente, por ela existir.

A Unificação do Cosmo

Introdução

Introdução

A obra de Galileu Galilei (1564-1642) é uma fonte especialmente rica de idéias, posições e procedimentos científicos. Seu estudo mostra que as leituras que se pode fazer da mesma são tantas e tão distintas que justificam a diversidade e o número das propostas dos estudiosos que se dedicaram a caracterizá-lo. Segundo Dijksterhuis

“...Talvez em toda a história da ciência não se possa apontar uma simples figura sobre a qual as opiniões difiram tão largamente quanto sobre Galileu. De fato, ninguém está preparado para desafiar sua grandeza científica ou para negar que ele talvez tenha sido o homem que deu a maior contribuição para o desenvolvimento da ciência clássica. Mas sobre a questão acerca do que precisamente foi sua contribuição e de onde essencialmente está sua grandeza parece não haver unanimidade em absoluto...”¹

A falta de unanimidade na caracterização do pensamento de Galileu se deve à dificuldade em enquadrá-lo nos moldes de qualquer concepção de ciência muito restrita. De fato, ao destacar os elementos principais da obra galileana, cada estudioso privilegia fatores diferentes, caracterizando o autor à sua maneira. Se em alguns estudos sobre outros temas o maior problema é a pouca bibliografia disponível, a abundância dos estudos e a diversidade das opiniões e debates sobre Galileu dificultam as opções teóricas e uma caracterização mais definitiva do autor. O texto galileano, que deveria ser o critério para a solução dessas

dificuldades, parece antes aumentá-las. A escrita de Galileu apresenta, em seus momentos mais admiráveis, a diversidade e a liberdade de estilo características da arte, e não da ciência que se constituiu a partir de sua obra. Ao lado da capacidade de determinar com precisão a articulação lógica (ou falta dela) nos discursos adversários, e de submeter à apreciação geométrica acurada os dados sensíveis, o autor apresenta momentos em que a beleza do discurso visa unicamente a persuasão.

Apesar disso, alguns problemas galileanos são mais tranqüilamente aceitos pela comunidade dos estudiosos, principalmente quando o texto do autor é suficientemente direto e claro. Entre eles está um dos maiores obstáculos que Galileu enfrentou: o princípio aristotélico da inalterabilidade do céu. Ao lado da geometrização do espaço, e estreitamente ligado a ela, Alexandre Koyré destaca que o rompimento com o cosmo hierarquicamente ordenado (isto é, a distinção entre mundo celeste e mundo terrestre), característica central da revolução científica dos séculos XVI e XVII²:

“...significa a destruição de uma idéia de um mundo qualitativamente diferenciado do ponto de vista ontológico. Esta idéia é substituída pela idéia de um Universo aberto, indefinido e até infinito, unificado e governado pelas mesmas leis universais, um Universo no qual todas as coisas pertencem ao mesmo nível do ser, contrariamente à concepção tradicional que distinguia e opunha os dois mundos, do Céu e da Terra. /Doravante, as leis do Céu e as leis da Terra se fundem[...]. Isso implica o desaparecimento, da perspectiva científica, de todas as considerações baseadas no valor, na perfeição, na harmonia e no desígnio. Tais considerações desaparecem no espaço infinito do

¹ DIJKSTERHUIS, *The mechanization of the world picture*. Londres: Oxford University Press, 1969, p. 333.

² KOYRÉ, A., *Estudos de História do Pensamento Científico*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991, p.155.

novos Universos. É nesse novo universo, nesse novo mundo, onde a geometria se faz realidade, que as leis da física clássica encontram valor e aplicação...”³

As características centrais da revolução científica dos séculos XVI e XVII são, segundo essa tese amplamente aceita, o fim da distinção entre céu e Terra e a geometrização do espaço. O rompimento com o cosmo dualista da tradição era para Galileu uma necessidade, como também o era para outros copernicanos: se a Terra deixava de ocupar o centro do universo e passava a ser um planeta como os outros girando ao redor do Sol, considerá-la diferente deles em essência já não fazia mais sentido. Mas o abandono dessa distinção implicava no abandono de toda a tradição, pois significava a retirada de uma das pedras mais fundamentais sobre a qual se apoiava o “edifício” da filosofia natural aristotélica.

Aristóteles (384-322 a. C.) defendeu a distinção, no *De Caelo*, através de três principais argumentos: o argumento sobre a perfeição do círculo - algo que se move circularmente não deve estar sujeito a qualquer tipo de mudança, já que o movimento circular é perfeito e o lugar que tal coisa ocupa continua o mesmo; o confronto com a idéia de contrariedade presente na *Física* - o movimento circular não tem contrário, para que haja qualquer outro tipo de mudança é necessária uma contrariedade, portanto etc.; e o argumento empírico - nunca foi observada qualquer alteração entre os corpos celestes. Os dois primeiros argumentos, filosóficos, são debatidos principalmente no *Diálogo*⁴, enquanto

³ KOYRÉ, 1991, p. 155.

⁴ Utilizou-se a *Edizione Nazionale* das obras de Galileu - FAVARO, A. (ed.), *Le Opere di Galileo Galilei* (20 v.). Reimpressão da Edizione Nazionale. Firenze: Barbèra Editore, 1968. Todas as referências a esta edição trarão simplesmente *Ed. Naz.*. Nas citações do *Diálogo* é utilizada a tradução de P. R. Mariconda (GALILEI, G., *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. São Paulo: Discurso, 2001).

o argumento empírico é refutado através das observações telescópicas de Galileu (também empírica).

O objeto desta dissertação é, principalmente, o rompimento com a distinção entre céu e Terra no texto galileano. Para tanto, contudo, não se pode esquecer do papel desempenhado pela matemática na ciência nascente (o próprio texto galileano não o permite). O autor, declaradamente, lia o livro da natureza através de sua linguagem matemática. Isto é o mesmo que dizer que ele "via" a natureza geometricamente, e que foi isto que permitiu que ele extraísse dados e problemas teóricos da prática dos artesãos e dos pintores. Esta visão geométrica da natureza é, a partir da minha leitura, um dos focos de maior interesse na caracterização de Galileu. Embora um estudo mais específico dessa relação entre os princípios matemáticos e a natureza fosse necessário para esclarecer se e de que maneira a matemática precede ou sucede o recurso à observação (ou seja, se essa física matemática é apriorística, como pretendia Koyré), o estudo da unificação do cosmo operada por Galileu promete trazer alguma luz a essa polêmica.

Diante dos objetivos desta dissertação, o caminho a ser percorrido é o da própria argumentação anti-aristotélica do autor: da refutação empírica - da prova empírica de mudanças e imperfeições no céu, a grande novidade pós-copernicana - até a discussão filosófica sobre os princípios unificados que vieram a determinar a nova ciência da natureza. Com isso se pretende contribuir na caracterização do momento em que foram estabelecidos os princípios da ciência moderna, e também oferecer mais alguns elementos para a discussão sobre a controversa figura de Galileu. O caráter fundamentalmente descritivo deste trabalho é devido às suas pretensões: reconstruir a argumentação galileana contra o dualismo cosmológico de Aristóteles e delimitar o alcance desse rompimento.

Para tanto, a dissertação se compõe de quatro capítulos. O primeiro capítulo se pretende uma breve exposição da situação na qual se insere a questão tratada ao longo da dissertação. Trata-se do rompimento com uma tradição milenar. Assim, é necessário, inicialmente, que se faça uma exposição, tão breve quanto possível, da tradição ptolomaico-aristotélica, tendo em vista o estabelecimento da hierarquização do cosmo com a qual Galileu rompeu e com particular ênfase na defesa desse princípio no *De Caelo*. Segue-se a apresentação das características centrais da astronomia de Ptolomeu. Ainda na primeira parte são feitos alguns apontamentos sobre a história dessa tradição através da Idade Média. Na segunda parte passa-se a tratar da crise na ciência tradicional causada por Copérnico (1473-1543), e na terceira de algumas das primeiras consequências da novidade, sendo a principal delas o modelo semi-heliocêntrico de Tycho Brahe (1546-1601).

As primeiras observações telescópicas de Galileu, contidas no *Sidereus Nuncius*, são o objeto do segundo capítulo, que discute as primeiras observações telescópicas do céu, conforme foram publicadas no *Sidereus Nuncius* (Lua, Júpiter, estrelas); também são tratadas, brevemente, outras observações, como a das fases e da variação do diâmetro aparente do planeta Vênus, através das lentes do telescópio, prova definitiva de sua revolução em torno do Sol (mas ainda sem efeito na comparação entre os modelos copernicano e tychônico). Uma segunda parte trata da construção do telescópio por Galileu e (brevemente) da aceitação dos dados telescópicos como evidências, esclarecendo o papel dessas observações no estabelecimento da nova cosmologia, ainda que não como evidência definitiva.

No terceiro capítulo é tratado um momento de fundamental importância para a compreensão do rompimento com a antiga teoria do mundo: a observação galileana das manchas solares, a principal evidência obtida pelo autor contra a inalterabilidade dos

corpos celestes. Como contraponto, são apresentados alguns aspectos da disputa sobre os cometas na qual Galileu se envolveu alguns anos mais tarde. Nela o autor parece ter dado um passo atrás quanto ao rompimento com a inalterabilidade do céu⁵.

Galileu sintetizou o trajeto percorrido no estabelecimento de sua nova cosmologia na primeira jornada do *Diálogo*. Por esse motivo, o quarto e último capítulo se refere, a partir da análise dessa obra, à argumentação galileana contra os três argumentos de Aristóteles em favor de sua cosmologia dualista. A desconstrução lógica da cosmologia aristotélica é o objetivo da primeira jornada, seguindo a ordem do *De Caelo*: primeiro os dois argumentos teóricos são discutidos e recusados, e, por fim, o argumento empírico é contestado empiricamente, através das evidências contra a distinção entre céu e Terra, coletadas por Galileu durante toda a sua vida, principalmente através das observações telescópicas. A divisão do capítulo segue o andamento dessa primeira jornada: primeiro a discussão mais especulativa relacionada com os dois primeiros argumentos aristotélicos e, em seguida, as evidências contra o terceiro argumento.

⁵ Dada a íntima relação da matematização da natureza com o rompimento com o cosmo hierarquicamente ordenado, objeto desta dissertação, a primeira mereceria um capítulo à parte. Como isto exigiria um trabalho de mais fôlego, muitos comentários são feitos ao longo de toda a dissertação (e principalmente na segunda parte do terceiro capítulo, em referência ao *Ensaíador*).

A Unificação do Cosmo

Cap. I

I

A Tradição em Crise¹

L1. A Tradição

Para compreender a discussão cosmológica de Galileu deve-se inseri-lo no contexto da defesa do copernicanismo e de seu embasamento teórico frente a uma tradição milenar baseada na filosofia natural de Aristóteles e na astronomia de Ptolomeu (séc.II d.C.). Em vista disso, o propósito deste capítulo é expor brevemente a tradição e a crise deflagrada pelo novo modelo heliocêntrico. Dado que se trata apenas de uma contextualização, não se deve esperar, por exemplo, uma exposição completa da filosofia natural de Aristóteles ou mesmo de sua cosmologia. Questões cosmológicas de grande importância como o infinito, o vazio e a pluralidade dos mundos foram deixadas de lado, pois a intenção aqui é apenas apresentar a argumentação de Aristóteles em favor da distinção entre região celeste e região terrestre. Alguns outros elementos surgirão mais adiante, durante a discussão galileana dos princípios aristotélicos. Quanto a outras questões discutidas, como a astronomia de Ptolomeu, a trajetória da tradição até a modernidade, e a crise que se seguiu à publicação do *De Revolutionibus*, a exposição é ainda menos pretensiosa.

O “mundo fechado”² de Aristóteles é esférico, finito, composto de uma série de esferas cristalinas concêntricas girando eternamente ao redor da Terra imóvel. Nesse

¹ Deve-se ressaltar que a palavra crise aqui utilizada não representa um compromisso teórico com as teorias de T. S. Kuhn. Apesar de carregada de significados devido ao seu papel na *Estrutura das Revoluções científicas*, ela ainda é a mais adequada para descrever a maneira com que o novo modelo astronômico tornou urgente uma revisão dos conceitos físicos e cosmológicos tradicionais.

modelo, céu e Terra são radicalmente diferentes. Essa diferença começa pela matéria: a do mundo sublunar corresponde aos quatro elementos (terra, água, ar e fogo) e a do supralunar é o éter, a quintessência. No “mundo terrestre”, ou sublunar, a água se acomoda imediatamente sobre a terra, e o ar sobre as duas, sendo seguido pelo fogo na camada mais externa. O fogo está em contato com a esfera que carrega consigo a Lua, limite inferior (mais próximo da Terra) do “mundo celeste”. Acima dela estão as esferas de cada um dos astros errantes (o Sol e os planetas), e depois da esfera de Saturno uma esfera que carrega todas as estrelas fixas. Os dois mundos ocupam, segundo essa ordenação, lugares bem definidos, e tudo o que há abaixo da esfera da Lua está sujeito aos quatro tipos de mudança previstos na *Física*. Ao céu, a única mudança permitida é o movimento circular, eterno, e que está na base dos argumentos que garantem as outras características da matéria celeste.

No *De Caelo*, a teoria aristotélica dos movimentos naturais³ é o primeiro passo no sentido de distinguir céu e Terra: Aristóteles divide os movimentos em circular, retilíneo e misto, dos quais apenas os dois primeiros são simples, e devem ser atribuídos a corpos simples, formados de um único elemento (mais exatamente, os movimentos naturais são propriedades do elemento). A justificativa para isto tem como base a geometria: entre as linhas, apenas o círculo e a reta são simples⁴. O movimento circular é ao redor de um centro; o movimento retilíneo para cima é a partir do centro; e o retilíneo para baixo é em direção ao centro⁵. Essa divisão permite deduzir entre os três tipos de movimentos segundo

² Repetindo a feliz fórmula de A. KOYRÉ.

³ Os movimentos naturais não necessitam de uma causa externa – são tendências dos corpos de acordo com os elementos que os compõem: circular, ou então para cima ou para baixo, em busca do lugar natural - o lugar próprio - de cada elemento. Qualquer movimento diferente destes é violento (não-natural), possível apenas mediante uma causa externa. O movimento violento é impossível para o mundo celeste, pois, como veremos, para a filosofia peripatética ele é inalterável.

⁴ *De Caelo*, 268b19-20.

⁵ *De Caelo*, 268b20-24. Note-se que, ao definir dessa maneira os movimentos simples, Aristóteles está pressupondo uma esfera e o centro dessa esfera como referência desses movimentos.

linhas simples, a existência dos elementos correspondentes (dado que os corpos simples, isto é, os elementos, devem ter movimentos naturais simples)⁶: o movimento retilíneo para baixo caracteriza o elemento pesado, a terra, em busca do seu lugar, no centro do universo; o fogo, apresenta o movimento natural retilíneo para cima (leveza), em busca do seu; ao éter, a matéria celeste, sem peso ou leveza, corresponde o movimento circular. Em meio à dedução dos elementos, Aristóteles introduziu, "para salvar as aparências"⁷, a distinção entre peso e leveza absolutos e relativos: os elementos "intermediários" seriam relativamente leves e pesados. A água, por semelhança com a terra, tem também a tendência para baixo, acomodando-se sobre a terra, e ar, semelhante ao fogo, acomoda-se abaixo dele e sobre a água e a terra. Tal é a "dedução" aristotélica dos elementos baseada nos movimentos naturais.

Aos corpos compostos de mais de um elemento, chamados de mistos, o movimento que cabe é o do elemento predominante⁸, ou seja, seu movimento será também simples, pois o corpo será uma composição de alguns dos quatro elementos, todos com movimento retilíneo (o movimento resultante certamente será simples, em linha reta). É impossível, dentro do modelo aristotélico, uma composição entre um ou mais dos quatro elementos e o elemento celeste, o que poderia resultar no movimento composto de circular e retilíneo, pois o céu possui características incompatíveis com tal composição. Portanto, os movimentos locais segundo a natureza são sempre simples, de acordo com o *De Caelo*.

Assim como os movimentos naturais retilíneos caracterizam peso e leveza, o movimento natural circular, indício de ausência de peso e leveza, também leva a outras

⁶ 270b26-31.

⁷ CLAVELIN, M, *La philosophie naturelle de Galilée*. Paris: Armand Colin, 1968, p. 41. Clavelin contrasta o apriorismo dessa dedução com a necessidade de introduzir elementos intermediários provenientes da experiência. No *De Caelo*, 311a22.

⁸ *De Caelo*, 268b27-269a2.

propriedades dos corpos movidos. Com base nas diferenças entre os movimentos retilíneo e circular, Aristóteles deduz a distinção essencial entre céu e Terra da seguinte maneira:

“...o círculo é uma das coisas perfeitas, o que não é qualquer linha reta: a reta infinita não o é, por lhe faltar um limite e uma extremidade; quaisquer retas limitadas também não, porque há algo além de cada uma delas que se pode prolongar à vontade. Em consequência, uma vez que um movimento de uma qualidade superior cabe a um corpo superior por natureza; já que o movimento circular é superior ao movimento retilíneo e que o movimento retilíneo cabe aos corpos simples (o fogo, com efeito, move-se em linha reta para o alto, e a terra para baixo, em direção ao centro), é necessário que o movimento circular caiba, ele também, a um corpo simples... a translação dos [corpos] simples se efetua na direção determinada pelo componente que domina a mistura de corpos simples. Destas considerações resulta que existe uma substância corporal diversa das formações terrestres, e que ultrapasse a todas tanto em divindade como em excelência...”⁹

Assim, a partir das diferenças geométricas entre a reta e o círculo, Aristóteles chega à necessidade do elemento celeste e à sua superioridade em divindade e excelência – perfeição - em oposição ao mundo sublunar, que tem como movimento natural o imperfeito movimento retilíneo. Esse é o primeiro argumento a favor da dicotomia cosmológica no *De Caelo*.

O segundo argumento é mais elaborado e sua conclusão precisa mais em que medida os corpos celestes são superiores e como essa teoria se articula com os princípios mais

⁹ *De Caelo*, 269a18-30.

gerais da *Física*. O movimento circular também isenta a matéria celeste de geração e corrupção, pois

“...o que é gerado nasce de um contrário e um subjacente, e (...) o mesmo se passa com a corrupção: é necessário um subjacente, e há, sob a ação de um contrário, a passagem a um contrário (...) Ora, os contrários têm movimentos contrários (...) se o corpo em questão não pode ter nenhum contrário, uma vez que o movimento circular também não o tem, é com justa razão, sem dúvida, que a natureza preservou da contrariedade o ser que não deveria sofrer nem geração nem destruição: a geração e a corrupção se produzem, com efeito, aqui onde há contrários...”¹⁰

A ausência de contrariedade no movimento circular leva Aristóteles a deduzir a ausência de geração e corrupção nos corpos movidos circularmente. Nesse raciocínio está contida como premissa a teoria aristotélica da mudança (na qual estão incluídas geração e corrupção). Para que algo mude é necessário um subjacente e a passagem de um contrário a outro (privação e forma)¹¹. Este modelo é a principal conclusão do livro I da *Física*. Ao longo de todo o livro, Aristóteles questiona quantos e quais são os princípios, e chega ao subjacente e aos contrários, estabelecendo essa relação entre eles durante uma mudança.

Apesar da evidente superioridade de valor da substância inalterável, verifica-se que o assunto mais estudado na *Física* é a mudança. O modelo de mudança (*metabolé*) inclui geração/corrupção e movimento (*kinesis*), sendo que este último pode ser de três tipos: crescimento e diminuição (alteração quantitativa)¹², alteração qualitativa¹³ e mudança de lugar (movimento local). Entre os quatro tipos de mudança, apenas o movimento local

¹⁰ 270a13-22.

¹¹ Ver *Física*, I, 7.

¹² 270a22-25.

ocorre nos corpos celestes. Na *Metafísica*, Aristóteles está se referindo aos corpos celestes quando diz:

“Não é necessário que, se algo tem matéria localmente mutável, esta seja também sujeita a geração e corrupção.”¹⁴

A referência destaca o caráter de exceção da matéria celeste, possível devido à peculiaridade do movimento circular. Para Aristóteles é necessário que toda mudança seja um processo, ou seja, que termine ao alcançar seu objetivo – assim, quando uma porção de terra atinge o solo, seu movimento também termina. Isto é apropriado aos movimentos locais para cima e para baixo (contrários). O movimento circular, por outro lado, é colocado à parte dessa classificação:

“... todas as coisas cessam de se mover quando atingem seus lugares próprios; entretanto, para o corpo movido circularmente, o lugar de onde partiu é idêntico àquele ao qual chegou...”¹⁵

Dessa maneira, o movimento circular não pode ser considerado um processo, pois não possui uma meta, continuando eternamente. Esse movimento escapa à teoria geral da mudança encontrada na *Física*, e isenta o corpo movido circularmente de qualquer outro tipo de mudança: Aristóteles considera os corpos celestes essências naturais, mas eternas e

¹³ 270a25-b4.

¹⁴ 1042b5-6.

¹⁵ 279b1-3.

possuidoras de matéria¹⁶, móveis apenas localmente, mas com um tipo de movimento especial, circular.

A imutabilidade do céu ainda é reforçada, no *De Caelo*, por um último argumento (que viria a ter um papel destacado no nascimento da ciência moderna), empírico (extraído da experiência comum dos homens):

“... Em toda a extensão do passado, se se deve crer nos testemunhos que os homens transmitiram uns aos outros, nenhuma mudança foi observada, nem no céu considerado em seu conjunto, nem em qualquer das partes que lhe são próprias...”¹⁷

Este último argumento, o da não observação de qualquer alteração no céu compõe, com os dois anteriores (perfeição do movimento circular e ausência de contrariedade¹⁸), apriorísticos, a defesa aristotélica da distinção entre celeste e elemental – a base da cosmologia aristotélica. A partir dessa argumentação, Aristóteles conclui que, em oposição aos quatro elementos, os corpos celestes têm as seguintes propriedades:

- não são nem leves nem pesados: para afirmar que os corpos celestes não são nem leves nem pesados, deve-se partir da definição de leve e pesado: leve é o que se afasta do centro e pesado é o que se dirige para o centro; mais leve é o que se situa sobre todos os outros e mais pesado é o que se situa abaixo de todos¹⁹. Como os corpos movidos

¹⁶ 1044b6-8.

¹⁷ 270b14-16.

¹⁸ A referência a estes três argumentos, constante ao longo desta dissertação, utiliza-se da distinção entre *a priori* e *a posteriori*. A terminologia é útil para distinguir dois argumentos especulativos de um terceiro baseado na experiência sensível.

¹⁹ 269b18-26.

circularmente não se afastam nem se aproximam do centro, mantendo sempre a mesma distância, não se pode aplicar a eles os atributos leve ou pesado²⁰;

- são inengendráveis e incorruptíveis: como vimos, se geração e corrupção se dão a partir de contrários, e se os contrários têm movimentos contrários, e se o movimento circular não tem contrário, segue-se que o corpo que se move circularmente é isento de contrariedade e não está, por isso, sujeito à geração e à corrupção;

- não sofrem mudança quanto à quantidade: o que aumenta ou diminui o faz mediante a ação de outra coisa aparentada que se junta à primeira e sofre uma dissolução quanto à matéria, mas não há nada do qual sejam gerados os corpos cujo movimento natural é circular²¹ (eles não são gerados absolutamente);

- são inalteráveis: os corpos que estão sujeitos a acréscimo e diminuição são os mesmos que estão sujeitos à alteração qualitativa, e por isso os que não estão sujeitos a uma também não são afetados pela outra²²;

Aristóteles partiu do movimento circular para chegar às propriedades dos corpos celestes, e delas concluir que o céu é eterno, imutável e impassível²³. Por outro lado, os corpos formados pelos elementos terrestres são sujeitos à geração e à corrupção, crescem ou diminuem e mudam continuamente, ou seja, estão sujeitos aos princípios formulados na *Física*. Dessa maneira as mudanças quanto à essência, à qualidade, e à quantidade ficam limitadas ao mundo sublunar.

É sabido que desde a antiguidade houve adversários desse modelo cosmológico. Segundo P. Moraux²⁴, Xenarco de Seleucia (séc. I a.C.) criticou severamente a

²⁰ 269b29-33.

²¹ *De Caelo*, 269a23-25.

²² *De Caelo*, 269a26-35.

²³ *De Caelo*, 270b1-4.

²⁴ ARISTOTE, *Du Ciel*. Paris: Les Belles Lettres, 1965, p. LVI (introdução de P. Moraux).

argumentação do *De Caelo* em favor da quinta essência; e a teoria do quinto elemento era conhecida nos primeiros anos de nossa era por filósofos como Alexandre de Afrodísia, Jâmblico, Plotino, Porfírio e Proclo, e aceita por alguns com maiores ou menores adaptações.

O cristão neoplatônico João Filopono, em polêmica contra o célebre comentador de Aristóteles, Simplicio, seu contemporâneo, negou a distinção essencial entre céu e Terra no séc. VI. Redescoberto no fim do século XIX pelos estudiosos, Filopono foi um importante adversário das teses físicas e cosmológicas de Aristóteles²⁵. Entre as muitas idéias relevantes contidas no *Contra Aristóteles*, há uma passagem em que Filopono questiona a relação que Aristóteles estabelece entre os movimentos e a natureza do corpo movido. A passagem é interessante, no mínimo, em vista de uma posterior comparação com a argumentação galileiana contra a mesma tese:

“... Se [corpos] que são diferentes por natureza como terra e água podem se mover com o mesmo movimento, [então] convertendo [a sentença] em negação, dir-se-á: não há nada que impeça que corpos que se movem com movimentos diferentes sejam da mesma natureza. Portanto, mesmo que o céu se mova com movimento circular enquanto os [corpos] sublunares [movem-se] em [linha] reta, ainda assim nada há que impeça o céu de ser da mesma natureza e tão perecível quanto os corpos sublunares...”²⁶

²⁵ Sobre a redescoberta de Filopono e algumas de suas teses mais importantes ver ÉVORA, F. R. R., A Origem do conceito do ‘Impetus’. In: Cad. Hist. Fil. Ciência, s. 3, v.5, n. 1-2, 1995, p. 281-305.

²⁶ Filopono, *Contra Aristóteles*, fr. 4. Apud Lucchetta, G. A., I Commentaria e la Trasformazione della cosmologia peripatetica: recenti pubblicazioni e nuovi problemi. In: Arch. Int. D’Histoire des Sciences, 1990, v. 40, p213.

De fato, a relação que Aristóteles estabelece entre os movimentos e as naturezas dos movidos, deduzindo estas dos primeiros esbarra nesse problema: se a diferença entre os movimentos é suficiente para que se conclua que os corpos movidos são de naturezas diferentes, não se pode explicar como é possível que água e terra tenham o mesmo movimento, retilíneo para baixo, e naturezas diferentes. Assim, dever-se-ia abandonar o argumento que conclui a existência de um quinto elemento, diverso dos quatro terrestres, a partir da diferença entre movimentos retilíneo e circular²⁷. Na passagem, Filopono ataca o ponto fraco da dedução dos elementos a partir dos movimentos naturais: a introdução *a posteriori* dos elementos intermediários, estranhos ao argumento aristotélico. O contexto era o do rompimento com o dualismo cosmológico aristotélico, que significava a aplicação das mesmas leis aos movimentos celestes e terrestres, além da mesma matéria, os quatro elementos²⁸, a todo o cosmo. Outras discussões relevantes foram feitas por Filopono contra a filosofia peripatética, sobre temas como a impossibilidade do vazio e o lançamento de projéteis.

Em um estudo sobre os antecedentes do conceito de inércia, Évora²⁹ estabelece uma conexão entre Filopono e a tradição árabe, e a volta de suas teses ao mundo cristão através de autores como Avicena. Estas teriam influenciado as discussões de Buridan e Oresme no séc. XIV sobre o nascente conceito de *impetus*, o precursor mais próximo da inércia moderna.

²⁷ A desconstrução lógica desse texto aristotélico será também o objetivo de Galileu na primeira jornada do *Diálogo*.

²⁸ Subjacente aos elementos estaria a extensão tridimensional, comum a toda a matéria, idéia que lembra a identificação cartesiana entre espaço e matéria. ÉVORA, F. R. R., "Filopono e Alexandria e a crítica ao conceito de matéria-prima". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, s. 3, v. 10, n. 1, p. 60 e 72.

²⁹ ÉVORA, F. R. R., "A origem do conceito de *impetus*". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, s.3, v.5, 1995, p. 281-305.

Assim como a tese de Filopono da força motriz impressa e incorpórea, “ancestral” do *impetus* e da inércia, muito das obras filosóficas e científicas da antigüidade e dos pensadores árabes que lhe deram continuidade chegaram aos cristãos a partir do séc. XII, e começaram a ser traduzidas para o latim, inicialmente a partir do árabe. Gerardo de Cremona (1114-1187), por exemplo, um dos principais tradutores da Idade Média, foi a Toledo interessado na astronomia ptolomaica, onde, após se impressionar com a quantidade de obras importantes que lá se encontravam, aprendeu o árabe e traduziu setenta e um títulos dessa língua para o latim, entre os quais alguns trabalhos de Aristóteles, como a *Metafísica*. No século XIII o Ocidente passou a ter em mãos alguns originais gregos, podendo então traduzir diretamente do original. O dominicano Guilherme de Moerbeke (1215-1286) traduziu quarenta e nove obras diretamente do grego, vinte das quais de Aristóteles³⁰.

Antes disso, a cristandade teve que se conformar durante séculos com uma herança lacunar da antigüidade, e os cristãos dos séculos XII e XIII parecem ter recebido com avidez a filosofia aristotélica e a de seus comentadores árabes. Tal sistematização do saber como ocorre no *Corpus Aristotelicum* não poderia deixar de influenciar decisivamente a cultura do ocidente medieval. Uma das conseqüências mais imediatas e importantes desta apropriação da herança antiga pelos cristãos é a filosofia tomista. Tomás de Aquino (1225-1274), principal responsável pela conciliação da herança grega com os dogmas cristãos, destacou ainda mais a dicotomia do cosmo aristotélico, inspirado pela importância dada pelo neoplatonismo, especialmente o Pseudo-Dionísio (séc. V/VI), às distinções hierárquicas. Obviamente ele não pôde aceitar algumas teses de Aristóteles, como a eternidade dos céus (e do mundo). Mas, aceitando as propriedades dos corpos celestes,

³⁰ Ver GRANT, E., *A source book in medieval science*. Cambridge: Harvard University Press, 1974.

aproximou-os dos anjos, por serem também únicos em sua espécie, e destacando algumas consequências da incorruptibilidade típicas da sensibilidade medieval: estavam isentos de imperfeição, exceção e monstruosidade. Além disso, somou ao céu peripatético o céu empíreo, por razões teológicas³¹, e também o cristalino. Outros contemporâneos somaram mais ou menos esferas ao modelo antigo.

Algumas teses mais específicas da filosofia natural de Aristóteles, contudo, não foram aceitas tão facilmente pela Igreja. Diversas proibições e condenações ao longo do século XIII expressam essa dificuldade (inclusive de algumas teses do próprio Tomás, nos primeiros tempos de sua difusão). A mais comentada das condenações é a de 1277. Neste ano, diante do fracasso das tentativas anteriores, Étienne Tempier, bispo de Paris, condenou 219 proposições aristotélicas ou baseadas no aristotelismo, a maioria das quais devido à limitação dos poderes de Deus (ex. o vazio é impossível, ou Deus não poderia criar outros mundos mesmo se quisesse). Pierre Duhem defende que esta condenação teria influenciado decisivamente as discussões que foram feitas no século seguinte por Buridan (1300?-1358) e Oresme (1323?-1382), o que tornaria um estranho às discussões da filosofia da natureza (Tempier) o responsável pelo nascimento da ciência moderna. De fato os nominalistas parisienses (Buridan e Oresme) muito contribuíram na discussão da dinâmica e da cosmologia tradicionais, chegando a soluções próximas daquelas encontradas nos séculos XVI e XVII pela nascente ciência moderna, mas sem ameaçar a tradição. A tradição ptolomaico-aristotélica sobreviveu à Idade Média, e ainda era praticamente consensual até o século XVI.

Talvez o melhor testemunho do senso comum entre os estudiosos medievais seja o *Tratado da Esfera*, de João de Sacrobosco, que foi muito utilizado no estudo elementar de

³¹ LITT, T., *Les Corps Célestes dans l'Univers de Saint Thomas D'Aquin*. Paris: Béatrice-Nauwelaerts, 1963.

astronomia entre os séculos XIII e XVII. No texto, a distinção entre céu e Terra aparece da seguinte maneira:

“... A universal máquina do mundo se divide em duas partes: celestial e elementar. A parte elementar é sujeita à continua alteração e divide-se em quatro: Terra, a qual está como centro do mundo no meio assentada, segue-se logo a Água e ao redor dela o Ar, e logo o fogo puro que chega ao céu da Lua, segundo diz Aristóteles no livro dos meteoros, porque assim assentou Deus glorioso e alto. E estes quatro são chamados elementos, os quais uns pelos outros se alteram, corrompem e tornam a gerar [...] Junto da região dos elementos está logo a região celestial lúcida, e pelo seu ser imutável é livre de toda a mudança, tem contínuo movimento circular e chamaram-lhe os filósofos Quinta Essência...”³²

Essa simples descrição do esquema tradicional não apresenta nada de original, e não há na obra qualquer discussão mais aprofundada da dicotomia aristotélica. Ainda assim, a grande difusão do tratado e suas qualidades didáticas conferem a ele grande importância. O próprio Galileu viria a escrever, nos últimos anos do século XVI, um tratado homônimo que utilizava no ensino da ciência tradicional.

Deve-se lembrar que o modelo cosmológico aristotélico formava a tradição milenar que chegaria aos séculos XVI e XVII ligado à astronomia de Cláudio Ptolomeu de Alexandria (séc. II d.C.) de uma maneira muito particular. Ptolomeu uniu observações astronômicas à sua engenhosidade matemática de modo a calcular o movimento aparente dos astros através de dispositivos geométricos³³. A partir do modelo exposto na principal

³² SACROBOSCO, J., *Tratado da Esfera*. Trad. de Pedro Nunes. São Paulo: Nova Stella, 1991, p. 30-31.

³³ Epíclois, deferentes, excêntricos e equantes. O sistema de epíclo-deferente é anterior a Ptolomeu, e “...é composto, na sua forma mais simplificada, de um pequeno círculo (o epíclo) que gira uniformemente ao

obra de Ptolomeu, o *Almagesto*, os astrônomos realizaram, até o Renascimento, previsões com considerável precisão. Quanto à cosmologia presente no *Almagesto*, pode-se dizer que ela é essencialmente aristotélica, como se poderia esperar de idéias que formam uma mesma tradição. Há, contudo, uma dificuldade: os inúmeros círculos que ele utilizava para descrever os movimentos de cada astro eram incompatíveis com a idéia de céu composto de esferas cristalinas. A dificuldade é resolvida quando se leva em conta uma certa concepção de ciência. Como lembra Tomas Kuhn:

“...os cientistas helenísticos aceitavam sem nenhum mal estar aparente uma tácita e parcial separação entre a astronomia e a cosmologia. Segundo seu ponto de vista, um método matemático satisfatório para prever a posição dos planetas não tinha por que estar em completo acordo com as exigências psicológicas de verosimilhança cosmológica...”³⁴

O conflito entre cosmologia e astronomia, na obra de Ptolomeu, seria então superado, já que a segunda não pretendia descrever a realidade, mas apenas fazer previsões sobre a posição aparente dos astros no céu, ou seja, seu objetivo seria “salvar as aparências”. Embora seja discutível se Ptolomeu pretendia ou não descrever a real estrutura do universo, uma vez que ele não se pronuncia por escrito nas obras que chegaram até nós, é certo que ele foi interpretado dessa maneira pela tradição que dele se serviu, e é certo

redor de um ponto situado sobre a circunferência de um segundo círculo em rotação (o deferente)...” (ÉVORA, 1993, v. 1, p. 57). O movimento seria descrito pelo planeta sobre uma circunferência cujo centro se move sobre o deferente em torno de outro centro, onde está situada a Terra. Excêntrico é um ponto diferente do centro da Terra, ao redor do qual gira um planeta. Um equante é um ponto excêntrico no círculo descrito por um planeta ou um epíciclo. O planeta ou epíciclo se move com velocidade angular constante em relação a um ponto que não é nem o centro do círculo descrito por ele, nem mesmo o centro da Terra. O equante foi criado por Ptolomeu diante do problema de descrever os movimentos do Sol e da Lua (ver ÉVORA, idem, p. 65-67).

³⁴ KUHN, T. S., *The Copernican Revolution*. Massachusetts: Cambridge, 1957, p. 104.

também que os contemporâneos de Copérnico serviam-se do modelo ptolomaico sem tomá-lo como verdadeiro.

Essa concepção utilitarista de ciência sem compromisso com a realidade é chamada de instrumentalista. A oposição entre instrumentalismo e realismo, defendida por Pierre Duhem, ainda é muito utilizada, apesar das críticas relevantes e bem fundamentadas que foram feitas a respeito de sua insuficiência para a compreensão da história da ciência³⁵. Mesmo havendo motivos suficientes para que se abandone a oposição, e que seja necessário deixar de lado a idéia simplificadora de “realismo” ou “essencialismo”, o conceito de instrumentalismo ainda parece bastante claro e adequado para descrever a atitude dos astrônomos medievais frente ao conflito entre os cálculos de Ptolomeu e a cosmologia de Aristóteles. Seria um exagero, entretanto, dizer que a postura instrumentalista diante da astronomia era unânime. Al-Bitruji, importante estudioso do Islã medieval, chegou a propor uma teoria astronômica mais compatível com as teses aristotélicas³⁶ que foi aceita por parte dos estudiosos medievais, ainda que não servisse aos astrônomos para seus cálculos, e Averrões também defendia “a idéia de que a astronomia devia fazer mais do que simplesmente salvar as aparências, devendo também se ocupar das verdadeiras causas dos movimentos celestes”³⁷. É certo, entretanto, que esse debate teria grande importância com surgimento do modelo copernicano diante de uma tradição instrumentalista.

³⁵ Ver FINNOCHIARO, M., To save the phenomena: Duhem on Galileo. In: *Revue Int. De Philosophie*, 3/1992, n.182, p. 291-310. Ver também MARICONDA, P.R., Duhem e Galileu (uma reavaliação da leitura duhemiana de Galileu). In: ÉVORA, F.R.R. (ed.), *Século XIX: O Nascimento da Ciência Contemporânea*. Campinas: CLE/UNICAMP, 1992, p. 123-160.

³⁶ Ver DIJKSTERHUIS, 1969, p. 112.

³⁷ LAUDAN, L., “Teorias do método científico de Platão a Mach”. In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, s. 3, v. 10, n. 2, p. 34.

I.2. O estopim (Copérnico)

A revolução científica que levou à síntese newtoniana, muitas vezes chamada de copernicana, é obra de diversos autores. Entre eles, Copérnico deve seu destaque às dificuldades teóricas intransponíveis que criou para a tradição ptolomaico-aristotélica, ao oferecer uma nova perspectiva para a astronomia. Seu modelo astronômico anunciava a união entre astronomia e cosmologia, uma cosmologia que rompia com princípios básicos da filosofia natural tradicional. Aceitar o modelo heliocêntrico como a real estrutura do universo significava abandonar a tradição, e implicava na necessidade de uma nova teoria física capaz de sustentar a novidade.

As idéias de Copérnico já eram conhecidas tempos antes de serem impressas. O *Comentariolus*, um resumo de sua teoria, feito provavelmente a pedido de amigos, circulou em forma de manuscrito, causando forte impressão entre os estudiosos. Em 1531 Copérnico era satirizado no teatro³⁸. Em 1540 foi publicada a *Narratio Prima de Libris Revolutionum* de Georg Joachim Rethicus, discípulo do astrônomo, onde foi apresentado um outro resumo das novidades copernicanas. Ciente do impacto que suas idéias causavam, o autor teria adiado a publicação do *De Revolutionibus*³⁹, sua principal obra, que já estaria concluído em 1532, mas só foi publicado em 1543. Copérnico comenta em sua carta-prefácio a essa obra:

“...ao pensar comigo mesmo como aqueles que afirmam ser confirmada pelo julgamento de muitos séculos a opinião de que a Terra está imóvel no meio do

³⁸ CROMBIE, A.C., *Augustine to Galileo*. Cambridge: Harvard University, 1979, v.2, p.152.

³⁹ No manuscrito o título é apenas *De Revolutionibus*, Copérnico parece ter nomeado assim sua obra. O título definitivo *De Revolutionibus orbium coelestium* seria então de responsabilidade do editor, Andreas Osiander (1498-1552).

céu e aí está colocada servindo-lhe de centro, haviam de considerar uma cantilena absurda defender eu, pelo contrário, que é a Terra que se move; hesitei comigo durante muito tempo se havia de dar a lume os meus *Comentários* escritos para demonstração desse movimento, ou se seria preferível seguir o exemplo dos Pitagóricos e de alguns outros que procuravam confiar os mistérios da filosofia aos seus familiares, amigos e a ninguém mais, não por escrito mas de viva voz...”⁴⁰

Como esperado, houve forte oposição ao novo modelo. Na polêmica inicial criada por suas idéias merece destaque a posição dos reformadores. Eles representaram a primeira e mais radical oposição que o sistema heliocêntrico enfrentou, e levantaram a mais célebre objeção teológica ao copernicanismo. Lutero (1483-1546) opôs a interpretação literal das Escrituras ao heliocentrismo:

“...este louco gostaria de lançar por terra toda a ciência da astronomia, mas as Sagradas Escrituras nos ensinam que Josué ordenou ao Sol, e não à Terra, que se detivesse...”⁴¹

A passagem a que ele se refere é Josué 10,12. Melanchtón, teólogo companheiro de Lutero, também se posiciona radicalmente contra a novidade:

“...Muitos são os que consideram meritório fazer como o caçador de estrelas prussiano, que põe em movimento a Terra e deixa imóvel o Sol. Na verdade, se os governantes são sábios, deveriam impor um freio aos espíritos...”⁴²

⁴⁰ COPÉRNICO, N., *As Revoluções dos Orbes Celestes*. Trad. de A. D. Gomes e G. Domingues. Lisboa: Callouste Gulbenkian, 1984, p. 5. A partir daqui, as citações dessa obra trarão simplesmente *De Revolutionibus*.

⁴¹ LUTERO, M., Apud ESPOZ, R., *Um conflicto en el origen de la ciencia moderna: Copernico u Osiander*. Santiago: Editorial Universitaria, 1989, p. 49.

A radicalidade da recusa do heliocentrismo por parte dos reformadores vai além de Josué 10,12. Ela está ligada à própria possibilidade do conhecimento da obra divina, que teria sido negado a nós a partir do pecado original. A ciência da astronomia que Lutero pretendeu defender do “louco” Copérnico era a ptolomaica, cuja proposta instrumentalista não entrava em conflito com o princípio luterano da impossibilidade do conhecimento salvo por revelação divina. As mesmas idéias são defendidas por Andreas Osiander no seu conhecido prefácio anônimo ao *De Revolutionibus*⁴³:

“...é próprio do astrônomo compor, por meio de uma observação diligente e habilidosa, o registro dos movimentos celestes. E, em seguida, inventar e imaginar as causas dos mesmos, ou melhor, já que não se podem alcançar de modo algum as verdadeiras, quaisquer hipóteses que, uma vez supostas, permitam que esses mesmos movimentos sejam corretamente calculados, tanto

⁴² MELANCHTÓN, *Carta a Burkhardt Mithobius de 16 de outubro de 1541*, Apud ESPOZ, 1989, p. 50.

⁴³ O *De Revolutionibus* é introduzido pela carta-prefácio de Copérnico endereçada ao Papa Paulo III, precedida por outro prefácio, intitulado *Ad lectorem de hypothesisibus huius operis*, não assinado, não autorizado e claramente instrumentalista, escrito pelo teólogo luterano Andreas Osiander, o qual supervisionou a primeira edição da obra em Nuremberg. Esta dupla introdução às idéias de Copérnico causou, como não poderia deixar de ser, sérias consequências, já que as idéias presentes nos dois textos apresentam, entre si, divergências conceituais. Deve-se ressaltar que, apesar da identificação da autoria do prefácio de Osiander ter ocorrido já no início do século XVII, este continuou a ser publicado sem assinatura, sugerindo autoria de Copérnico. No prefácio à segunda edição da *Crítica da Razão Pura* Kant parece se referir às idéias de Osiander como sendo de Copérnico, ao dizer: “...Assim as leis centrais do movimento dos corpos celestes trouxeram uma certeza total ao que Copérnico de início admitiu como hipótese [grifos meus] e demonstraram, simultaneamente, a força invisível que liga a fábrica do mundo (a atração de Newton), que para sempre ficaria ignorada se Copérnico não tivesse ousado, de uma maneira contrária ao testemunho dos sentidos e contudo verdadeira, procurar a explicação dos movimentos observados, não nos objetos celestes, mas no seu espectador. Neste prefácio unicamente apresento, a título de hipótese, a mudança de método exposta na crítica e que é análoga a esta hipótese copernicana. Esta mudança será contudo estabelecida no corpo da obra, a partir da natureza das nossas representações do espaço e do tempo e a partir dos conceitos elementares do nosso entendimento. Será assim provada, já não hipoteticamente, mas apoditicamente. Apresento-a aqui como hipótese, unicamente para vincar o caráter sempre hipotético dos primeiros ensaios de uma reforma como esta...” (KANT, prefácio à segunda edição da *Crítica da Razão Pura*, quinta nota de rodapé). Os dois prefácios ao *De Revolutionibus* marcam o desenvolvimento do saber humano de tal forma que não podem ser ignorados no seu estudo. Kant deve ter sido um entre muitos a confundir a autoria do prefácio. Até mesmo A. C. Crombie, em seu *Robert Grosseteste and the origins of experimental science* (CROMBIE, 1953, p. 309),

no passado como no futuro, de acordo com os princípios da geometria [...] O filósofo talvez exigisse antes a verossimilhança, contudo, nenhum dos dois (o astrônomo e o filósofo) compreenderá ou transmitirá nada de certo a não ser que lhe seja revelado por Deus...”⁴⁴

Essas palavras do luterano Osiander são, além de um dos mais conhecidos exemplos de concepção instrumentalista da ciência, um excelente testemunho da relação entre ela e a nascente idéia luterana de conhecimento. Uma tal concepção não é compatível com a já referida carta-prefácio do próprio Copérnico, que explicita as motivações, objetivos e preocupações do autor:

“... embora eu saiba que as idéias de um filósofo não estão sujeitas ao julgamento do vulgo, uma vez que a preocupação daquele é inquirir a verdade em todas as circunstâncias até onde tal é permitido à razão humana por Deus, penso que as opiniões totalmente errôneas devem ser evitadas...”⁴⁵

Apenas essa possibilidade de inquirir a verdade através da razão já mostra uma diferença importante entre os dois prefácios. Para Copérnico, Deus não apenas permite a busca da verdade mas aquele que o faz está acima da opinião do vulgo. Note-se que Copérnico se apresenta nesse momento como filósofo, quando um astrônomo geralmente

atribuiu a Copérnico afirmações de Osiander. O erro foi corrigido no seu *De Agostinho a Galileo* (KOYRÉ, *As origens da ciência moderna - uma nova interpretação*. In: KOYRÉ, 1991, p. 79, nota 15).

⁴⁴ OSIANDER, A., prefácio *Ad lectorem de Hypothesibus huius operis*. In: LOPARIC, Z., *Andreas Osiander: prefácio ao “De Revolutionibus orbium coelestium” de Copérnico, 1980*, p.58. O original latino diz: “...Astronomus eam potissimum arripit, quae compraeheusu sit quam facillima. Philosophus fortasse, ueri similitudinem magis requiret, neuter tamen quicquam certi compraehendet, aut tradet, nisi diuinitus illi reuelatum fuerit...”. A tradução portuguesa de A. D. Gomes e G. Domingues parece ter omitido parte desta passagem, e diz simplesmente: “...nenhum dos dois atingirá ou transmitirá algo de certo a não ser que estas hipóteses, entre tantas outras antigas, em nada mais verossímeis, se tornem mais conhecidas, sobretudo porque são admiráveis, e ao mesmo tempo fáceis, trazendo consigo ingente tesouro de observações doutíssimas...” (*De Revolutionibus*, p. 2).

era considerado um matemático, e esperava-se dele uma postura instrumentalista. Essa posição de Copérnico testemunha a união entre astronomia e cosmologia (ou filosofia natural) que seria fatal para a tradição. Convicto da realidade do heliocentrismo, o autor repele a objeção teológica de Josué, ao final da carta:

“...se, por acaso, houver vozes loucas que apesar de ignorarem totalmente as Matemáticas se permitam, mesmo assim, um julgamento acerca destas lucubrações e ousem censurar, atacando o meu trabalho a pretexto de algum passo da Escritura, malevolamente distorcido em vista ao meu propósito, eu não lhes dou importância nenhuma, a ponto de desprezar até o seu juízo como temerário...”⁴⁶

Essa objeção, desprezada pelo autor, marcou definitivamente a recepção às suas idéias e a história da aceitação das mesmas, levando à sua condenação pelo Santo Ofício em 1616⁴⁷. J. L. E. Dreyer ressalta que a teologia, na segunda metade do século XVI, tornara-se “a aceitação mais literal de cada palavra da Escritura; para os protestantes por necessidade, já que haviam negado a autoridade dos Papas e Concílios, para os católicos devido a um desejo de definir suas doutrinas mais estreitamente e provar quão injustificada havia sido a revolta contra a Igreja de Roma”⁴⁸. Segundo Dreyer, o contexto da reforma protestante (e mais tarde da contra-reforma) foi determinante na condenação do copernicanismo, que não teria incomodado os líderes da Igreja do início do XVI.

⁴⁵ *De Revolutionibus*, p. 5.

⁴⁶ *De Revolutionibus*, p.10.

⁴⁷ Na ocasião, o Cardeal Bellarmino impôs à interpretação do modelo copernicano como a real estrutura do universo a necessidade de uma prova definitiva. Note-se que Bellarmino defende o instrumentalismo de uma maneira muito menos radical, deixando aberta a possibilidade de reinterpretação das Escrituras diante da apresentação de uma evidência definitiva a favor do modelo heliocêntrico. A questão é retomada no terceiro capítulo.

Além de explicitar seus receios justificados quanto à repercussão da obra, Copérnico fala também, na mesma carta-prefácio, de suas motivações, baseadas no seu diagnóstico da astronomia ptolomaica:

“...nenhum outro motivo me levou a pensar num método diferente de calcular os movimentos das esferas do Universo senão o fato de ter verificado que os matemáticos não estão de acordo consigo próprios na investigação de tais movimentos. É que em primeiro lugar eles se encontram de tal maneira inseguros quanto ao movimento do Sol e da Lua que nem a duração regular do ano corrente são capazes de formular. /Em segundo lugar, ao determinarem os movimentos das esferas do Universo e dos cinco planetas não usam até dos mesmos princípios e premissas que nas demonstrações dos movimentos e revoluções aparentes. Com efeito, uns apenas se servem de círculos concêntricos e outros de círculos excêntricos e de epiciclos com os quais, porém, não atingem completamente o que pretendem (...) Quanto àqueles que imaginaram os círculos excêntricos, embora pareçam ter dado, em grande parte, solução aos movimentos aparentes com cálculos apropriados, admitiram, no entanto, por vezes, muitos daqueles que parecem opor-se aos princípios fundamentais acerca da regularidade do movimento. Também não conseguiram descobrir ou concluir a partir desses círculos um facto de mais interesse ou seja a forma do Universo e a justa simetria de suas partes...”⁴⁹

Como se vê, o astrônomo critica a insuficiente precisão dos cálculos ptolomaicos⁵⁰ e a falta de unidade nos seus princípios. A questão da precisão retorna ao final da carta, onde

⁴⁸ DREYER, J. L. E., *A history of astronomy from Thales to Kepler*. N. York: Dover, 1953, p. 352.

⁴⁹ *De Revolutionibus*, p. 7-8.

⁵⁰ KUHN, T., *A Estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1996, p. 97. Essa passagem é utilizada por Kuhn como evidência de crise na astronomia tradicional, e de que o cerne dessa crise seria o seu fracasso técnico. A existência dessa crise é tema de debate, devido à ausência de progresso técnico

Copérnico se refere ao Concílio de Latrão e ao interesse da Igreja pela reforma do calendário. É verdade que o novo sistema, nessa primeira versão, não era consideravelmente mais preciso que o ptolomaico. A confiança de Copérnico na superação da precisão dos cálculos tradicionais, já anunciada no *Comentariolus*, baseava-se na conciliação entre astronomia e cosmologia através da aplicação harmônica dos mesmos princípios nos cálculos dos movimentos de cada planeta:

“...admitindo os movimentos que eu à Terra atribuo na obra infra, com perguntas e longas observações, descobri que, se estabelecermos relação entre a rotação da Terra e os movimentos dos restantes astros, e os calcularmos em conformidade com a revolução de cada um deles, não só se hão-de deduzir daí os seus fenômenos mas até se hão-de interligar as ordens e grandezas de todas as esferas e astros assim como o próprio céu, de modo que, em parte nenhuma, nada de si se possa deslocar sem a confusão das restantes partes e de toda a universalidade...”⁵¹

Em nome do senso estético da simetria, da regularidade, Copérnico ofereceu uma reinterpretação dos fenômenos, partindo do seguinte argumento: se podemos explicar os fenômenos de forma mais simples e harmônica, não há motivo para defender o geocentrismo e a imobilidade da Terra, já que isto nos obriga a descrever de forma tão complexa (como Ptolomeu o faz) o movimento dos astros. Copérnico elegeu a harmonia como um critério para recusar o modelo tradicional. Pela falta de harmonia ele recusou um modelo cosmológico que descrevia os movimentos de cada astro de maneira tão independente que “aconteceu-lhes como a alguém que fosse buscar a diferentes pessoas

significativo nos cálculos de Copérnico. Menos discutível, como veremos, foi a crise da tradição gerada pelo

mãos, pés, cabeça e outros membros, perfeitamente apresentados sem dúvida mas sem formarem um corpo uno, e sem qualquer correspondência mútua entre si, de tal maneira que resultaria deles mais um monstro que um homem”⁵². Copérnico também não aceitava os equantes ptolomaicos, pois eles eram incompatíveis com tal estética (o movimento descrito por eles não era uniforme, violava “princípios fundamentais acerca da regularidade do movimento”), mas utilizou livremente outros artifícios matemáticos dos astrônomos ptolomaicos (combinações de epiciclos, deferentes e excêntricos), o que poderia dar margem à interpretação instrumentalista que lhe imputou Osiander no seu famoso prefácio. Entretanto, pode-se dizer que o equante não era a principal causa da “monstruosidade” ptolomaica. Rigorosamente, o monstro composto de várias partes incompatíveis era metáfora de um modelo astronômico no qual os planetas eram pensados independentemente, sem possibilidade de conexão uns com os outros. Quando condenou a astronomia tradicional por falta de conjunto, Copérnico estava optando por um sistema cuja simetria seria digna de descrever a real estrutura do universo, devido a um critério estranho à astronomia instrumentalista dos ptolomaicos, a harmonia.

Esse abandono do instrumentalismo também implicava em uma série de dificuldades teóricas para o conjunto da filosofia natural tradicional. Os aristotélicos “sabiam” que a Terra não se movia e que a natureza dos céus era diferente da natureza terrestre, apoiados em uma teoria mais completa e encadeada. Copérnico estava consciente de muitas dessas dificuldades, que só seriam superadas a partir de uma nova base teórica. Na ausência desta, o autor manteve, em seu modelo, muitas das características da cosmologia de Aristóteles.

próprio copernicanismo.

⁵¹ *De Revolutionibus*, p.9.

⁵² *De Revolutionibus*, p.8.

Isso fica evidente quando ele discorre, no *De Revolutionibus* sobre a necessidade de o mundo ser esférico:

“...O Universo é esférico ou porque esta forma seja a mais perfeita de todas, um todo inteiro sem qualquer junção de partes; ou porque ela própria seja a mais capaz das figuras e maximamente conveniente para encerrar e conservar todas as coisas; ou até porque as partes mais perfeitas do Universo, isto é, o Sol, a Lua e as estrelas, se apresentam com essa forma e porque todo o Universo tende a ser por ela delimitado...”⁵³

A excelência da forma esférica está também no seu movimento:

“...o movimento apropriado de uma esfera é a rotação em um círculo, reproduzindo a sua forma no próprio ato como corpo extremamente simples em que não se pode indicar nem princípio nem fim, nem distinguir-se um do outro, enquanto através dos mesmos se move sobre si mesma...”⁵⁴

A semelhança dessas palavras com as de Aristóteles é prova de que havia muitos pontos em comum entre Copérnico e a tradição que este desafiava⁵⁵. Apesar disso, e de não oferecer uma nova base teórica, o astrônomo não deixou de apresentar uma breve discussão dos argumentos tradicionais contra a mobilidade da Terra, entre os quais estava o

⁵³ *De Revolutionibus* I, 1.

⁵⁴ *De Revolutionibus*, I, 4.

⁵⁵ Entre eles também estava o axioma platônico da circularidade: era necessário descrever o movimento dos astros através de círculos, devido à perfeição da forma circular (e dos astros). A partir de Platão, todos consideraram o círculo (ou uma combinação de círculos) como o único meio de descrever o movimento dos planetas. Tal idéia só foi questionada por Kepler (1571-1630).

“argumento da extrusão”, atribuído por Copérnico a Ptolomeu⁵⁶: se a Terra girasse sobre seu próprio eixo, em primeiro lugar, tudo o que estivesse sobre ela seria lançado para longe de seu centro, no espaço, ela seria destruída, e as partes do mundo terrestre não ficariam no seu lugar natural. Copérnico responde a partir da distinção aristotélica entre movimento natural e violento. Supondo o movimento da Terra, não se pode considerá-lo violento, pois um movimento violento não pode ser perpétuo; sendo ele então considerado natural, e tendo em vista que movimentos naturais têm características contrárias às dos violentos, é

“...em vão que Ptolomeu teme que a Terra venha a dissipar-se, assim como todos os objetos terrestres, devido a uma rotação produzida pela força da Natureza, que é muito diferente do que pode ser realizado pela arte e pelo engenho humanos...”⁵⁷

Dessa maneira, apenas se o movimento de rotação fosse violento dever-se-ia esperar tal efeito. O argumento da extrusão, segundo Copérnico, valeria também para as esferas celestes, que estariam girando, segundo a tradição, a uma velocidade muito maior, e estas dever-se-iam distanciar infinitamente da Terra com o tempo. É evidente que, dadas as características tradicionais do céu na filosofia da natureza peripatética, isso não poderia ocorrer. Além disso, questiona Copérnico, não deveria acontecer o mesmo também com o céu, que, então, pela extrusão, estaria sempre se estendendo ao infinito? Mas,

⁵⁶ Copérnico cita indevidamente *Almagesto*, I, 7. Na verdade o argumento não é de Ptolomeu, mas cumpre uma função particular na argumentação copernicana, no que se refere a garantir a imobilidade da última esfera (e, por consequência, do cosmo).

⁵⁷ *De Revolutionibus*, I, 8.

“...segundo aquele axioma da Física - o infinito não pode ser percorrido de forma alguma - o Céu terá necessariamente de permanecer imóvel...”⁵⁸

A palavra grega ‘*ápeiron*’, que é traduzida por infinito, e significa mais precisamente ilimitado é quase um sinônimo, nos escritos aristotélicos, de impossibilidade. Na *Física* Aristóteles chega à conclusão de que o infinito não existe em ato, mas apenas em potência, sempre em vias de atualização no decorrer do tempo⁵⁹. Diz Copérnico,

“...se o Céu é infinito e apenas finito na sua cavidade interior, talvez se possa demonstrar melhor que nada existe fora do Céu, uma vez que todas as coisas estão dentro dele, seja qual for o espaço que ocupem, mas o Céu permanecerá imóvel...”⁶⁰

Assim se cumprem os objetivos de Copérnico ao anunciar o argumento da extrusão: se a rotação da Terra significasse o lançamento de seu conteúdo para longe do centro, que dizer da última esfera, cujo movimento de rotação diária (muito mais veloz que a rotação terrestre copernicana) defendido pela tradição lançaria, segundo o mesmo princípio, as estrelas fixas rumo ao infinito? Assim, os próprios tradicionalistas não se poderiam valer desse argumento, que é convertido na defesa da rotação diária da Terra contra a rotação celeste.

⁵⁸ *De Revolutionibus*, I, 8.

⁵⁹ *Física*, III.

⁶⁰ *De Revolutionibus*, I, 8.

Outros argumentos a enfrentar, os principais segundo Copérnico, eram baseados principalmente nas idéias de peso e leveza⁶¹. Eles são descritos no capítulo 7 do livro I do *De Revolutionibus* da seguinte maneira:

“...Segundo eles [os aristotélicos], o elemento mais pesado é a terra, e todas as coisas que têm peso são arrastadas para ela, esforçando-se por alcançar seu centro [...] toda a Terra estará parada no meio, e como recipiente que recebe todas as coisas que caem nela, permanecerá imóvel devido ao seu peso...”⁶²

Da mesma forma que observamos os corpos graves em queda pararem, ao atingir a superfície, e aí ficarem, toda a Terra está parada, à volta de seu centro. Na discussão deste argumento, Copérnico retoma o princípio de relatividade visual⁶³, que já estava presente na obra de Nicholas Oresme, pensador escolástico do século XIV:

“...quando um navio navega com bonança, tudo o que está fora dele parece aos navegantes mover-se pelo reflexo daquele movimento e, por outro lado, pensam que estão imóveis com todos os objetos junto deles...”⁶⁴

Portanto, se a Terra se move, e nós junto com ela, não devemos perceber este movimento, que a nós parecerá repouso. Esse movimento é compartilhado não só por nós,

⁶¹ *De Revolutionibus*, I, 7.

⁶² *De Revolutionibus*, I, 7.

⁶³ Fala-se de princípio de relatividade visual por oposição ao princípio de relatividade física encontrado em Galileu, segundo o qual além de o movimento compartilhado não ser percebido, a relação entre os móveis que o compartilham não é afetada de forma nenhuma. A formulação do princípio da forma que aparece na segunda jornada do *Diálogo* já havia sido feita por Giordano Bruno (1548-1600), e Koyré valoriza esta última formulação, diminuindo a relevância do princípio visual. Entretanto, ele admite a importância da teoria do *impetus*, desenvolvida inicialmente por Buridan. A teoria do *impetus* e a relatividade física são fundamentais para Bruno e Galileu chegarem a refutar o conhecido “argumento da torre”. Este argumento diz que “se a Terra girasse sobre seu próprio eixo, um objeto que caísse do alto de uma torre chegaria ao solo distante do pé

mas pelo ar que circunda a Terra e pelas nuvens. De acordo com o que acaba de ser estabelecido, o movimento compartilhado não é percebido. Com o movimento de rotação da Terra, a queda dos corpos é então um movimento duplo, composto do movimento para o centro, retilíneo, e do movimento circular, compartilhado com a Terra (e não percebido), todo do qual o corpo em queda é parte. Mas para que algo caia, deve ter sido afastado de sua posição natural, e portanto estar em desarmonia, pois

“...nada repugna tanto a toda a ordenação e forma do universo como existir qualquer coisa fora de seu lugar...”⁶⁵

Copérnico descreveu o movimento retilíneo observado como aparente, composto de retilíneo e circular. O movimento circular caberia ao todo, e seria compartilhando pelas partes. Estas últimas só teriam também movimento retilíneo quando deslocadas de seu lugar. Em outras palavras, quando o corpo está em seu lugar natural, seu movimento é simples, circular. O movimento retilíneo observado é causado pelo deslocamento do corpo de seu lugar natural. No momento em que ele atinge esse lugar novamente, volta a ter um único movimento circular.

Para Copérnico, como diz Koyré,

“...a gravidade não é mais do que a tendência das partes de um todo para se reunirem em conjunto, e que os ‘graves’ terrestres não procuram de maneira

da mesma, pois, durante a queda, a torre, junto com a Terra, teria se deslocado. Como o objeto de fato cai ao pé da torre, a rotação diária da Terra é impossível”.

⁶⁴ *De Revolutionibus*, I, 8.

⁶⁵ *De Revolutionibus*, I, 8.

nenhuma aproximar-se do centro do mundo para lá 'repousar', mas sim limitam-se simplesmente a tender para o seu todo, a Terra..."⁶⁶

Essa idéia da gravidade como tendência das partes a se reunirem com o seu todo ressurge com maior força na formulação galileana, como veremos. Outros argumentos são apresentados em defesa da rotação da Terra no capítulo 8 do livro I do *De Revolutionibus*:

"...Um outro ponto é que a imobilidade é considerada uma condição mais nobre e divina do que a mudança, a instabilidade, que são mais próprias da Terra do que do Universo. Acrescento também que seria bastante absurdo atribuir movimento ao que contém e àquele em que algo se localiza e não àquilo que é contido e se localiza, isto é, a Terra. Finalmente, sendo evidente que os planetas estão umas vezes mais próximos e outras mais afastados da Terra, o movimento de um corpo simples à volta do ponto que se julga ser o centro da Terra será a partir do meio e em direção a ele. Importa, pois, que o movimento à volta desse ponto se interprete de uma forma mais geral, considerando-se suficiente que cada movimento seja um movimento à volta de seu próprio centro..."⁶⁷

O astrônomo apresenta, nesta passagem, três argumentos contra a posição imóvel da Terra no centro do universo. O primeiro diz que a estabilidade da Terra conviria mais aos corpos celestes que à Terra, pois ela é contraditória com os próprios princípios tradicionais, já que é razoável que um corpo que não muda em mais nada também permaneça no mesmo lugar. É interessante notar como, neste ponto, Copérnico se utiliza astuciosamente da dicotomia tradicional contra a própria tradição. Também merece nota que esta é uma primeira evidência de seu compromisso com essa dicotomia. Na mesma linha, afirma que o

⁶⁶ KOYRÉ, A., *Do mundo fechado ao universo infinito*. Rio de Janeiro: Forense, 1986, p. 207.

movimento do continente deveria ser acompanhado pelo conteúdo, e que, portanto, a Terra deveria acompanhar uma eventual rotação do céu. Enfim, diz o astrônomo que a variação da distância entre os planetas e a Terra indica que ela não é o centro de seu movimento.

Ainda que esses e outros argumentos rompam em grande medida com a tradição, ainda havia muitos problemas a enfrentar. Para Koyré, a resposta de Copérnico ao argumento da extrusão é “assaz superficial e até verbal”⁶⁸, especialmente entre os aristotélicos, que raciocinavam apenas a partir de seu próprio sistema. Segundo Koyré, para se caracterizar uma nova cosmologia faltava “explicar por que razão eles [os corpos] tendem para o centro da Terra; o que não é fácil; haveria ainda que responder aos argumentos extraídos do movimento retilíneo da queda”⁶⁹. Havia, na verdade, a necessidade de uma nova física, um arcabouço conceitual que estivesse de acordo com a novidade e ainda desse conta de aspectos mais gerais do estudo da natureza.

A discussão sobre os cometas é mais ambígua: aparentemente sujeitos à geração e à corrupção, mas se movendo em torno da Terra como as esferas cristalinas, os cometas são colocados tanto por Copérnico como pelos aristotélicos no mundo sublunar. Para o primeiro, eles não acompanhariam o movimento da Terra por estarem muito distantes. Isto corresponde à opinião dos segundos, para os quais os cometas eram justamente uma prova de que a região superior do ar segue o movimentos das esferas. No século seguinte, Galileu ainda defenderia opinião semelhante. Como veremos, os cometas não eram vistos, necessariamente, como evidências copernicanas. Ainda no século XVI, um anti-copernicano da maior importância, criador de um modelo astronômico menos incompatível

⁶⁷ *De Revolutionibus*, I, 8.

⁶⁸ KOYRÉ, A., *Estudos Galilaicos*. Lisboa: Dom Quixote, 1986, p. 207.

⁶⁹ KOYRÉ, 1986, p. 207.

com a tradição, demonstraria a posição celeste dos cometas e a corruptibilidade dos céus, diante de interlocutores copernicanos e tradicionalistas.

I.3. Primeiras consequências

É comum a afirmação de que o modelo semi-heliocêntrico de Tycho Brahe deveria ter sido um intermediário entre o de Ptolomeu e o copernicano. Há, entretanto, algumas razões para que se questione esta tese. Segundo Tycho os planetas estariam girando ao redor do Sol, e este carregando todos eles em seu movimento em torno da Terra, estática no centro do mundo. Geometricamente esta proposta é equivalente à de Copérnico, o que faz com que ela possa ser tomada como um tipo de confirmação do que disse este último: com ela, e com as observações criteriosas de Tycho, as previsões ganharam muito em precisão, provando que a astronomia copernicana era tecnicamente superior à ptolomaica. Além disso, ele mantinha uma característica do sistema heliocêntrico que não era facilmente aceitável pelos tradicionalistas - movimento ao redor de mais de um centro diferente. Copérnico já vinha sendo criticado por situar o movimento da Lua ao redor da Terra enquanto tudo o mais circundaria o Sol, “de tal maneira que todas as aparências celestes se conduzem segundo a lei do Sol, e que este dirige toda a Harmonia do Coro dos Planetas como Apolo (e ao Sol foi mesmo dado tal nome pelos antigos) em meio às Musas”⁷⁰.

Tycho também rompeu com a idéia de esferas celestes cristalinas. Seria, em princípio, inverossímil manter a Terra estática entre as esferas de Vênus e Marte que

⁷⁰BRAHE, T., *Sur des phénomènes plus récents du monde éthéré livre second*. Bordeaux: Bergeret, 1984, p. 187 (paginação original).

estariam girando em torno do Sol – desde que elas fossem rígidas. De acordo com os estudos de E. Grant, não havia motivo para se acreditar que, antes de Copérnico, as esferas celestes seriam consideradas rígidas. Ao contrário, o autor defende que “as esferas se tornaram rígidas no período entre Copérnico e Tycho Brahe”⁷¹, o que teria sido decisivo na rejeição da solidez das esferas pelo último.

Mais importante aqui que a recusa da rigidez das esferas é a recusa por parte de Tycho da inalterabilidade do céu, em função de suas observações da nova de 1572 e do cometa de 1577. Para ele, de acordo com o critério da paralaxe⁷², ambos estariam na região celeste, provas de mudanças onde elas não deveriam existir. Essas duas observações, o esforço em determinar a paralaxe dos dois fenômenos e as conclusões astronômicas de Tycho foram publicadas em dois volumes, parte de um projeto maior que permaneceu inacabado: *Acerca dos fenômenos mais recentes do mundo etéreo*.

Ele afirma, contra seus adversários, que “as argumentações derivadas da autoridade de seu Mestre Aristóteles e da tão grande perfeição do céu que nada de novo poderia nele ser gerado, tornam-se vãs, visto que elas não estão de acordo com a própria experiência”, e diz pensar que “a matéria dos cometas seja inteiramente celeste, visto que eles são gerados no próprio Céu”⁷³. Nesta e em outras passagens, o autor promete comentar as implicações físicas e astrológicas dessas descobertas no epílogo da obra, que nunca foi escrito.

No texto conhecido como “tratado em alemão de Tycho sobre o cometa de 1577”, primeiramente publicado em 1922 e o único manuscrito do próprio Tycho sobre o cometa, também trata desse evento:

⁷¹ GRANT, E., “Celestial orbs in the Middle Ages”. In: *Isis*, 1987, 78: p. 173.

⁷² Paralaxe era o critério que permitia localizar um fenômeno no céu ou na Terra. Está relacionada com a variação da posição do fenômeno em relação às estrelas fixas. Parte significativa do trabalho de Tycho foi feita no sentido de determinar a paralaxe da nova e de cometas.

⁷³ BRAHE, *Acerca dos fenômenos...*, p. 253. Ver também p. 286, 304, 314.

“...Esse milagre [a nova de 1572] tornou necessário para nós o abandono da opinião de Aristóteles e aceitar outra: que algo novo também pode surgir nos céus...”⁷⁴

Ou ainda:

“...A filosofia aristotélica, contudo, que ouvimos tão freqüentemente, não pode estar correta ao ensinar que nada de novo pode se originar nos céus, e que todos os cometas estão localizados nas partes superiores do ar...”⁷⁵

É incontestável o declarado rompimento do autor com o princípio aristotélico da inalterabilidade do céu; a nova e o cometa assim determinavam. Por outro lado, a utilização da palavra “milagre” revela um detalhe particularmente relevante de sua concepção, que se torna mais evidente na seguinte passagem:

“...o fato de eles [os cometas] terem sua geração nos céus, entretanto, deveria antes ser considerado um portento miraculoso que tal nascimento ocorra nos céus, que são compostos do mais sutil, mais translúcido e mais incorruptível dos materiais...”⁷⁶

Tycho mostrou o cometa e a nova como avisos de Deus, milagres, ou “portentos miraculosos”. Uma parte significativa do pequeno tratado apresenta a interpretação astrológica do cometa, e as previsões (principalmente políticas) extraídas dela, ou seja a mensagem divina nele contida (envolvendo questões de Estado e enviadas ao rei que o

⁷⁴ BRAHE, T., Tycho Brahe's German Treatise on the comet of 1577. In: “Tycho Brahe's German Treatise on the comet of 1577: A study in Science and Politics”. In: *Isis*, 1979, 70, p.133.

⁷⁵ BRAHE, German Treatise, p.136.

⁷⁶ BRAHE, German Treatise, p.133 (grifo meu).

astrônomo servia). A matéria do céu continuava a ser a mais sutil, mas Tycho admitia que não se tinha “conhecimento real sobre a matéria ou natureza de todos os céus, Sol e Lua”⁷⁷. De qualquer maneira, ele deixava claro o caráter sobrenatural dos cometas:

“...cometas não têm sua origem e seu significado a partir de qualquer causa natural das estrelas nem de qualquer eclipse do Sol ou da Lua, mas são por sua vez uma nova e sobrenatural criação de Deus Todo Poderoso...”⁷⁸

Para o autor, essa evidência definitiva de alteração no céu apenas teria ocorrido devido à onipotência divina. Séculos antes os cristãos tiveram dificuldades em aceitar os limites que a filosofia aristotélica estabelecia aos poderes de Deus. Tycho mostra raciocinar da mesma maneira, distanciando-se ainda mais de Galileu. Este último já considerava que os milagres, por ocorrerem à margem da natureza, não seriam do âmbito da ciência, pois esta trataria apenas dos eventos naturais. Para Tycho, a nova e o cometa, miraculosos, eram válidos como prova em filosofia da natureza. Poder-se-ia objetar que não se trata da obra científica de Tycho, mas de uma análise astrológica feita a pedido do rei, como tantos outros de sua época fizeram. A questão se complica pelo fato de, no livro segundo do *Acerca dos fenômenos...*, ele declarar estar limitado à astronomia. É notável, entretanto, e prova do valor que o autor dava à astrologia, esta última compartilhar com a filosofia natural o epílogo inexistente. E ainda que Tycho não apresente, no segundo livro, nenhuma interpretação astrológica, ele elogia a astrologia e afirma a influência dos astros nos assuntos terrenos dizendo que Deus não teria criado em vão movimentos tão

⁷⁷ BRAHE, German Treatise, p.133.

⁷⁸ BRAHE, German Treatise, p.133.

admiráveis e constantes⁷⁹. O mesmo raciocínio aparece no tratado alemão. Some-se a isso que ele ainda considerava a matéria celeste a mais lúcida e sutil, diferente do mundo sublunar. De acordo com Dreyer, “ele não pensava que a substância das estrelas fosse a mesma que a da nossa terra, mas antes que tivesse com ela a mesma relação que a alma tem com o corpo”⁸⁰. Verifica-se que o dualismo tradicional estava mantido.

Ainda assim, diante da controvérsia religiosa, que o modelo de Tycho evitava, mantendo a Terra estática no centro do universo, ele parece mais uma reação ao modelo heliocêntrico de Copérnico (e até uma evolução, técnica no mínimo, do mesmo), que um intermediário entre a tradição e a novidade. Dreyer chega a chamar o modelo heliocêntrico de “corolário óbvio do sistema copernicano”⁸¹. Posteriormente ele seria o modelo defendido pelos adversários mais célebres de Galileu.

Um autor que se pronunciou veementemente contra a dicotomia do cosmo tradicional foi Giordano Bruno, em seu diálogo *Acerca do infinito, do universo e dos mundos* (1584), e de uma maneira mais radical, afirmando, além dos movimentos da Terra, a infinitude do cosmo e a pluralidade dos mundos. O diálogo de Bruno, comparado ao de Galileu, é bastante menos generoso para com os aristotélicos: Búrquio ainda é menos perspicaz e menos conhecedor do texto de Aristóteles que Simplicio no texto galileano⁸². Quando questionado pela primeira vez Búrquio responde que os corpos celestes são mais divinos porque “são impassíveis, inalteráveis, incorruptíveis e eternos, estes [os terrestres], ao contrário; aqueles, móveis de movimento circular e perfeitíssimo, estes, de movimento

⁷⁹ BRAHE, *Acerca dos fenômenos...*, p.285-286.

⁸⁰ DREYER, J. L. E., *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover, 1953, p. 365. Kepler, ainda que assumidamente copernicano, herdou, em certa medida, a crença na sutileza da matéria celeste: “o éter é mais rarefeito que o nosso ar, pois é puríssimo”. (KEPLER, J., *Epitome of copernican astronomy*. In: HUTCHINS, R. M. (ed.), *Great Books of the Western World*, v. 16. Londres: Britannica, 1952, p. 857).

⁸¹ Dreyer, 1953, p. 367.

⁸² Os representantes da tradição nos textos bruniano e galileano, respectivamente.

reto”⁸³. Em um segundo momento, após uma longa contestação da tradição através das teses brunianas sobre outros mundos, movimento circular atribuído à Terra, Búrqio se limita a exclamar:

“...Onde está então aquela boa ordem, aquela bela hierarquia da natureza, pela qual se sobe do corpo mais denso e espesso que é a terra, ao menos espesso que é a água, ao subtil que é o vapor, ao mais subtil que é o ar puro, ao subtilíssimo que é o fogo, ao divino que é o corpo celeste? Do escuro ao menos escuro, ao claro, ao mais claro, ao claríssimo? Do tenebroso ao lucidíssimo, do alterável e corruptível ao isento de qualquer alteração ou corrupção? Do gravíssimo ao grave, deste ao leve, do leve ao levíssimo, deste, àquele que não é grave nem leve?”⁸⁴

A esta inocente defesa, Bruno (nas palavras da personagem Fracastório) simplesmente opõe: esta ordem está entre “os sonhos, as quimeras, as loucuras”. Quanto ao questionamento da distinção cosmológica tradicional, o texto bruniano não distingue entre os dois argumentos que Aristóteles deriva da circularidade dos movimentos celestes – a perfeição do movimento circular e a ausência de contrariedade nele – e resolve a questão a partir da atribuição de movimento circular aos elementos terrestres.

Desde a Antigüidade os opositores da dicotomia aristotélica atacaram a coerência lógica dos argumentos do *De Caelo*. Do advento do copernicanismo surgiu a necessidade de uma nova filosofia da natureza, possível diante da união entre astronomia e cosmologia. Em meio à crise da tradição ptolomaico-aristotélica, Tycho demonstrou a superioridade técnica do heliocentrismo com seus cálculos mais precisos e matematicamente

⁸³ BRUNO, G., *Acerca do infinito, do universo e dos mundos*. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1978, p. 98.

⁸⁴ BRUNO, 1978, p. 101.

copernicanos. Ele também ofereceu importantes evidências empíricas contrárias ao argumento empírico de Aristóteles sobre a inalterabilidade do céu, embora não tenha rigorosamente rompido com a dicotomia aristotélica e considerasse geração e corrupção no céu como eventos milagrosos, produtos da intervenção divina, à margem das leis naturais. Devido a esse rompimento limitado com a tradição, e à manutenção da Terra no centro das revoluções celestes, que evitava a objeção teológica (Josué), o sistema semi-heliocêntrico era muito popular entre os opositores de Galileu. Este, ao longo de sua vida, traria dos astros novidades ainda mais persuasivas...

A Unificação do Cosmo

Cap. II

II

As primeiras observações telescópicas

II.1. A mensagem das estrelas

Nos primeiros anos do século XVII o copernicanismo já era bastante conhecido, embora estivesse longe de ser aceito como modelo oficial. O sistema de Tycho criava menos problemas para a tradição aristotélica, que ainda representava um sério obstáculo ao estabelecimento da nova cosmologia. A recusa de todo esse sistema de estudo da natureza – aliás, o único, na época – exigia evidências mais convincentes. Por isso, o advento do telescópio e sua utilização por Galileu em busca da justificação do modelo copernicano representam um dos momentos mais importantes da história da ciência. Neste capítulo serão analisadas as primeiras observações telescópicas de Galileu e o papel que desempenharam no estabelecimento da novidade copernicana.

Em 1597 Galileu declarava, em carta enviada a Kepler a respeito do *Mysterium Cosmographicum* (1596), ser copernicano “há muitos anos”, e haver descoberto, a partir dessa posição, as “causas de muitos efeitos naturais”¹. Kepler comentou essas declarações em carta a outra personagem relevante, seu mestre Mäestlin (1550-1631), célebre copernicano e um dos principais interlocutores de Tycho Brahe². O mesmo Kepler afirmou ainda em outra carta suspeitar que entre esses efeitos naturais estivesse “o fluxo das

¹ *Ed. Naz.*, X, p. 68.

² *Ed. Naz.*, X, p. 69. Quanto a Tycho, a fama de Galileu também o alcançou, e em 1600 ele tentava contato com o italiano, defendendo a superioridade de seu modelo sobre a tradição ptolomaica e a novidade copernicana (*Ed. Naz.*, X, 78-80).

marés”³. Se ele estava certo em sua suspeita, já existiria nessa época uma versão preliminar da teoria galileana das marés, que viria a público quase vinte anos depois e ainda seria reformulada para constituir o principal argumento a favor do movimento terrestre no *Diálogo* em 1632. De qualquer maneira, outros “efeitos” naturais seriam usados por Galileu em defesa do movimento da Terra.

Entre esses efeitos estava o surgimento da nova de 1604, que foi recebido com satisfação pelos copernicanos como mais uma evidência de geração e corrupção no céu – como já havia ocorrido com a nova de 1572 e os cometas que se seguiram a ela. Galileu foi consultado a respeito do fenômeno⁴, e discutiu suas conseqüências cosmológicas com defensores da tradição. Para o autor, que já tratara da questão em aulas e estudos dos quais restam alguns fragmentos⁵, a ausência de paralaxe indicava de maneira definitiva a posição celeste da nova – na verdade, a mesma posição que Tycho havia assumido em 1572. Segundo ele, a posição do fenômeno era “coisa tão fácil, manifesta e comum” que não merecia muita atenção⁶. Os adversários de Galileu tentavam acomodá-lo à cosmologia tradicional. E como era e continuaria a ser comum entre eles, invocavam a autoridade de Aristóteles⁷.

Outros autores se manifestaram sobre a nova. Uma das obras que surgiram dessa controvérsia, chamada *Considerações sobre Algumas Passagens do Discurso de Ludovico delle Colombe*, de 1606, tratava de outra questão relevante: a observação da Lua a olho nu. Ludovico delle Colombe, nela criticado, procurou descobrir quem seria o autor oculto sob o pseudônimo Alimberto Mauri. Não conseguindo, após um ano ele deduziu que o autor seria

³ *Ed. Naz.*, X, p. 72.

⁴ *Ed. Naz.*, X, p. 118-121, 132-133.

⁵ *Ed. Naz.*, II, p. 277-284.

⁶ *Ed. Naz.*, X, p. 134.

⁷ *Ed. Naz.*, X, p. 122-132.

Galileu, dada a semelhança entre o discurso de Mauri e os pronunciamentos de Galileu sobre a “nova” de 1604 (ainda hoje a autoria das *Considerações...* é discutida). De qualquer maneira, em 1606, alguém que assinava Alimberto Mauri, e cujo discurso se assemelhava ao de Galileu, deduziu, antes do advento do telescópio, que as mudanças na figura da Lua eram evidências de irregularidades em sua superfície, provavelmente devido à existência de montanhas. A confirmação dessa idéia viria poucos anos mais tarde com as observações telescópicas de Galileu.

Como é sabido, Galileu não inventou o telescópio nem pretendeu tê-lo feito. Ouviu falar de alguns que já existiam e deduziu como fabricá-los. De acordo com William Shea,

“...rumores da invenção do telescópio provavelmente chegaram a Galileu em julho de 1609 quando ele visitou amigos em Veneza em busca de meios de aumentar sua renda...”⁸

Em Veneza, Galileu teria ouvido falar de um instrumento, presenteado ao Conde Maurício de Nassau (1567-1625), que tornava próximos objetos distantes. Em agosto ele já apresentava na mesma cidade a luneta que havia fabricado. Entre as vantagens que o instrumento trouxe a Galileu, estão certamente a maior notoriedade e a contratação por Cosme II de Médici (1590-1621). Esse aspecto da vida de Galileu é descrito por R. Westfall, em seu clássico artigo sobre Galileu e o patronato⁹, que traz também interessantes comentários sobre a ordem das descobertas telescópicas, como veremos mais adiante. Aqui interessam sobretudo as vantagens teóricas que o cientista obteve da aplicação do instrumento.

⁸ SHEA, W., “The Revelations of the telescope”. In: *Nuncius*, 1996, 2, p. 54.

As primeiras observações telescópicas do céu feitas por Galileu foram publicadas no *Sidereus Nuncius*¹⁰, em março de 1610, juntamente com as consequências delas extraídas. A importância da obra na trajetória do autor, como peça-chave de sua defesa do copernicanismo, e, mais particularmente, de seu rompimento com a cosmologia tradicional torna imprescindível sua análise pontual.

O *Sidereus* trouxe um conjunto de novidades que, como veremos, não apenas eram melhor explicadas diante da nova cosmologia, mas também foram fundamentais no estabelecimento da mesma. Elas podem ser divididas em três grupos: as observações da Lua; as estrelas que eram observadas pela primeira vez; e os planetas Mediceus, que tanto destaque receberam na obra, principalmente devido ao seu papel na obtenção do patrocínio dos Médici. Cada uma dessas observações tem um papel muito específico no contexto da defesa do copernicanismo.

A obra inicia com alguns apontamentos sobre a fabricação do telescópio e sobre o método que o autor desenvolveu para medir distâncias angulares ínfimas entre corpos celestes. Este método consistia na anteposição de cartões perfurados com aberturas de tamanhos diferentes, devendo permitir assim que se efetuasse medidas angulares mais precisas na imagem observada. Segundo William Shea, os cartões não apresentaram o efeito esperado: para que o campo visual fosse diminuído, deveriam ter sido colocados a maior distância da lente. Da maneira que Galileu os dispôs, serviram antes para diminuir a difusão dos raios luminosos e as aberrações cromáticas, tornando a imagem mais nítida¹¹. Mais tarde, empenhado em calcular os períodos dos satélites jupiterianos, o autor adaptou

⁹ WESTFALL, R. S., "Science and Patronage: Galileo and the Telescope". In: *Isis*, 1985, 76, p. 11-30.

¹⁰ O título da obra é ambíguo, pois pode ser traduzido por "mensagem das estrelas" ou "mensageiro das estrelas".

¹¹ SHEA, W., *Galileo Galilei: an Astronomer at Work*. In: LEVERE & SHEA (eds.), *Nature, Experiment and the Sciences*. Dordrecht: Kluwer, 1990, p. 59.

seu telescópio - segundo este mesmo princípio, mas desta vez aplicado corretamente - à mensuração da posição desses satélites em função do raio do planeta. O instrumento resultante desta adaptação foi chamado por ele de “jovilábio”, por analogia com o astrolábio.

Após essas considerações, o autor passa às observações lunares, tendo como ponto de partida justamente as observações a olho nu, ou seja, destacando algumas diferenças entre o que se observa no astro com o telescópio e sem o instrumento: em primeiro lugar, ele distinguiu entre as manchas mais claras e as mais escuras, das que se pode ver a olho nu; depois, distinguiu este grupo de manchas das novas, também claras e escuras, vistas apenas com o telescópio, devido ao seu tamanho, mais abundantes na parte iluminada do astro. Com base nestas distinções, o autor reproduziu detalhadamente cada uma de suas observações.

A primeira observação apresentada se refere ao quarto ou quinto dia da Lua nova (da conjunção com o Sol), o que equivale a uma lua levemente crescente, acompanhada de um desenho¹². A escolha, por Galileu, da Lua nova para iniciar seu relato não foi arbitrária. É fato conhecido desde então que as melhores observações das crateras lunares são feitas em momentos como este, quando os raios solares incidem mais obliquamente sobre a superfície do astro, o que resulta na projeção de sombras maiores e mais evidentes, assim como uma irregularidade mais marcante da linha que divide o lado iluminado e o lado escuro. É justamente com a constatação da sinuosidade desta linha que Galileu inicia a descrição da primeira observação. Tal fato já havia sido observado sem o telescópio, mas com ele passou a ser percebido com maior clareza. Se a Lua fosse perfeitamente esférica a

¹² Vide fig. 1.

linha não seria "desigual, rugosa e cheia de cavidades e proeminências"¹³. Além disso, há pequenas manchas, próximas a esta linha, escuras do lado claro e claras do lado escuro. Atribuindo a essa imagem as mudanças que caracterizam as fases: conforme a Lua vai se iluminando, as manchas vão diminuindo, a primeira parte a se iluminar é a oposta ao Sol, e só depois, gradualmente, o outro lado vai clareando. Estabelecendo uma (perspicaz) analogia com o amanhecer na Terra, fortalecida com a menção do movimento que faz com que, como a Terra, a superfície da Lua nova vá se iluminando progressivamente, Galileu mostrou como o relevo da Lua não poderia ser muito diferente do nosso, apresentando montanhas, que se iluminam primeiro (as pequenas manchas claras na parte escura) e vales, que demoram mais a se iluminar, o que confirmou o que havia sido dito em 1606. Tal conclusão mostra uma atenta observação das imagens terrestres, e a transposição disso para as coisas celestes. Céu e Terra eram considerados diferentes em essência. Talvez por isso muitos astrônomos do período tivessem tão pouca familiaridade com a interpretação de imagens¹⁴. Com isso, fica claro o motivo da escolha da lua ligeiramente crescente para introduzir o leitor nas observações apresentadas, assim como já se anuncia a familiaridade do autor com as representações naturalistas típicas do renascimento.

Galileu também descreveu detalhadamente como o aspecto das manchas vai variando de acordo com a iluminação no quarto crescente e no quarto minguante (ou, como ele diz,

¹³ Ed. Naz., III, p. 62-63. As citações do *Sidereus nuncius* seguem a tradução em português de Carlos V. Camenietzki (GALILEU, G., *A mensagem das estrelas*. Rio de Janeiro: MAST/Salamandra, 1987). Na trad. port., p. 39.

¹⁴ Albert Van Helden, estudioso da astronomia visual, diz acertadamente que esta se iniciou com as observações de Galileu. Os desenhos anteriores relativos ao céu eram esquemáticos. A única representação naturalista do céu anterior ao século XVII é de Leonardo da Vinci (1452-1519), que chegou a desenhar a Lua, a partir de suas observações feitas a olho nu. Entretanto, sem o auxílio do telescópio, tal desenho não era suficientemente preciso e, por isso, não tinha valor astronômico, mas apenas artístico. Ao contrário dos astrônomos que o precederam, Galileu não se limitou a calcular o período de revolução dos corpos celestes, mas, com o auxílio do telescópio, pôde reproduzir graficamente as imagens observadas. Ver VAN HELDEN, A. & WINKLER, M., *Representing the Heavens: Galileo and Visual Astronomy*. *Isis*, 1992, 83, p. 195-217.

na primeira e na segunda quadraturas). Outros desenhos acompanham estas explicações. Particularmente interessantes são três deles, um representado a primeira quadratura e dois referentes à segunda¹⁵, nos quais o autor analisou o modo como vai se iluminando uma das manchas, cuidadosamente escolhida por ser perfeitamente esférica e estar próxima ao centro do disco lunar. O interesse deriva do fato de, no desenho, o tamanho da cratera estar bastante exagerado (nas figuras, pouco abaixo do centro do disco lunar), em contraste com a qualidade das reproduções de outros aspectos do relevo do satélite. Mas, como diz William Shea¹⁶, trata-se de um problema didático: é perfeitamente razoável que ele tenha feito isso com a intenção de ilustrar a iluminação desta cratera de acordo com o movimento do astro. Isso confirma as qualidades de Galileu como professor¹⁷. Trata-se de uma questão de luz e sombra, e o aumento no tamanho da cratera só facilitou a visualização da demonstração. De fato, é o exemplo mais claro que o autor apresenta sobre a questão da iluminação gradual das manchas, evidenciando sua concavidade.

Quanto às grandes manchas escuras, ele notou que elas são mais uniformes, sem grandes proeminências ou concavidades, com pouquíssimos pontos claros, à exceção do restante da porção iluminada do astro. O autor sugeriu que as grandes manchas escuras poderiam ser devidas à presença de água e a parte clara indicaria terra. E isso inclusive porque, para ele, a Terra, vista da Lua, deveria apresentar os oceanos escuros e a parte seca mais clara.

¹⁵ *Ed. Naz.*, III, p. 64-65. Figs. 2 e 3.

¹⁶ SHEA, W., *Galileu Galilei: an Astronomer at Work*. In: LEVERE & SHEA (eds.), *Nature, Experiment and the Sciences*. Dordrecht: Kluwer, 1990, p. 56-59.

¹⁷ Van Helden ressalta que estes desenhos foram criticados por um astrônomo posterior, Johannes Hevelius (1611-1687), que sugeriu, erroneamente, que o tamanho exagerado da cratera, nos desenhos, seria devido à má qualidade do telescópio utilizado por Galileu. Também Van Helden concorda com a posição de Shea sobre a finalidade didática do exagero. VAN HELDEN, A., *Representing ...*, p. 207-209.

Galileu sabia, ao contrário de muitos autores seus contemporâneos, que uma superfície “polida como um espelho”, à semelhança da superfície marinha, não seria capaz de refletir a luz como observamos na parte iluminada da Lua, pois havia uma crença geral de que um brilho tão intenso não poderia ser devido a uma superfície áspera. Acreditava-se, inclusive, poder ver “o reflexo das terras e continentes na Lua, como em um espelho”¹⁸, como se pode verificar nas palavras de Kepler ao comentar (e concordar com) as novidades apresentadas no *Sidereus Nuncius*.

Galileu fez ainda outra distinção: entre as pequenas manchas escuras da parte iluminada e as manchas “ligeiramente mais escuras”¹⁹ dentro das grandes manchas escuras. As primeiras se comportam da maneira primeiramente descrita, isto é, variando seu desenho de acordo com a iluminação, e com contornos bem marcados e “contrastes de luzes e sombras”²⁰. As outras apresentam desenho constante, e limites mais difusos, sendo pouco mais escuras ou mais claras de acordo com a iluminação. Ainda dentro das grandes manchas há partes mais claras, cuja figura e iluminação não se altera. Disto o autor concluiu que tais manchas se devem a reais diferenças entre as partes das manchas maiores, e não à maneira com que a superfície é iluminada. Aplicando novamente princípios sobre o comportamento da luz obtidos da observação terrestre, Galileu chegou a distinguir entre alteridades aparentes, na imagem obtida, resultantes da iluminação, e diferenças reais entre as partes da superfície lunar. Como se pode verificar, não só é constante a identificação entre a Terra e Lua quanto aos princípios que dirigem a análise galileana, como a própria Lua é descrita em termos de materiais terrestres, sólidos, como terra e pedras.

¹⁸ KEPLER, J., *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*. In: *Ed. Naz.*, III, p. 107.

¹⁹ *Ed. Naz.*, III, p. 68. Trad. port. p. 45.

²⁰ *Ed. Naz.*, III, p. 68. Trad. port. p. 45.

Mesmo diante dessas evidências a favor da irregularidade do relevo lunar, havia ainda uma dúvida:

“...Se a parte da superfície lunar que mais brilhantemente reflete os raios está cheia de [...] inumeráveis cavidades e proeminências, por que que a circunferência oriental na Lua minguante ou a periferia toda na Lua cheia não se observa desigual, áspera e sinuosa, mas ao contrário, se mostra exatamente redonda como traçada a compasso, sem marca alguma de cavidades e proeminências?...”²¹

Na Lua levemente crescente, a periferia do disco lunar se mostra perfeitamente circular, e não se vê as manchas que comprovariam o relevo irregular da Lua. Para enfrentar tal objeção, o autor mostrou como, se houvesse cavidades e elevações apenas na borda do astro, este seria visto como uma roda dentada. Entretanto, se se imaginar que toda a superfície lunar é irregular, a imagem resultante é que é de fato observada. A sobreposição de montanhas pode criar a aparência de regularidade, da mesma maneira que superfície do mar revolto pode parecer regular pela sobreposição das ondas. O principal motivo para que se admita esta analogia é que a periferia do disco é vista circundando a parte iluminada do astro, e esta parte mostra muito mais cavidades e protuberâncias que as grandes manchas. Além disso, outra possível similitude entre a Terra e a Lua poderia ajudar a explicar tal aparência: o autor acreditava que a Lua estivesse envolta em uma "camada de vapores" (como o que hoje chamamos de atmosfera), de uma substância "mais densa que o éter restante"²², capaz de refletir e refratar os raios solares, obscurecendo parcialmente a

²¹ *Ed. Naz.*, III, p. 69. Trad. port. p. 45-46.

²² *Ed. Naz.*, III, p. 70. Trad. port. p. 46.

visão. Esta menção do éter (o quinto elemento, inalterável e incorruptível), como a de esferas, em outros momentos, é feita provavelmente em vista da persuasão, pois os interlocutores de Galileu, em sua maioria, acreditavam na existência de tal elemento. Na verdade, ao apontar semelhanças entre a Terra e a Lua, e tratar da segunda a partir de princípios obtidos da primeira, o que está sendo suposto é a homogeneidade entre elas, o que torna desnecessária a existência de um elemento diverso dos terrestres, como seria o éter. Assim, supondo a existência de uma “atmosfera” na Lua, os raios luminosos poderiam ser mais difusos quando provenientes da periferia do astro, por atravessarem uma parte maior dessa camada. Com a ajuda de uma ilustração, ele demonstrou geometricamente este argumento. Além disso, ressaltou ainda que a borda iluminada da Lua sempre parece maior que a escura; possíveis grandes manchas escuras também poderiam se ocultar sob esta camada, quando próximas da periferia.

O autor não se contentou em apresentar as razões que o faziam crer na irregularidade do relevo lunar. Também chegou a apresentar o cálculo geométrico da altura de uma montanha da Lua²³. Partindo da distância entre o limite da parte iluminada da Lua e de um ponto iluminado na parte escura, Galileu calculou geometricamente a altura do monte que viu ali, chegando a afirmar que as elevações do relevo lunar são maiores que as terrestres (inclusive em termos absolutos).

Outra observação a respeito da Lua é talvez o mais importante argumento apresentado nesta obra contra a distinção essencial entre céu e Terra: trata-se do que chamamos de luz secundária, isto é, a tênue iluminação que se percebe na parte que não está sendo iluminada pelo Sol, quando a Lua está próxima da conjunção (antes ou depois). Segundo Galileu, nesta situação vemos um resplendor periférico que marca a circunferência

da Lua do seu lado escuro, contra a escuridão do céu. Prestando atenção a este fenômeno, percebe-se que todo o lado escuro apresenta esta iluminação mais fraca, que é mais evidente no lado oposto ao que está mais brilhante porque está contrastando com o restante do céu, mais escuro ainda. Do outro lado, em contraste com a parte brilhante, parece muito escuro. Para comprovar isto Galileu sugeriu que se escondesse a parte brilhante e se comparasse assim toda esta parte menos iluminada com a escuridão do céu:

“...Se nos situarmos de modo que haja um telhado ou chaminé, ou qualquer outro obstáculo (afastado do olho) interposto entre a vista e a Lua que oculte a parte resplandecente, a fim de que o restante do globo lunar permaneça exposto à nossa vista, então se verá como brilha com não pouca luz essa zona da Lua que se encontra desprovida de iluminação solar, e isso sobretudo se as trevas noturnas se acentuam pela ausência do Sol, pois num campo mais escuro, a mesma luz parece mais clara...”²⁴

Fazendo isto, facilmente se percebe como a porção escura do astro está levemente iluminada - na verdade, este artifício é desnecessário, pois é possível ver com clareza a iluminação secundária mesmo nos dias de hoje, com a visão prejudicada pela iluminação intensa das cidades, sem a necessidade de esconder a porção mais clara da Lua. Conforme esta vai se distanciando do Sol, sua porção iluminada se torna cada vez maior, e a luz secundária vai ficando cada vez menos perceptível. Mas quando está a sessenta graus do Sol (sêxtil), a iluminação secundária ainda pode ser vista no crepúsculo, e com um telescópio preciso pode-se ver as grandes manchas.

²³ Fig. 4.

²⁴ *Ed. Naz.*, III, p. 72-73. Trad. port. p. 49.

Outros já haviam observado o fenômeno, e o problema que colocaram foi a respeito da origem da iluminação. As opiniões correntes diziam que ela vinha de Vênus, ou da própria Lua, ou que sua origem seria nas estrelas, ou ainda que seria a luz do Sol após atravessar o corpo supostamente translúcido da Lua²⁵. Para Galileu, se a luz fosse própria da Lua, ou reflexo das estrelas, ela deveria se manter constante mesmo nos eclipses lunares, quando a sombra da Terra passa sobre o astro, o que é falso dada a debilidade do fulgor da Lua nessa situação. Quanto a Vênus, é impossível que, quando a Lua está em sêxtil com o Sol (a sessenta graus), sua face oposta ao Sol receba luz de Vênus. E, se a luz se devesse aos raios solares através do corpo lunar, ela deveria ser constante, pois sempre há uma de suas faces que está iluminada pelo Sol. Tal não se verifica, pois a luz se enfraquece quando a Lua se afasta do Sol. Galileu deduziu então que Terra e Lua se iluminam reciprocamente, a Lua iluminando nossas noites com maior intensidade quando está em oposição ao Sol (lua cheia), e a Terra devolvendo o favor nas proximidades da conjunção. Nas quadraturas a iluminação de uma pela outra é bem mais fraca. A conclusão é que Terra e Lua são corpos opacos semelhantes iluminados pelo Sol:

“...Deste teor é a relação que entre si mantêm estes dois globos, pois naquelas épocas em que a Terra se vê mais iluminada pela Lua, menos a ilumina e vice-versa. Basta com isso aqui, pois mais amplamente falaremos disso em nosso *Sistema do Mundo* [o projeto galileano que deu origem ao *Diálogo*...], onde com numerosas razões e experiências mostraremos quão potente é a luz solar refletida pela Terra àqueles que pretendem atribuí-la à agitação das estrelas, sobretudo por encontrar-se a Terra carente de luz e movimento. De nossa parte, confirmaremos com demonstrações e ainda com uma infinidade

²⁵ Ed. Naz., III, p. 73-74.

de argumentos naturais que aquela é errante e superior em brilho à Lua, e não um refugio de imundícies e fezes terrenas...”²⁶

O golpe na ciência tradicional já teria sido suficientemente duro apenas com a comprovação da irregularidade do relevo lunar, de imperfeições em um corpo celeste, supostamente perfeito e feito de uma matéria superior. Mas uma tal semelhança entre Terra e Lua, representada por sua ação recíproca, não deveria deixar espaço para dúvida a respeito da homogeneidade entre ambas. O efeito já era observável a olho nu mas não persuadia os defensores do cosmo hierarquicamente ordenado.

Na verdade, a iluminação de corpos opacos pelo reflexo da luz em outros corpos opacos não é uma novidade telescópica. Ao contrário, era uma questão corrente entre os pintores da época²⁷. O que dificultou a aceitação da iluminação da Lua pelo reflexo da luz solar na Terra, no início do século XVII foi a ignorância, por parte dos cientistas e filósofos da época, a respeito dos progressos da representação naturalista na pintura. Eles acreditavam que o reflexo do Sol na Lua só poderia ser tão potente se a última fosse perfeitamente polida como um espelho esférico. É evidente que seus contemporâneos precisavam, saber mais sobre o comportamento da luz para compreender o argumento de Galileu. A questão é recorrente nos textos galileanos até os últimos anos da vida do autor²⁸, o que mostra a resistência que essa idéia enfrentou.

De qualquer maneira, a Lua forneceu evidências contra o que se acreditava ser a substância celeste. Por meio da aplicação de princípios óticos (perspectiva, luz e sombra,

²⁶ *Ed. Naz.*, III, p. 75. Trad. port. p. 51-52. Na tradução em português, onde se lê mostraremos consta “mostrarei”, e o restante da frase no plural; no original o período todo está na primeira pessoa do plural.

²⁷ Ver REEVES, E., *Painting the heavens: art and science in the age of Galileo*. Princeton: Princeton University Press, 1997, p. 23-56.

reflexão e refração da luz e iluminação de objetos sólidos) às observações lunares, Galileu deduziu o relevo da Lua, sua opacidade e a aspereza de sua superfície, assim como a iluminação recíproca entre o astro e a Terra, quando se acreditava que os corpos celestes eram perfeitamente esféricos e que não havia lugar para irregularidades no céu. Além disso, de acordo com a tradição, a opacidade também não poderia convir a um astro, assim como semelhanças com a Terra, que está sujeita à geração e à corrupção.

Como se pode ver, diante de nossos objetivos o primeiro grupo de observações é crucial. Ainda assim, as outras partes da obra também se inserem no contexto de estabelecimento da nova cosmologia, como as observações de estrelas fixas. Interessa-nos sobretudo a pouca variação do seu tamanho aparente, quando visto através do telescópio e a olho nu e em relação aos planetas. Sigamos a argumentação de Galileu sobre a diferença entre as observações telescópicas de estrelas fixas e as de astros errantes. A Lua e os planetas (astros errantes) aparecem no telescópio muito maiores, em relação ao seu tamanho aparente a olho nu, o que não acontece com as estrelas fixas²⁹. Além disso, planetas aparecem perfeitamente circulares, perdendo o brilho difuso que possuem quando observados a olho nu, enquanto as fixas aparecem como "fulgores cujos raios vibram ao redor e centelham notavelmente"³⁰. O pequeno aumento no tamanho das estrelas era devido, para Galileu, à eliminação, pelo telescópio, dos raios que disfarçam o seu tamanho real quando as observamos sem o instrumento.

O fato, de qualquer maneira, criava uma dificuldade: o telescópio funcionava diferentemente quando aplicado a diferentes objetos celestes, o que devia fortalecer a tese

²⁸ Em 1640, depois de tratar repetidamente do assunto em outras obras, Galileu ainda tinha que responder a adversários que não aceitavam que uma superfície áspera e irregular fosse capaz de refletir a luz tão bem quanto a Lua fazia (Vide Carta de Galileu a Leopoldo de Toscana, *Ed. Naz.*, VIII, p. 489-556).

²⁹ *Ed. Naz.*, III, p. 75.

³⁰ *Ed. Naz.*, III, p. 76. Trad. port. p. 53.

de que ele não era adequado à observação do céu, sendo próprio apenas para objetos terrestres. Diante da tradicional diferença essencial entre céu e Terra, alguns defenderam a pouca fiabilidade do instrumento na observação celeste. Por outro lado, o mesmo dado podia ser interpretado à luz da nova cosmologia: o pequeno aumento do tamanho aparente das estrelas seria evidência de que elas estão a uma distância muito grande de nosso planeta, o que não apenas concordava com o modelo copernicano, mas também respondia a um argumento contra a novidade. A cosmologia tradicional previa um universo muito menor que o novo sistema. O deslocamento da Terra, em seu movimento de translação proposto por Copérnico, dentro do universo como era tradicionalmente considerado, tornaria necessária a observação de paralaxe entre as estrelas fixas ou um considerável aumento nas estimativas do tamanho do cosmo. Como tal fenômeno não era observado, o astrônomo polonês já havia, no século anterior, sido levado a propor que o universo seria bem maior do que se imaginava até então. Por isso, o pequeno aumento do tamanho aparente das estrelas pôde ser considerado também uma evidência copernicana.

Além disso, o autor identificou novas estrelas, de tal magnitude que nunca haviam sido observadas, no cinturão e na espada da constelação de Órion³¹ e entre as Plêiades³², reproduzidas em desenhos, assim como nas nebulosas de Órion e Presépio³³. Ainda relatou que a própria Via Láctea era vista como uma infinidade de estrelas. Essas descobertas fortaleciam a idéia de um cosmo de magnitude copernicana.

Por fim, encontramos no *Sidereus Nuncius* a descoberta apresentada com maior solenidade: os planetas Mediceus³⁴. O autor identificou inicialmente tais astros com estrelas

³¹ Fig. 5.

³² Fig. 6.

³³ Fig. 7.

³⁴ Galileu pensou em chamá-los de astros "Cósmicos", em homenagem a Cosme II, mas a homenagem seria ambígua, pois o qualificativo poderia ser interpretado como sendo a partir de "cosmos". "Mediceus" se

fixas que ainda não havia observado, estando estas e Júpiter curiosamente dispostos ao longo de uma linha paralela à eclíptica³⁵. Entretanto, a observação de um movimento inesperado do planeta em relação a elas mostrou que elas acompanhavam sua trajetória. O movimento inesperado poderia ser interpretado como a retrogradação de Júpiter, quando o planeta parece se movimentar no sentido oposto ao de seu movimento usual. Entretanto tal movimento não era previsto pelos astrônomos para aquele momento, e a relação com as estrelas fixas logo mostrou que não se tratava disso. A observação continuada de seus movimentos levou o autor a dizer que havia determinado e estabelecido

"fora de toda dúvida que no céu havia três estrelas errantes em torno de Júpiter, como Vênus e Mercúrio em torno do Sol ... não só três, mas certamente quatro"³⁶

Essas observações são descritas nesta obra com recursos gráficos limitados (letras "O" e asteriscos), mas que expõem de maneira perfeitamente clara o que foi observado. Mais tarde, nas cartas sobre as manchas solares, Galileu as representaria de outra maneira, esta já muito próxima à que ainda hoje se utiliza³⁷.

A descoberta dos satélites de Júpiter também contribuiu para diminuir a estranheza do modelo heliocêntrico, pois apresentava movimentos ao redor de dois centros diferentes

mostrou um bom qualificativo, e, além de homenagear toda a família do príncipe, contava-se com a coincidência de que Cosme era um entre quatro irmãos. O príncipe recebeu, juntamente com a homenagem, o instrumento com que foram observados tais satélites. O *Sidereus Nuncius* havia sido publicado em março, e em setembro Galileu se apresentou em Florença com os títulos de professor de matemática na Universidade de Pisa, sem qualquer obrigação de ensinar ou residir na cidade, e de Primeiro Filósofo e Matemático do grão-duque (enquanto astrônomo, o título de matemático lhe era natural; seu desejo pelo título de filósofo era devido ao seu projeto de renovação da própria filosofia natural).

³⁵ Plano da órbita solar em torno da Terra (ou vice-versa). Em astronomia observacional, é considerada uma linha que representa a região do céu onde se movem os planetas.

³⁶ *Ed. Naz.*, III, p. 81. Trad. port. p. 58.

³⁷ Fig. 8.

(Júpiter circundando o Sol enquanto outros astros descreviam suas revoluções em torno do próprio Júpiter). Apesar disso, a menção de Vênus e Mercúrio, e seus movimentos ao redor do Sol não eram exatamente novidades. O mesmo era previsto também pelo modelo semi-heliocêntrico de Tycho Brahe, aceito por parte dos interlocutores de Galileu. Para a tradição aristotélica, as esferas correspondentes aos planetas acima ou abaixo da esfera solar, e nunca ao redor dela. Entre os astrônomos ptolomaicos, cujo objetivo principal era descrever os fenômenos observados, era notório que Vênus e Mercúrio nunca se afastavam muito do Sol, mas isso não significava que o último fosse o centro dos seus movimentos. Já Tycho havia rompido com a idéia de esferas cristalinas e aceitava os movimentos dos planetas ao redor do Sol. Por isso, a passagem leva a crer que Galileu pretendia validar a descoberta dos satélites jupiterianos inclusive junto aos defensores do modelo semi-heliocêntrico.

Para Galileu, havia ainda um fenômeno que merecia explicação: a variação no tamanho aparente das referidas luas. Para resolver este problema o autor sugeriu que tal efeito deveria ser causado pela "camada de gases" mais densos que o éter, que provavelmente envolveria Júpiter como acontece na Terra e na Lua. Sugerindo tal similaridade, já proposta para as duas últimas, com o planeta, Galileu deu um passo a mais na homogeneização do universo (entre os adeptos da novidade, a descoberta das luas de Júpiter foi recebida com satisfação, e no caso de Kepler, sugeriu uma consequência curiosa. Este, com sua obsessão por encontrar harmonias na natureza, deduziu disso que Marte deveria ser acompanhado por dois satélites, e daí extraiu que, se a projeção fosse geométrica, Saturno teria oito planetinhas à sua volta, se fosse aritmética, seis).

Os três grupos de observações apresentados no *Sidereus Nuncius* - sobre a Lua, as estrelas, e os "planetas Mediceus" - contribuíram, de diversas maneiras, para a aceitação do modelo de Copérnico. As irregularidades da superfície da Lua e sua relação de iluminação

recíproca com a Terra, e a presença de “atmosfera” na mesma e em Júpiter sugeriam que não havia diferença essencial entre os corpos celestes e o nosso planeta. A pequena variação no tamanho das estrelas, através do telescópio, facilitava a aceitação do aumento da distância entre as mesmas e a Terra, como havia previsto Copérnico. E, por fim, os satélites de Júpiter tornavam mais plausível que houvesse um astro girando ao nosso redor, mesmo sendo a Terra apenas um planeta. Todos esses fatores podiam muito bem ser explicados em função do modelo tychônico, o que fazia com que não pudessem ser tomados como evidência definitiva em favor da nova cosmologia. Ainda assim, comprometiam alguns princípios fundamentais da tradição ptolomaico-aristotélica, o que torna o *Sidereus Nuncius* um importante passo em direção ao estabelecimento da nova cosmologia.

Deixando de lado a importância teórica das descobertas inicialmente publicadas, a grande descoberta telescópica contra o modelo ptolomaico-aristotélico foi a variação da figura e do tamanho aparente de Vênus (e em menor grau, a variação de tamanho de Marte). É significativo que, assim como a Lua, a parte iluminada do planeta sempre estivesse voltada para o Sol – prova de que o planeta não possui luz própria, mas reflete a do Sol. Lembremos que a semelhança dessa reflexão com a da Lua também sugere que a matéria do planeta também se assemelhe à terrestre. Pois bem, o que é absolutamente novo nas observações é a combinação entre a posição da face iluminada do planeta e seu tamanho: o planeta aparece, após a conjunção com o Sol, circular e diminuto, e sua circunferência vai aumentando ao mesmo tempo em que sua figura vai se estreitando, ficando corniforme, até a próxima conjunção com o mesmo astro; quando Vênus surge novamente, sua figura, estreita, vai se arredondando, e a circunferência, maior, diminuindo. Em primeiro lugar, é evidente que o planeta se aproximou e depois se afastou da Terra,

dado o tamanho aparente de seu disco. Essa aproximação é acompanhada por uma mudança na sua iluminação, de maneira que, quando está mais próximo de nós, mal se vê a face iluminada, voltada para o Sol; quando o disco surge pequeno e circular, o Sol está entre o planeta e a Terra, e toda a face iluminada aparece para nós. Isso foi, para Galileu, a prova definitiva do movimento de Vênus ao redor do Sol.

Uma questão se coloca a respeito da observação de Vênus: por que o autor parece ter demorado a dirigir sua atenção ao planeta Vênus? As razões da ordem cronológica das descobertas telescópicas são o foco da investigação de Westfall no artigo já citado sobre a questão do patronato: é grande a possibilidade de Galileu ter sido advertido por seu discípulo Benedetto Castelli (1578-1643) da importância de tal observação antes de percebê-la por si mesmo. Para Westfall, o motivo teria sido a necessidade de garantir a prioridade sobre a descoberta dos satélites de Júpiter, sendo também o primeiro a determinar seus períodos. Westfall defende que, inicialmente, o autor estaria mais interessado em garantir a prioridade sobre os “planetas Mediceus” que em encontrar evidências copernicanas com seu telescópio. A carta de Castelli diz o seguinte:

“...Se a posição de Copérnico, de que Vênus circunda o Sol, é verdadeira (como eu acredito), é claro que ela necessariamente seria vista por nós às vezes corniforme, às vezes não... Agora gostaria de saber de V. S. se, com a ajuda de suas maravilhosas lentes, notou tal aparência, a qual sem dúvida será um meio seguro de convencer a mais obstinada das mentes. Espero ainda semelhante coisa de Marte próximo à quadratura com o Sol; já não quero dizer de aparência corniforme ou não corniforme, mas apenas semicircular ou mais cheia...”³⁸

³⁸ Castelli a Galileu, 5 de dezembro de 1610; *Ed. Naz.*, X, p. 480-483.

Na carta Castelli pede a Galileu que examine a figura e a variação do tamanho do planeta Vênus com sua luneta, mostrando a força que tal fato teria como argumento em prol da nova cosmologia. Westfall nota acertadamente que esta carta pode ter chegado a Galileu a tempo de tê-la lido antes de enviar os anagramas que lhe garantiram a prioridade desta descoberta.

É sabido pelos historiadores da ciência que Vênus estava próximo demais do Sol para que se observasse tal fenômeno, quando da elaboração do *Sidereus Nuncius*, mas durante a maior parte do ano que separa a publicação desta obra das cartas em questão, o autor poderia tê-lo observado. Westfall parece acertar ao defender que, em um primeiro momento, a atenção de Galileu estava concentrada na determinação dos períodos dos satélites de Júpiter. De qualquer maneira, Galileu já era um notório defensor da novidade copernicana; é evidente que seu aluno Castelli atentava para o fato de ele ainda não ter investigado um fenômeno capaz de confirmar suas idéias, e o papel desse fenômeno na nova cosmologia não depende da ordem cronológica das descobertas. Ainda assim, essa descoberta não permitia uma decisão entre os modelos de Copérnico e de Tycho, pois em ambos os modelos o Sol era o centro dos movimentos dos planetas.

Saturno, que foi inicialmente visto como um planeta triplo (ou acompanhado de duas luas), e divulgado por Galileu também em forma de anagrama, mostrou outras variações em sua figura, até que, nos anos seguintes, o autor divulgou a observação do planeta com uma figura mais semelhante à que conhecemos hoje.

II.2. O “cannochiale”

Esses novos fenômenos, assim como suas interpretações, foram, obviamente, questionados. O modelo copernicano violentava não apenas as teorias de Aristóteles e Ptolomeu, solidamente estabelecidas: alguns dos argumentos mais importantes contra o movimento da Terra estavam de acordo com o senso comum. Qualquer pessoa podia observar que a trajetória dos objetos que caem é uma linha reta, que as nuvens não são deixadas para trás e que não somos lançados no espaço pela extrusão, como se poderia esperar supondo a rotação da Terra. Em uma conhecida passagem do *Diálogo*, respondendo, através de Salviatti, ao questionamento sobre o reduzido número de adeptos da novidade, o sábio florentino se mostra consciente desse fato:

“...vós vos espantais que tão poucos sejam seguidores da opinião dos pitagóricos; eu fico estupefato de que se tenha até aqui encontrado quem a tenha abraçado e seguido, nem posso admirar suficientemente a eminência do engenho daqueles que a receberam e a consideraram verdadeira, e com a vivacidade de seu intelecto fizeram tal força aos próprios sentidos, que tenham podido antepor o que lhes ditava o discurso ao que lhes mostravam as experiências sensíveis abertamente contrárias. Que as razões contra a revolução diurna da Terra, já examinadas por vós, tenham grandíssima aparência, já o vimos; e terem sido consideradas concludentíssimas pelos ptolomaicos, aristotélicos, é um argumento muito forte de sua eficácia; mas aquelas experiências, que contrariam abertamente o movimento anual, são de uma aversão tanto mais aparente, que (volto a dizer) não posso encontrar limite para minha admiração de como tenha podido, em Aristarco e em

Copérnico, a razão fazer tanta violência aos sentidos, que contra estes ela se tenha tornado soberana de sua credulidade...³⁹

Galileu não está exagerando quanto ao valor das objeções sensíveis aos movimentos diário e anual da Terra. Esta passagem está na terceira jornada do *Diálogo*, cujo assunto é o movimento anual. Em 1610 já não era mais necessário, no sentido mais forte, opor a razão aos sentidos como Copérnico e Aristarco (310-231 a.C.) fizeram. Com o telescópio, seu “sentido mais apurado”, o autor já havia encontrado evidências sensíveis contra o modelo tradicional. Copérnico havia advertido, no *De Revolutionibus*, que, a partir de seu modelo, dever-se-ia esperar a variação do tamanho aparente de Vênus, ao longo de sua órbita, o que não se verificava. Esta era justamente uma das violências aos sentidos às quais Galileu estava se referindo. Mas este havia superado tal problema com a observação do fenômeno através das lentes de seu instrumento.

Diante dessa saída, da experiência telescópica contra a experiência ordinária, surgia outro problema, segundo alguns autores, que ameaçava a aceitação das descobertas galileanas em seu conjunto: a justificação do telescópio. Assim como os anteriores, os telescópios de Galileu não foram construídos com base em uma teoria ótica que os fundamentasse. Embora Kepler já tivesse desenvolvido os princípios que explicariam seu funcionamento, Galileu não os conhecia, como mostra seu relato sobre a fabricação dos instrumentos. Foram construídos a partir de um método de tentativa e erro, sem fundamentação teórica. Entretanto, segundo o autor, este método teve como base a “teoria

³⁹ *Ed. Naz.*, VII, p. 355. Nas citações do *Diálogo* é utilizada, geralmente, a tradução em português de Pablo R. Mariconda (GALILEI, G., *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo Ptolomaico e Copernicano*. São Paulo: Discurso, 2001).

da refração". Vale acompanhar como ele mesmo declarou, no *Saggiatore*, anos mais tarde, ter fabricado o instrumento:

"...Meu raciocínio foi o seguinte. O instrumento precisa de... mais de uma lente. A forma deveria ser convexa, ... côncava, ...ou limitada por superfícies paralelas. Mas as últimas não alteram objetos visíveis de maneira nenhuma; ...a côncava os diminui, e a convexa, embora os aumente, mostra-os indistintos e confusos... Fui levado a considerar o que poderia ser feito com uma combinação da convexa e da côncava..."⁴⁰

É evidente, a partir da descrição do próprio autor, que a "teoria da refração" a que ele se referiu não existia, e que seu procedimento foi baseado em tentativa e erro. O resultado deste procedimento foi uma feliz coincidência: a combinação de lentes a que Galileu chegou mostrava as imagens na posição correta. Se fosse utilizada outra das combinações possíveis, o instrumento funcionaria perfeitamente (como sabemos hoje), mas mostraria imagens invertidas, o que diminuiria muito seu poder de persuasão.

As teorias desenvolvidas por Kepler, em 1604, no seu *Ad Vitellionem Paralipomena quibus Astronomiae pars Optica Traditur*, que poderiam ter auxiliado na justificação do instrumento, e que Galileu confessava não ter compreendido, não eram capazes de resolver as questões relativas às peculiaridades da observação de fenômenos celestes. Quanto a outras teorias anteriores que poderiam ser conhecidas pelo florentino, elas não seriam suficientes para a fabricação do telescópio. Sobre esta questão, há um interessante debate entre Feyerabend e Peter Machamer, reproduzido por Fátima Évora no capítulo intitulado

⁴⁰ GALILEU, G., *Il Saggiatore*. In: *Le Opere*, v. VI p. 259.

“Telescópio: Sentido Superior e mais Aperfeiçoado” de seu *A Revolução Copernicano-galileana*, que conclui em acordo com Feyerabend⁴¹:

“...A descoberta de Galileu do telescópio nem foi obra do acaso, nem simples reprodução de um dispositivo cujas partes e disposições se conhecia previamente. Porém, também não foi feita a partir de um raciocínio lógico dedutivo, já que as teorias óticas com as quais Galileu estava familiarizado não ofereciam bases teóricas suficientes para a construção do telescópio. Galileu conseguiu o progresso graças a tentativa e erro.”⁴²

De fato, a passagem já citada do *Saggiatore*, onde Galileu declara o método utilizado na fabricação do instrumento, corrobora esta conclusão.

Quanto aos opositores mais imediatos da validade do telescópio há, por exemplo, uma carta de um discípulo de Kepler, Martin Horky⁴³, expressando a seu mestre seu contentamento ao descobrir imperfeições na luneta de Galileu, e duvidando de coisas como a visão de algumas estrelas duplicadas e as luas de Júpiter:

“... provei uma e mil vezes o instrumento de Galileu, ora nas coisas aqui de baixo, ora naquelas lá de cima. Nas de baixo operou milagres; no céu

⁴¹ Feyerabend é um autor difícil devido ao seu estilo provocativo. Muitas vezes a impressão é de que ele tanto se diverte às custas dos opositores quanto de quem pensa estar de acordo com suas idéias. As respostas do autor às críticas que seu *Contra o método* recebeu chegam a chocar quem o tenha levado a sério (tanto a crítica dirigida a Feyerabend por E. Gellner quanto a resposta foram publicadas - em português - em *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1980, 1, p. 62-89). Apesar disso, muito da argumentação do autor traz questões importantes e que podem ser aproveitadas, independentemente da intenção de Feyerabend ao enunciá-las. Em determinado momento de sua resposta, o autor brinca com um princípio “do seu opositor racionalista”: “a motivação que está por trás de um argumento não lhe afeta a racionalidade” (*Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1980, 1, p. 79). O princípio pode ser aplicado a si mesmo, autorizando a quem pretende escrever, ao contrário de Feyerabend no *Contra o método* (idem, p. 85), um trabalho acadêmico, a utilização de argumentos feyerabendianos mesmo sem um compromisso maior com as consequências que o autor deles deriva.

⁴² EVORA, F., *A Revolução Copernicano-galileana*, v. 2. Campinas: CLE/UNICAMP, 1994, p.81.

fracassou, pois algumas estrelas fixas são vistas duplicadas... Também vi quatro estrelas próximas diminutíssimas como observou Galileu em Júpiter... muitos outros... junto comigo observaram no céu a constelação de Presépio... estando presente o próprio Galileu; mas todos confessaram que o instrumento fracassava ..."⁴⁴

Horky é o exemplo paradigmático citado pelos historiadores sobre o tipo de objeção que o telescópio de Galileu enfrentou. Entretanto ele não parece ter duvidado tanto assim do instrumento, mas apenas da aplicação do telescópio de Galileu à observação celeste⁴⁵, pois sua carta termina com uma promessa a Kepler em alemão (o restante da carta está em latim):

"...Fiz um molde das lentes sem ninguém saber, e, se Deus me der saúde, farei um telescópio melhor que o de Galileu..."⁴⁶

O telescópio fascinava os contemporâneos de Galileu, mas alguns de seus adversários, como Horky, questionavam sua validade como um "sentido mais apurado". O principal deles era que "os sentidos aplicados em condições anormais são suscetíveis de fornecer respostas anormais"⁴⁷, fato já previsto por Aristóteles. Os corpos celestes eram tidos como essencialmente diferentes dos terrestres e de modo algum sujeitos às mesmas leis. Não era difícil mostrar que as lunetas funcionavam com objetos terrestres, cujas

⁴³ Carta de Martin Horky a Kepler, de 27 de abril de 1610. *Ed. Naz.*, X, p. 342-343. Consultou-se SANTOS, C., *El Mensaje y el Mensajero Sideral*. Madrid: Alianza, 1984, p. 193.

⁴⁴ *Ed. Naz.*, X, p. 343.

⁴⁵ Horky questionou a validade do instrumento para as observações celestes na sua *Brevissima peregrinatio contra nuncium sidereum* (1610). In: *Ed. Naz.*, III, p. 137-138.

⁴⁶ *Ed. Naz.*, X, p. 343.

⁴⁷ FEYERABEND, P., *Contra o Método*. Lisboa: Relógio D'água, 1993, p. 123.

imagens poderiam ser verificadas sem dificuldade, bastando que o observador se aproximasse deles e conferisse o que havia visto através das lentes. Com objetos celestes isto obviamente não era possível.

Além disso, não se pode deixar de lado as imperfeições características de um instrumento ainda rudimentar. Shea nota que “as aberrações esféricas e cromáticas do primeiro telescópio de Galileu eram tais que elas provavelmente confundiam as diferenças entre as aparências de estrelas e planetas”⁴⁸. Havia ainda os problemas relativos à falta de costume no manuseio do instrumento, como variações na colocação da imagem e no seu aumento. A duplicação de imagens, apontada por Horky, pode ser atribuída a problemas quanto ao foco⁴⁹. De acordo com Feyerabend, tratava-se de corroborar uma teoria refutada pelos sentidos com um instrumento pouco conhecido e sem qualquer justificação teórica. Diversos fenômenos observados com o telescópio eram claramente contrários à astronomia e à cosmologia tradicionais, como a variação de tamanho de Vênus e Marte, e a variação de figura de Vênus, que atestavam suas revoluções em torno do Sol; as irregularidades observadas na superfície da Lua e as constantes mudanças encontradas nas manchas solares⁵⁰, em contradição com o princípio aristotélico de inalterabilidade do céu; e a diferença entre a visão telescópica de planetas e estrelas fixas, que sugeria que estas últimas estariam extremamente distantes da Terra (a não observação de paralaxe⁵¹ das estrelas fixas era tida como uma prova contra o movimento de translação da Terra, pois, no caso da revolução anual em torno do Sol, elas teriam que estar situadas a uma enorme distância de

⁴⁸ SHEA, W., *Galileu Galilei: An Astronomer at Work*. In: LEVERE & SHEA (eds.), *Nature, Experiment and the Sciences*. Dordrecht: Kluwer, 1990, p. 59.

⁴⁹ Sobre estas questões, ver FEYERABEND, 1993, p. 124.

⁵⁰ Que são o assunto central do capítulo seguinte.

⁵¹ Variação da posição aparente de determinado astro em função do deslocamento do observador.

nós para que não fosse observada qualquer variação na posição de umas em relação às outras).

Galileu defendeu uma teoria que contrariava os dados imediatos dos sentidos - a copernicana - através de observações feitas com um instrumento de invenção recente, sem justificação teórica, e (mais tarde) da elaboração de uma nova dinâmica em substituição à anterior, tendo como base a dita teoria refutada pelos sentidos. Este procedimento, para Feyerabend, mostra como a ciência nem sempre caminha sobre bases seguras e como, em momentos cruciais, se as metodologias fossem aplicadas elas teriam obstruído o progresso (porque a anacrônica exigência da justificação teórica do instrumento teria levado à sua recusa).

A discussão da justificação do telescópio é extensa e ultrapassa as pretensões deste trabalho, especialmente porque, passado o impacto inicial das primeiras observações telescópicas, já não havia, entre os principais opositores de Galileu, quem questionasse a validade do instrumento. Nos anos seguintes, as principais polêmicas em que ele se envolveu trataram da interpretação das imagens telescópicas, e não da justificação do mesmo, como veremos a partir do capítulo seguinte. Valem mais aqui, portanto, as vantagens teóricas para o copernicanismo obtidas com as observações telescópicas, principalmente as imperfeições na superfície lunar e as semelhanças entre a reflexão da luz na Lua e na Terra. O instrumento construído por Galileu levou-o a descobrir evidências empíricas que foram fundamentais no rompimento com a cosmologia tradicional, e estabeleceram as bases para a aceitação do novo modelo.

A Unificação do Cosmo

Cap. III

III

Mudanças no céu

III.1. As manchas solares

No capítulo anterior foram discutidos o telescópio e um primeiro grupo de observações feitas por Galileu com o auxílio do instrumento, tendo em vista seu papel no rompimento do autor com o cosmo hierarquicamente ordenado de Aristóteles. Neste terceiro capítulo será tratado um segundo grupo de observações, referentes, principalmente, às manchas solares, a grande evidência empírica de alterações no mundo supra-lunar, tendo como base, principalmente, as três cartas de Galileu a Marco Welser (1558-1614), publicadas com o nome de *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari*. Como contraponto, o segundo momento deste capítulo traz a questão dos cometas, surgida após o incidente com a Igreja em 1616, e com ela, um segundo momento das controvérsias do autor com a Companhia de Jesus. Além disso, trata-se brevemente das considerações galileanas acerca da nova física matemática, no *Ensaíador*, em meio à discussão sobre os cometas.

Há registros históricos da observação a olho nu de manchas no Sol. Tais registros não são abundantes, já que só manchas extremamente grandes podem ser vistas sem o telescópio, e sua ocorrência é raríssima. A partir desses registros, sabe-se que o ocidente medieval interpretou as manchas como a passagem de Mercúrio ou Vênus sobre o disco

solar¹. Kepler, em 1609, na obra *Phaenomenon Singulare Seu Mercurius in Sole*, divulgou sua observação de manchas sobre o disco solar através de um dispositivo de câmera escura, e interpretou o fenômeno como o trânsito de Mercúrio².

Em julho de 1610, já com o telescópio, Galileu observou manchas sobre o disco solar. Elas surgiam, desapareciam, se juntavam e separavam, de maneira desordenada, e se moviam em conjunto, regular e continuamente. Na mesma época, um holandês chamado J. Fabricius (1577-1615) também observou o fenômeno, assim como o padre jesuíta Christoph Scheiner (?1575-1650)³. O holandês, que publicou suas observações em 1611, concluiu que as manchas eram contíguas ao corpo solar e evidenciavam a rotação do astro sobre si mesmo⁴ (como Galileu). Scheiner, por outro lado, um defensor da ciência dominante, obviamente não o "viu" da mesma maneira que Galileu (e Fabricius), e publicou, em janeiro de 1612, três cartas enviadas a Marco Welser, nas quais descrevia suas observações⁵. Welser escreveu a Galileu informando sobre a publicação de Scheiner e pedindo seu parecer⁶. Seguiu-se a polêmica entre Galileu e Scheiner mediada por Welser, o destinatário das cartas de ambos os autores sobre o tema, que incluiu três cartas de Galileu e outras três cartas de Scheiner a Welser, também publicadas (em setembro de 1612).

¹ VAN HELDEN, *Galileu and Scheiner on Sunspots*. : *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 1996, 140, p. 359. É curioso que um dos relatos que Van Helden descreve é de 807 d.C., quando supostamente não deveria haver conhecedores de astronomia no ocidente cristão.

² Segundo B. Dame, Giordano Bruno conhecia as manchas do Sol e delas se utilizava contra o dualismo cosmológico tradicional, como mais tarde Galileu faria. Bruno teria, inclusive, deduzido dos movimentos das manchas a rotação do astro sobre si mesmo (DAME, B., "Galilée et les taches solaires". In: *Rev. Hist. Sci.*, 1966, 19, p. 313).

³ Um inglês chamado Thomas Harriot também havia observado o Sol através de um telescópio em 1610, sem, contudo, notar a existência de manchas. O que Harriot notou foi a dificuldade em se observar o astro diretamente, e a necessidade de se escolher um momento propício para fazê-lo (como o nascer do Sol, ou o crepúsculo, e a ocorrência de névoa). Ver Van Helden, 1996, p. 368-369.

⁴ DAME, 1966, p. 316.

⁵ Tais cartas foram assinadas com o pseudônimo *Apelles latens post tabulam*, de difícil tradução. Segundo Carlos Solís Santos (editor do *Galileo-Kepler: El mensaje...*), trata-se de uma referência a pintores que ficam atrás do quadro para ouvir a opinião do público – "Apelles oculto atrás do quadro".

⁶ *Ed. Naz.*, XI, p. 257.

Galileu já havia mencionado as manchas e suas primeiras impressões sobre elas⁷ no *Discurso acerca das coisas que estão sob a água e que nela se movem* (1612) quando, em 1613, publicou suas três cartas a Welser com o nome de *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* em duas versões: uma delas incluía as duas publicações anteriores de Scheiner.

Este último defendia que as manchas eram formadas pela agregação de inúmeros planetas que orbitavam o Sol como qualquer outro, e, devido à sua interposição entre o Sol e o observador terrestre, a superfície solar nos apareceria manchada. Movimentos de corpos celestes ao redor de diversos centros não eram problema para Scheiner, como mostra sua opinião sobre as manchas e também sobre as luas de Júpiter. Ele não estava entre os que criticavam o copernicanismo pelo fato de a maioria dos astros circundar o Sol enquanto o movimento da Lua seria ao redor da Terra. Deve-se notar também que sua hipótese o afasta daqueles que questionavam a validade das observações telescópicas. Para ele estas eram válidas, o telescópio era mesmo um “sentido mais apurado”. É interessante notar, com Van Helden, que Scheiner “teve muito trabalho em demonstrar que as manchas solares não eram produto do olho, do telescópio ou do ar... [enquanto] Galileu tomou isso como garantido”⁸. Não era evidente, para um defensor da ciência tradicional, que o telescópio fosse perfeitamente confiável na observação de corpos celestes, daí o empenho do jesuíta em defender esta opinião⁹.

Para Galileu, ao contrário, não havia dúvida sobre a fiabilidade do instrumento. A principal discordância entre eles era sobre a inalterabilidade do céu: o jesuíta dizia que as

⁷ *Ed. Naz.*, IV, p. 64.

⁸ VAN HELDEN, 1996, p. 373.

⁹ Quanto à referência ao ar, era sabido que um fenômeno como este poderia ser produzido na atmosfera terrestre. Como veremos, Galileu interpretou os cometas dessa maneira.

observações através do instrumento não comprovavam nenhuma alteração no céu. Ambos acreditavam que as manchas não poderiam estar abaixo da esfera da Lua, pois, nesse caso, seria observada paralaxe; Scheiner, no entanto, defendia que a não observação deste fenômeno apenas indicava que as manchas eram formadas pela agregação de inúmeros planetas, desaparecendo com a separação dos mesmos, sendo apenas aparentes todas as alterações observadas nas manchas. Ambos sabiam que o que estava sendo maculado era todo o conjunto da filosofia natural oficial.

A posição de Scheiner era uma curiosa mistura das teses de Tycho Brahe com os elementos principais da cosmologia tradicional. Vale lembrar que, para Tycho, estava comprovada (ainda que de maneira limitada) a existência de geração e corrupção no céu desde suas observações da nova de 1572. Esta aceitação da astronomia tychônica ao lado de princípios cosmológicos negados pelo próprio Tycho levou Galileu a comparar Scheiner aos astrônomos ptolomaicos, que explicavam astronomia e cosmologia com modelos diversos e incompatíveis, como veremos.

Na primeira carta Galileu comentou pontualmente as teses de Scheiner, propondo algumas hipóteses sem considerá-las demonstradas. Estas hipóteses seriam confirmadas na segunda carta. Embora incapaz de demonstrar a natureza das manchas, o autor apresentou sua contestação das teses tradicionalistas do adversário. Mesmo assim, sugeriu que, das coisas que se conhecia, as mais semelhantes às manchas solares eram as nuvens. Na segunda carta, o autor ofereceu diversos argumentos, assim como desenhos que ilustravam suas cuidadosas observações e demonstrações geométricas, considerando certa a localização das manchas na superfície solar - o principal motivo de controvérsia. De fato, isto era necessário para contestar a tese de que eram planetas. As duas primeiras cartas constituem certa unidade independente. Galileu já havia concluído a segunda carta quando

foi comunicado sobre a segunda publicação de Scheiner. Em resposta, a última carta de Galileu apresenta mais argumentos e demonstrações, discorrendo também sobre outras observações telescópicas, como Saturno, Vênus e os satélites de Júpiter. Será proveitoso acompanhar detalhes da discussão presente nessas cartas, pois nosso objetivo é justamente analisar a argumentação anti-aristotélica de Galileu, e a obra sobre as manchas solares é um momento privilegiado de seu rompimento com a cosmologia tradicional, particularmente quanto à distinção entre céu e Terra.

Galileu introduziu a controvérsia, na primeira carta, destacando os (poucos) pontos em comum: ele e Scheiner concordavam com a validade das observações telescópicas, e também que as manchas não estavam abaixo da esfera lunar devido ao critério da paralaxe. A concordância não ia além, e o restante da carta é a contestação das teses do jesuíta, a começar pelo sentido do movimento das manchas. Para Scheiner, elas se moviam de leste para oeste. De fato, quando observadas com o telescópio, é este o movimento que se verifica. Galileu notou, entretanto, que elas só são observadas quando passam sobre a face do sol que está voltada para nós. Assim, a afirmação de Scheiner estaria correta, desde que as manchas apenas passassem sobre o disco solar, e não estivessem circundando o astro. Mas elas dão a volta ao Sol no mesmo sentido dos planetas, e, segundo Galileu, deve-se considerar o sentido do movimento quando elas passam acima do Sol¹⁰, como se faz com os planetas. Por isso, seu movimento deve ser considerado de oeste para leste. Lembremos que, de acordo com a linguagem da época, derivada da cosmologia tradicional, as palavras acima e abaixo eram equivalentes a: mais próximo do centro da Terra e mais distante do centro da mesma.

¹⁰ Sobre a face solar que não está voltada para a Terra.

A comparação das manchas com planetas é mais exata quando referente a Vênus e Mercúrio. Os outros planetas - Marte, Saturno e Júpiter - se movem no mesmo sentido, em relação ao observador terrestre, de oeste para leste, ao longo da eclíptica - exceto por seu movimento retrógrado. Já os dois planetas inferiores são os únicos que apresentam grande parte de seu movimento de leste para oeste, quando estão passando “abaixo” do Sol, segundo o modelo de Copérnico - e de Tycho Brahe. Este primeiro passo de Galileu na contestação das teses do jesuíta é típico de sua retórica ácida e elaborada: ele se utiliza dos termos tradicionais - acima e abaixo - e mostra como uma interpretação mais correta do fenômeno fortaleceria a tese do opositor sobre as manchas serem planetas. Tal tese se tornaria mais verossímil se levasse em conta que as manchas se movem no mesmo sentido que os planetas. Com isso Galileu pretendeu desmoralizar o adversário a partir da falta de habilidade do mesmo em se utilizar dos próprios princípios.

Scheiner defendeu também que as manchas observadas no Sol eram mais escuras que aquelas vistas na Lua. Ora, as manchas da Lua, como vimos no *Sidereus Nuncius*, não eram formadas pela presença de qualquer corpo em sua superfície, mas apenas pela iluminação de sua superfície irregular. Dessa maneira, interessava ao jesuíta defender que elas eram diferentes das vistas no Sol, para reforçar sua conclusão de que as manchas solares seriam agregações de planetas, coisa completamente diversa e mais densa que simples sombras. Para Galileu elas não eram da mesma natureza das observadas na Lua, mas também não poderiam ser mais escuras: pois a luz do Sol impede a visão da Lua, dos planetas e das estrelas fixas, e não o faz com as manchas. Para que elas não fossem ofuscadas pela luz solar elas deveriam ser mais claras que as da Lua, pois quando esta surge durante o dia apenas suas partes mais iluminadas são vistas, enquanto as manchas escuras desaparecem. Segundo o sábio italiano, as manchas observadas diante do disco solar apenas pareciam

mais escuras, e isto seria devido ao contraste com o corpo intensamente luminoso do astro. Além disso, não é necessário que as manchas solares sejam de matéria densa e opaca como os planetas para obscurecer partes do Sol, pois a obscuridade de uma nuvem é suficiente para ocultar o brilho do disco solar.

Aproveitando para sugerir sua conclusão - de que as manchas se assemelhavam a nuvens - e para marcar sua posição de que os planetas eram feitos de matéria opaca, e não cristalina, como acreditavam os defensores da tradição, Galileu contestou Scheiner através do princípio segundo o qual corpos mais escuros são vistos com maior dificuldade que corpos mais claros, diante de iluminação intensa, sugerindo que a aparente obscuridade das manchas seria causada pelo contraste com o Sol.

O jesuíta acreditava poder observar os trânsitos de Vênus e Mercúrio sobre o disco solar, decidindo assim a controvérsia sobre a localização das esferas destes planetas. Isto não era uma novidade, como vimos, pois Kepler e outros astrônomos anteriores tiveram a mesma pretensão. Scheiner pretendia que, se tais trânsitos fossem observados, eles seriam um argumento a mais em defesa da suposta existência de outros planetas ainda mais próximos do Sol, formando as manchas solares por agregação. O problema da localização das órbitas desses planetas já havia sido resolvido por Galileu: as fases de Vênus e a variação de seu tamanho aparente situam a órbita do planeta ao redor do Sol. Além disso, o tamanho ínfimo dos planetas, em relação ao disco solar, não permitiria que Vênus e Mercúrio fossem vistos sobre ele, pois seriam ofuscados, e a simples observação do planeta diante do Sol não poderia decidir a questão; dever-se-ia verificar o fenômeno na conjunção matutina e na vespertina¹¹, para descobrir quando o planeta passa acima ou abaixo do Sol, e então decidir sobre as três hipóteses: se o movimento é acima do Sol, abaixo dele, ou à sua

volta. A questão, para o jesuíta, era localizar as esferas de Vênus e Mercúrio acima ou abaixo da esfera do Sol, problema colocado pela ciência tradicional há muito tempo, e desqualificado tanto pelo modelo copernicano quanto pelo tychônico¹².

É estranho que o alemão enunciasse sua tese desta maneira, pois veremos que ele defendia, na maior parte das vezes, o modelo astronômico de Tycho Brahe, que dizia que esses planetas descreviam sua revolução ao redor do Sol (veremos também que Galileu não deixou de se aproveitar dessa confusão). Para Galileu, que estava rompendo com a idéia das esferas cristalinas, e, pouco tempo antes, havia observado as fases de Vênus, era garantido que o problema não se colocava nesses termos. Os dois planetas circundavam o Sol, e por isso, a questão - que, em todo o caso, não poderia ser resolvida como Scheiner pretendia, pois os planetas seriam ofuscados devido ao seu tamanho aparente em relação ao do Sol - era saber quando passavam diante do disco solar, e quando passariam por trás dele. De qualquer maneira, Galileu já sabia a resposta. O sábio florentino já sabia que o movimento dos planetas Vênus e Mercúrio era de oeste para leste quando passavam “acima” do Sol e de leste para oeste “abaixo” dele. Mesmo com a questão resolvida, é evidente que, se pudesse observar a passagem desses planetas sobre o disco solar, Galileu não dispensaria mais uma evidência, pois, como se verifica em seus escritos, a economia de argumentos não é própria do discurso galileano. Entretanto o autor realmente não considerava possível a observação pretendida pelo jesuíta.

Como já se poderia esperar, Galileu não deixou de contestar ferozmente as conclusões finais apresentadas por Scheiner. Este último defendeu que havia determinado o

¹¹ Quando Vênus passa pelo o Sol após ser vista no céu pela manhã e à tarde, respectivamente.

¹² Outra objeção à pretensa observação do trânsito dos planetas inferiores viria na segunda carta. Nesta Galileu comentou a observação do trânsito de mercúrio alegada por Kepler em 1609, ressaltando que

lugar, o movimento e a substância das manchas. Para ele as manchas estariam próximas do Sol, mas não junto a ele, porque, como demoram cerca de quinze dias para passar sobre o disco solar, se estivessem contíguas a ele as mesmas deveriam voltar a aparecer depois de mais quinze dias, o que não se observava. O argumento foi facilmente rebatido, pois não é plausível esperar que as manchas, não permanentes, que surgem e desaparecem continuamente, provem alguma coisa com seu retorno depois de quinze dias. Sendo assim, mesmo que Galileu concedesse que as manchas eram provisoriamente formadas pela agregação de planetas, como pretendia Scheiner, não se poderia extrair tal conclusão. Só se poderia resolver essa questão a partir do retorno das manchas se elas fossem permanentes. O jesuíta defendia, para manter a inalterabilidade do Sol - e, por consequência, do céu - que a saída era considerá-las múltiplos planetas, e portanto não poderia localizar as manchas na superfície do mesmo, fato conhecido também por Galileu.

Scheiner já havia proposto que as órbitas de Vênus e Mercúrio seriam “acima” ou “abaixo” do Sol. Depois, situou as mesmas órbitas ao redor do Sol, colocando as manchas entre as esferas da Lua e do Sol. Esta visão contraditória, que confundia o modelo tradicional e o semi-heliocêntrico, comum entre os jesuítas do início do século XVII, rendeu, nesta primeira carta de Galileu, uma discussão sobre a realidade das hipóteses astronômicas, que culminou com sua distinção entre astrônomo puro e astrônomo filósofo. Para ele, o primeiro pretende “salvar de qualquer maneira as aparências”, enquanto o segundo trata de

Mercúrio não demora mais que sete horas para atravessar o disco do Sol, e, portanto, não poderia ser o que Kepler observou.

"investigar como problema máximo, e digno de admiração, a verdadeira constituição do universo, porque tal constituição é, e é de um único modo, verdadeira, real, e impossível de ser diferente, e, pela sua grandeza e nobreza digna de prioridade sobre qualquer outra sábia questão dos engenhos especulativos."¹³

Qualquer semelhança entre esta oposição de astrônomo puro e astrônomo filósofo e aquela proposta por Pierre Duhem, entre instrumentalismo e realismo (que, aliás, se mostrou insuficiente), não é coincidência. Se é verdade que a palavra realismo é carregada de diversos significados, e, por isso, inadequada, não deixa de ser verdadeiro que a posição tradicional dos astrônomos ptolomaicos diante de seu objeto é adequadamente descrita pelo termo instrumentalismo.

Entretanto, embora as teses do jesuíta sejam realmente contraditórias, é exagerado aplicar a elas a idéia de instrumentalismo, através da expressão “astrônomo puro”, como Galileu parece fazer. A aplicação da distinção feita por este entre “astrônomo puro” e “astrônomo filósofo” aos escritos de Scheiner sobre as manchas solares deveria antes considerar o jesuíta como um “astrônomo filósofo”, pois o mesmo parece, na controvérsia em questão, realmente interessado na relação existente entre as esferas, sem o objetivo de calcular o período da revolução de Vênus ou Mercúrio. O fato de ele dizer, por vezes, que as revoluções de Vênus e Mercúrio seriam ao redor do Sol, e outras vezes pretender localizar as esferas desses planetas acima ou abaixo do astro soa mais como um discurso cosmológico contraditório que como uma disparidade entre suas concepções astronômicas e cosmológicas.

¹³ *Ed. Naz.*, V, p. 102.

Galileu não acreditava na realidade das esferas cristalinas, e criticou duramente o jesuíta por ter se preocupado em situar as manchas nesta ou naquela esfera, tomando como reais as "suposições imaginárias" dos astrônomos. Este debate mostra o grau de confusão que Copérnico e as consequências de sua teoria¹⁴ causaram nos defensores da tradição.

No caso, o problema central era a localização das manchas. Scheiner situou suas manchas-planetadas na esfera do Sol, alegando que não poderiam estar nas esferas de Vênus e Mercúrio porque, neste caso, seriam carregadas por elas, e não apresentariam o movimento próprio observado. Diante disso, não é difícil perceber que o problema, para o jesuíta, se colocava em termos nitidamente aristotélicos: se as manchas eram planetas, deveriam estar em alguma esfera. Galileu, mantendo ironicamente os mesmos termos tradicionalistas, como se não tivesse acabado de se posicionar contra a existência das esferas, explicitou a clara contradição desta proposta, pois o mesmo argumento que deveria mostrar que as manchas não estão nas esferas de Vênus e Mercúrio, também impediria que estivessem na esfera do Sol. Galileu o reverteu contra Scheiner - se estivessem na esfera do astro, acompanhando seu movimento ao redor da Terra, também não apresentariam movimento próprio; é mais plausível, segundo o argumento acima descrito, que estivessem sobre a superfície do Sol, acompanhando a rotação deste sobre seu próprio eixo.

Além disso, se as manchas fossem planetas girando ao redor do Sol, apresentariam fases, como a Lua e Vênus, e sua velocidade, ao atravessar o disco solar deveria ser constante, o que não se observa. Na verdade Galileu já havia observado alguns fenômenos que denunciavam sua contigüidade ao Sol (descritos através de desenhos), como uma mancha, próxima da borda do disco solar, se dividindo em duas ao se aproximar do centro e

¹⁴ Entre as quais incluo o modelo tychônico.

voltando a parecer uma só após se afastar do centro¹⁵. Tudo indica que eram duas manchas o tempo todo, mas pareciam ser uma por estarem sobre uma superfície esférica, e se apresentarem ao observador terrestre praticamente sobrepostas. Para Galileu tais questões seriam esclarecidas após a observação de uma mancha desde o momento em que ela surge de um lado do Sol até o momento em que ela desaparece do outro lado, verificando sua forma, a variação de sua velocidade e sua relação com outras manchas. Ou seja, mais observações possibilitariam resolver o problema de sua localização.

Quanto à pretensão do jesuíta de haver descoberto algo sobre a essência das manchas, Galileu foi bem menos otimista. O primeiro disse que não poderiam ser cometas ou nuvens, mas que eram estrelas girando ao redor do Sol. O segundo não foi tão longe: disse que, se a Terra fosse um corpo luminoso, como o Sol, as nuvens terrestres, vistas de longe, pareceriam exatamente como as manchas no Sol. Outras coisas causariam o mesmo efeito, como vapores, exalações ou fumaça. Mas Galileu não acreditava poder conhecer com absoluta certeza a natureza das manchas. Voltaremos em breve a esta questão, mas vale esclarecer que, para ele, apenas as afecções das coisas poderiam ser conhecidas, como seu tamanho ou sua figura, sendo a essência impossível de captar.

Mesmo abrindo mão do conhecimento da essência das manchas, o italiano era capaz de dizer o que elas não eram: planetas ou estrelas. Não podiam ser estrelas fixas porque não eram fixas. Estrelas errantes (planetas) também não poderiam ser, pois a figura destas é sempre esférica, e planetas são corpos opacos, mais densos que a substância celeste, e sua face voltada para o Sol se ilumina, enquanto na oposta se produz uma sombra profunda, como comprovam as observações telescópicas de Vênus. As manchas, além de não

¹⁵ Fig. 9.

apresentarem estas características, passam sobre o disco solar surgindo, desaparecendo, mudando de figura, coisas impossíveis a um planeta.

Scheiner ainda tentou fazer uma analogia com as luas de Júpiter ou os "filhos" de Saturno, a qual fracassou devido à não compreensão da novidade astronômica pelo jesuíta. Ele acreditava que os quatro satélites de Júpiter (que não seriam necessariamente quatro) estariam se movendo em conjunto, em uma única esfera, de maneira semelhante à das manchas solares. O que ele não havia notado é que os satélites circundam Júpiter com períodos diferentes, e descrevem círculos de tamanhos diferentes, o que invalida a analogia.

Reconhecendo nas teses de seu adversário uma tentativa de adaptar o fenômeno à cosmologia dominante, em detrimento do testemunho da natureza, Galileu descreveu a atitude epistemológica de Scheiner da seguinte maneira: para ele “é melhor errar universalmente [com o conjunto] do que ser particular discorrendo corretamente[sobre as partes]”¹⁶. De fato, é isso que se vê no argumento deste último que pretende demonstrar que as manchas não estão no corpo do Sol: para manter a inalterabilidade (equivocada) do Sol e de todo o céu, o jesuíta se empenhou em separar as manchas da superfície solar. Para Scheiner, as manchas - que surgiam, desapareciam, se agregavam e desagregavam - não poderiam estar no Sol por ser este “lucidíssimo e puríssimo”. Como disse Galileu, isso é “pressupor de antemão o que se queria demonstrar”. Através da clássica “petição de princípio”, Galileu mostrou a circularidade do argumento de seu adversário: este supôs que as manchas, provas de alteração, não estivessem no Sol por ser o mesmo inalterável, para disso concluir que não há alteração no astro.

A disputa sobre a possibilidade de se conhecer a essência das manchas solares evidenciou uma das mais importantes diferenças entre Galileu e seus opositores

tradicionalistas: enquanto Scheiner pretendeu descrever a essência das manchas, Galileu não acreditava que ela era acessível a nós. Para ele, apenas afecções - lugar, figura, movimento, grandeza, opacidade, mutabilidade, produção, dissolução - podiam ser observadas e conhecidas. Além disso, como pretender conhecer a essência das coisas celestes se isso não se conseguia nem com as terrestres?

Limitando o conhecimento humano a afecções de natureza geométrica, Galileu abriu mão da pretensão de conhecer a essência das coisas. Por outro lado, isso significou um passo fundamental na negação de uma teoria física qualitativa em favor de uma teoria quantitativa da natureza¹⁷.

No fim desta primeira carta ele anunciou um novo método de observação do Sol, desenvolvido por seu discípulo Benedetto Castelli (1578-1643), que permitia observações muito mais precisas e impedia que se ferisse os olhos na observação. Tal método só foi descrito na segunda carta e consistia na projeção do disco solar, através do telescópio, em uma folha, na qual bastava que se desenhasse por cima da imagem projetada, invertendo a posição, para que se conseguisse imagens do Sol. Isso foi de fundamental importância nas observações das manchas, pois permitia que se observasse o fenômeno por um longo período e que se fizesse um desenho muito mais fiel do mesmo.

No mês seguinte ao envio desta primeira carta, Galileu já se demonstrava convicto, enviando a M. Barberini (1568-1644), futuro papa Urbano VIII, alguns desenhos de suas observações e a afirmação categórica de suas conclusões: a contigüidade das manchas ao corpo solar, a rotação do Sol sobre si mesmo, a semelhança do fenômeno com as nuvens e, finalmente, o “juízo final” da filosofia peripatética: “com a mutabilidade, corrupção e

¹⁶ *Ed. Naz.*, V, p. 95.

geração até da mais excelente substância do céu, tal doutrina mostra corrupção e mutação, mas não sem esperança de regenerar-se *in melius*”¹⁸. Pouco depois, escreveu a P. Gualdo (1553-1621) que as manchas solares e suas outras descobertas não eram fenômenos passageiros como as novas de 1572 e 1604 ou os cometas, mas evidências muito mais definitivas: poderiam sempre ser observadas¹⁹.

Com um tom vitorioso, a segunda carta a Welser apresenta principalmente as observações de Galileu, com demonstrações geométricas da contigüidade das manchas ao corpo solar baseadas em desenhos feitos com o método de Castelli. Scheiner também havia feito desenhos, tecnicamente muito inferiores aos de Galileu, somando-se a isso o cuidado de Galileu com a parte gráfica, no momento da publicação²⁰. Van Helden nota acertadamente a importância das imagens nas obras de Galileu que descrevem suas observações telescópicas, como já vimos com relação ao *Sidereus Nuncius*. No caso das manchas solares isto é ainda mais evidente, pois temos outra descrição pictórica do fenômeno, a de Scheiner. Os desenhos deste último, de qualidade inferior, estão mais próximos das representações esquemáticas do céu feitas anteriormente.

Os reduzidos desenhos de Scheiner facilitavam a interpretação das manchas como satélites solares, e apresentavam uma clara deficiência metodológica: a direção da faixa que elas ocupavam sobre o disco solar mostra que não houve, da parte do jesuíta, a preocupação de observar o fenômeno no mesmo horário, diariamente, como fez Galileu, e nem ao menos de reproduzir as representações no mesmo sentido, o que facilitaria a visualização do

¹⁷ Na segunda parte deste capítulo veremos de que maneira a recusa ao conhecimento das essências está ligada à geometrização da natureza.

¹⁸ *Ed. Naz.*, XI, p. 311.

¹⁹ *Ed. Naz.*, XI, pp. 326-327.

²⁰ Ver VAN HELDEN, 1996, pp. 378-379.

fenômeno²¹. O último procedeu segundo um método mais adequado. Além disso, fez desenhos muito mais próximos do que realmente se observa.

É notável que Marco Welser, alemão e, por isso, mais distante do autor que seus colegas, pretendesse publicar as cartas de Galileu com o tamanho dos desenhos reduzido, provavelmente devido às dificuldades técnicas da impressão de figuras, enquanto Frederico Cesi e os outros italianos perceberam a importância de reproduzi-los com o mesmo tamanho com que Galileu os fez (de página inteira), e chegaram a submeter a fidelidade da impressão aos desenhos originais à supervisão do pintor Cigoli.

A segunda carta trata fundamentalmente da localização das manchas em relação ao corpo do Sol, apresentando tais desenhos e demonstrações geométricas, introduzidos pelas conclusões de Galileu, a saber:

- as manchas estão contíguas ao Sol ou separadas dele por uma distância imperceptível;
- não são estrelas nem nada permanente, mas se alteram continuamente, sendo umas mais duradouras e outras menos;
- sua figura é bastante irregular; elas se unem e separam ao acaso;
- apresentam um único movimento universal e uniforme em linhas paralelas;
- o Sol é perfeitamente esférico;
- o astro gira sobre si mesmo em aproximadamente um mês lunar, de oeste para leste, como os planetas.

²¹ Fig. 10. Cigoli(1559-1613), em correspondência com Galileu anterior à primeira carta deste a Welser (em março de 1612), enviara-lhe observações (fig. 11) em desenhos nos quais incorria no mesmo erro (de não levar em conta a mudança na posição em que observamos o Sol ao longo do dia). *Ed. Naz.*, XI, p. 286-289. A correspondência de Galileu com o pintor se inicia antes da publicação do *Sidereus Nuncius*.

Galileu ressaltou ainda um fato que o intrigou, mas não foi resolvido por ele: as manchas se concentram em uma faixa entre 28° ou 29° ao norte e ao sul do equador solar. Exceto por este fato, todas as outras conclusões são, na verdade, confirmações do que Galileu já havia concluído na primeira carta. Ainda assim, não deixam de ter importância fundamental. Na primeira carta o autor havia declarado a necessidade de realizar mais observações, de modo a apresentar conclusões melhor fundamentadas. Lembremos de sua afirmação sobre não poder ainda confirmar suas conjecturas, mas estar em condição de contestar as de Scheiner. Mesmo que as teses do autor já estivessem todas presentes na primeira carta, faz-se necessária uma análise da segunda carta uma vez que o objeto desta dissertação é sua argumentação anti-aristotélica de Galileu.

Como já foi dito, era o caso de saber se as manchas eram planetas ou não. Assim, a questão de maior destaque era a sua localização. O objetivo de Galileu era provar que elas estavam contíguas ao corpo do Sol. Por isso, descreveu, com a ajuda de numerosos e detalhados desenhos, o que viu (e Scheiner não):

- no centro do disco solar as manchas se mostravam mais largas, e se estreitavam gradualmente ao se aproximarem da periferia;
- a velocidade com que a maioria das manchas atravessava o disco solar era variável, mas de variação regular (mais rápidas no centro que na periferia);
- o espaço entre duas manchas situadas no mesmo paralelo aumentava próximo ao centro e diminuía ao se afastar dele.

Estas três características das imagens reproduzidas nos desenhos mostraram algumas coisas: que o Sol é perfeitamente esférico, que as manchas o circundam com movimento regular e, principalmente, que estão contíguas ao Sol - ou separadas dele por uma distância

imperceptível. É um problema de perspectiva: se elas fossem planetas, ou seja, estivessem separadas do Sol, girando ao seu redor, passariam sobre ele com velocidade uniforme, com distância regular entre uma e outra, e seu tamanho não apresentaria esta variação tão regular - mais largas no centro e mais estreitas na periferia.

A exposição das observações foi acompanhada da prova geométrica de sua contigüidade ao Sol. Inicialmente Galileu considerou os raios solares paralelos, dada a grande distância entre a Terra e o Sol. Depois considerou duas manchas situadas no mesmo paralelo, destacando, nas observações registradas, a distância real entre as manchas e a distância aparente, observada da Terra. Claramente se vê que, no centro do disco solar a distância aparente entre as manchas é a distância real. Nas outras posições as duas [a distância real e a aparente] são diferentes. Com base nesta demonstração, o autor calculou o que seria observado se a distância entre as manchas e o Sol fosse a centésima parte do diâmetro do Sol, mostrando que essa distância, de acordo com suas observações, deveria ser muito menor que a centésima parte do diâmetro do Sol.

Outra observação que fortaleceu esta tese foi a distância permanente entre duas manchas situadas no mesmo meridiano.

Quanto ao que seriam as manchas, Galileu retomou os desenhos para ressaltar a irregularidade das mutações observadas, e o fato de que as maiores são mais duradouras. Tudo levava a crer que as mais duradouras reapareceriam após passarem para a parte de trás do Sol, embora Galileu não declarasse isso provado. Segundo o autor, é certo que as manchas são de matéria tênue como as nuvens, e estão no Sol ou muito próximas dele, todas em uma mesma esfera. Mas se elas estivessem em uma esfera tão próxima do Sol, porque o mesmo não seria carregado por ela também, se se diz que as esferas carregam os planetas? E ainda, se a substância das manchas é tênue como a das nuvens, como atestam

sua irregularidade e suas constantes alterações, elas também não poderiam comunicar seu movimento ao Sol, e nem apresentariam este movimento constante e regular. Galileu optou por abolir a idéia das esferas, e viu o próprio Sol em movimento. Colocando as manchas no próprio Sol, alcançou seu objetivo principal - a contestação da inalterabilidade do céu.

Após estas conclusões, o autor ainda aplicou a dinâmica que estava desenvolvendo, de acordo com as coisas terrestres, ao movimento das manchas no Sol. Em outras palavras, ele apresentou alguns princípios da nova física que mais tarde ressurgiriam no *Diálogo*, aplicando-os indiferentemente ao estudo da Terra e do céu. O que mais tarde seria conhecido como a inércia circular de Galileu foi utilizado para explicar a indiferença das manchas ao movimento circular do Sol: um movimento horizontal é aquele que não tem inclinação para cima nem para baixo, e, devido a essa falta de inclinação, ele tende a continuar eternamente - para o autor, o movimento horizontal ocorre sobre a superfície terrestre, ou, neste caso, solar, o que o torna, em última instância, circular. O exemplo utilizado é o de um navio, que, posto em movimento, e removidos os impedimentos externos, tende a continuar em movimento para sempre. Para o autor o mesmo deve se aplicar ao movimento das manchas, circundadas por um ambiente móvel de um movimento que lhes é indiferente. Por isso Galileu concluiu que o movimento do Sol, das manchas e do ambiente à volta delas é circular e constante.

Ao fim da carta Galileu voltou ao assunto principal: Aristóteles, que dava tanto valor à experiência sensível, havia pedido uma prova de alteração no céu: agora Galileu podia dar seu grito de vitória. Não eram mais novas e cometas, em regiões menos nobres do céu:

"... finalmente descobri naquela parte do céu, meritoriamente a mais pura, ...
na face do próprio Sol, produzir-se continuamente, e dissolver-se em pouco
tempo, uma quantidade inumerável de matéria escura e densa..."²²

Esta segunda carta apresenta as justificativas de Galileu para a grande evidência empírica obtida por ele sobre a alterabilidade do Sol. Dessa maneira, o golpe do autor atingiu não só as teses de Scheiner, mas - e principalmente - o cosmo hierárquico da tradição. Com isso, para Galileu, a questão teria sido considerada resolvida ao final da segunda carta. Foi necessária uma terceira, diante de um novo pronunciamento do jesuíta, que Welser enviara a Galileu pedindo-lhe mais uma vez o parecer. Scheiner apresenta, nesta obra, objeções à primeira carta de Galileu (o jesuíta não sabia italiano, e só se havia traduzido até então a primeira carta), e comentários sobre as outras observações telescópicas de Galileu.

Em sua resposta, Galileu contestou o princípio de autoridade, tão utilizado por Scheiner - em particular neste novo pronunciamento -, com uma comparação interessante: Cigoli e outros pintores ririam de Arcimboldo se este lhes dissesse que a única maneira de representar a natureza²³ era através de flores, frutas e instrumentos agrícolas. A crítica era não apenas a Scheiner, mas também à ciência tradicional como um todo. Em primeiro lugar, seria absurdo supor que um único intérprete - Aristóteles - fosse autorizado a falar sobre a natureza. Em segundo lugar, do mesmo modo que um rosto humano formado por frutas é mais distante da realidade que o mesmo rosto reproduzido fielmente, pode-se pensar que Galileu está sugerindo que o que compõe a natureza não é o que pensava

²² *Ed. Naz.*, V, p. 140.

²³ *Ed. Naz.*, V, p. 190-191.

Aristóteles, mas círculos e triângulos, antecipando sua famosa metáfora do livro da natureza escrito em linguagem matemática.

O argumento principal do novo pronunciamento de Scheiner é uma observação – diz ele que o tempo com que as manchas atravessam o Sol é desigual, sendo que as mais afastadas do equador solar atravessariam mais rapidamente o Sol. Não é algo que Galileu realmente tenha levado a sério, atribuindo tal equívoco a uma falha nas observações.

A novidade na terceira carta é a resposta de Galileu aos comentários de Scheiner sobre as outras descobertas telescópicas. A discussão das semelhanças e diferenças entre a Terra e a Lua, que ocupa boa parte da primeira jornada do *Diálogo*, aparece nesta carta em uma versão preliminar. Scheiner e Galileu concordavam que o relevo da Lua era irregular e que as suposições sobre habitantes na Lua (ex. Kepler) eram absurdas. A diferença básica entre suas posições era quanto à matéria da Lua. Para o jesuíta não poderia haver devir na Lua, porque ela era composta de éter, o elemento imutável, inalterável, etc.. Para Galileu, ao contrário, estava demonstrado que havia devir nos corpos celestes, e no mais nobre deles, sendo os homens da Lua absurdos apenas porque não havia motivo para supor que as coisas existentes na Lua fossem inteiramente semelhantes às nossas.

A grande evidência de semelhança entre a Terra e a Lua como já vimos, diz respeito à reflexão recíproca da luz. Para Scheiner, a Lua era um corpo transparente, e a Terra opaca, áspera e incapaz de refletir a luz. A opinião de Scheiner era compartilhada pela maior parte do meio científico do início do século XVII, e estava relacionada com o que se acreditava ser a substância celeste: lucidíssima e perfeitíssima. Para Galileu, se a superfície da Lua fosse polida como um espelho, ela seria invisível para nós. Por outro lado, comparando a iluminação da Lua pelo Sol durante o dia, com uma nuvem ou uma parede iluminada, descobre-se que o astro se ilumina como os últimos. Além disso, Galileu diz que é mais

fácil ler um livro sob a luz refletida em uma parede que sob a luz refletida na Lua. O reflexo da luz do Sol na Terra, conforme visto da Lua, deve ser muito mais potente que o da Lua cheia visto da Terra. Por isso, a iluminação secundária da Lua não se deve, como pretendia Scheiner, à refração dos raios solares nela, mas à reflexão da luz do Sol na Terra. Para que a Lua fosse translúcida, como pretendia Scheiner, sua matéria deveria deixar passar muito mais luz que a das nuvens, pois estas são capazes de obscurecer completamente o Sol, e isto com os raios solares percorrendo uma distância muito menor que o diâmetro do astro. Ora, se a Lua fosse assim tão transparente, ela não poderia refletir a luz do Sol como faz, mas permaneceria sempre com uma iluminação bastante fraca e constante e o limite entre a parte iluminada e a parte escura do astro não poderia ser determinado. Como exemplo disto Galileu apresenta uma garrafa com líquido dentro. Se a matéria lunar fosse tão transparente, a ponto de permitir que a luz do Sol atravessasse todo o seu diâmetro, certamente as montanhas de sua superfície seriam invisíveis. Se o jesuíta estivesse certo, outros fenômenos também seriam observados, como o centro da Lua mais escuro que a periferia, na Lua nova, pois os raios luminosos percorreriam uma distância maior dentro da matéria lunar. Após estes argumentos, o autor conclui que

"... a opacidade e a aspereza da Lua, assim como a reflexão da luz do Sol na Terra, hipóteses verdadeiras e sensíveis, satisfazem com admirável facilidade e de maneira plena a todos os problemas particulares..."²⁴

Galileu acreditava ter resolvido a questão, com estes argumentos. Veremos, quando for estudada a primeira jornada do *Diálogo*, que a persuasão dos defensores da tradição

²⁴ *Istoria e dimostrazioni*, p. 225.

exigiria ainda muitos outros argumentos e evidências. Levemos em conta que a pureza do satélite terrestre estava, de alguma maneira, ligada à imagem da Virgem Maria Imaculada²⁵, o que dificultava ainda mais a aceitação da idéia de que sua matéria fosse corruptível como a terrestre. Clavelin nota que, além da homogeneidade do cosmo garantida diante da observação de mudanças no Sol, uma outra identidade, particular, essa identidade da Terra com os planetas (e satélites) na opacidade e capacidade de refletir a luz habilita Galileu a extrair de fenômenos terrestres conclusões aplicáveis também ao céu²⁶.

Prometendo uma discussão mais detalhada para outra ocasião, Galileu passou a tratar da flexibilidade que a palavra *stella*²⁷ ganhou no discurso de Scheiner. Para acomodar a definição de astro (*stella*) às manchas solares, ele teve que assumir que a forma desses astros era inconstante e irregular, e que elas surgiam e desapareciam. Como evidência disto, sugeriu que assim se comportavam os satélites de Júpiter. Para Galileu esta opinião era uma grande ofensa pessoal, pois sua homenagem "eterna" aos Médici, assim como sua seriedade científica estavam em jogo.

O argumento de Scheiner que dizia que os astros pareceriam circulares para nós devido à distância (como uma chama no topo de um monte, à noite, ou Vênus corniculada)

²⁵ Ver REEVES, 1997. Um dos assuntos principais do trabalho de Reeves é a questão da perfeição da Lua, e a relação das descobertas galileanas com as representações artísticas do astro. Ver, particularmente, as pinturas representando a Virgem de Cigoli (*Immacolata*, 1610-1612), Pacheco (*Immaculada con Miguel Cid*, 1619) e Velásquez (*Immaculada*, 1619). Os dois últimos representaram a Lua perfeitamente esférica e transparente, abaixo de Maria, enquanto Cigoli reproduziu o astro na mesma posição, mas opaco e "maculado", isto é, com as crateras observadas por seu amigo de Florença. Além disso, a autora apresenta três outras obras de Cigoli nas quais a lua bastante estreita, logo após a conjunção, é representada. Nota-se que, na mais antiga (*Adoração dos pastores*, 1599) o astro não apresenta a iluminação secundária, ao passo que nas outras duas (*Adoração dos pastores*, 1602 e *Deposição*, 1607) essa iluminação é bem evidente.

²⁶ CLAVELIN, 1968, p. 209.

²⁷ A palavra *stella* será traduzida neste caso por 'astro', e não por estrela. Dessa maneira é possível evitar possíveis equívocos quando a palavra estiver se referindo a planetas ou satélites, pois a intenção de Galileu é justamente marcar a diferença entre *stellae* fixas e errantes (fundamental no seu rompimento com o dualismo cosmológico da tradição, pois lhe interessava provar que toda a matéria, celeste e terrestre, era sujeita ao devir, e isto em geral; todavia esse argumento era fortalecido pela identidade maior existente entre a Terra e os astros errantes, principalmente a Lua).

foi refutado por Galileu com referência ao telescópio. Através deste, tanto astros fixos como errantes (planetas) são vistos mais próximos, e mantêm suas aparências perfeitamente circulares. As luas de Júpiter, como a observação criteriosa de Galileu havia demonstrado, eram permanentes, e seu movimento bastante regular. O fato, alegado pelo jesuíta, de elas às vezes desaparecerem, foi explicado como sendo o eclipse de umas pelas outras e por Júpiter.

Estes esclarecimentos ofereceram a Galileu uma excelente introdução à apresentação de um grande feito: a determinação dos períodos dos satélites de Júpiter - que garantiu, definitivamente, sua prioridade sobre a descoberta - acompanhada da descrição - através de um esquema extremamente funcional, muito semelhante ao que é utilizado ainda hoje - das órbitas dos satélites²⁸. O equívoco de Scheiner foi interpretado por Galileu como sendo devido a falhas nas observações, à falta de um método para medir as distâncias com precisão e à confusão entre as luas, que levou o jesuíta a falar em cinco luas. O sábio de Florença havia desenvolvido adaptações no telescópio que permitiram medir precisamente distâncias angulares mínimas entre corpos celestes, visando principalmente determinar o período dos astros “Mediceus”, chamadas de “micrômetro” e “jovilábio”²⁹.

Esta discussão levou Galileu a tratar das diversas acepções da palavra *stella*³⁰. A palavra era aplicada também a coisas que, para Galileu, não estavam na região celeste, como “estrelas cadentes” e cometas³¹. Até os olhos da mulher amada poderiam ser chamados de astros. Com a intenção de precisar a aplicação do nome astro às manchas,

²⁸ Cf. figura 8, já citada no cap. anterior.

²⁹ Ver SHEA, W., *The Revelations of the Telescope. Nuncius*, 1996: 2, p.518-522.

³⁰ Este procedimento (de precisar cada acepção de uma palavra) é bastante comum na obra de Aristóteles e dos escolásticos, o que sugere - embora tal procedimento seja relevante e necessário neste momento - uma sutil ironia da parte de Galileu.

³¹ A tese sobre os cometas serem fenômenos atmosféricos ressurgiu na controvérsia posterior com o também jesuíta Horácio Grassi, ainda que, na ocasião, Galileu também não os tenha observado.

Galileu citou, uma a uma, as diferenças principais entre as manchas e astros, pois Scheiner insistia que elas eram astros. Estes possuem figura, grandeza e forma constantes; são permanentes; e são divididos em duas categorias: alguns são imóveis e outros móveis com movimento próprio. Os imóveis estão sempre iluminados. Os móveis estão situados a diversas distâncias do Sol; são visíveis longe do Sol; são de matéria densa e opaca. Já as manchas são de infinitas figuras, todas irregulares; sua grandeza e sua forma são constantemente alteradas; duram pouco tempo; são sempre escuras; possuem um movimento comum a todas, regular no conjunto, mas infinitamente irregular para cada uma; estão contíguas ao Sol ou imperceptivelmente separadas dele; só são visíveis no Sol, e sua matéria é tênue como névoa ou fumaça.

Estando garantido que as manchas solares não poderiam ser astros, o autor sugeriu que deveriam ser a fumaça de algo em combustão, o que explica de maneira bastante satisfatória o modo como surgem, desaparecem, crescem ou diminuem, se unem e separam.

Galileu encontrou ainda outra incompatibilidade entre as teses de Scheiner e os princípios aristotélicos que este pretendia defender. Para que as manchas fossem astros como pretendia o jesuíta, deveriam ser muito numerosas, e dificilmente se manteriam juntas pelo tempo que uma mancha é observada no disco solar. Seriam também incompatíveis com as definições aristotélicas. Aristóteles dividiu os astros em fixos (estrelas fixas) e errantes (planetas), os primeiros com um único movimento comum a todos e as distâncias entre si inalteráveis, e os segundos com movimento próprio. Por motivos óbvios não se poderia considerar as manchas astros fixos, ao passo que seu movimento em conjunto as impede de ser astros errantes - ao menos no sentido tradicional. Se mesmo assim se pretender que as manchas são dezenas ou centenas de pequenos astros, estar-se-á atribuindo a estrelas movimentos tumultuados, disformes e irregulares, o que não pode ser concebido

dentro do sistema aristotélico. Não parece razoável que haja tantos astros contíguos à superfície solar, se entre o Sol e Saturno há tão poucos.

Segue-se uma breve discussão da nobreza da permanência: Galileu atribuiu o amor pela incorruptibilidade ao temor que sentimos da morte. O texto continua dizendo que corrupção é diferente de aniquilação. Como um ovo, que se corrompe para dar lugar ao pinto, a corrupção nada mais era, para Galileu, que mutação. É inverossímil que a Terra deixe de existir por causa da corrupção de suas partes. Se a Terra não deixa de existir por haver devir em sua superfície, o mesmo deve ser aplicado aos corpos celestes. Assim, a totalidade do planeta se mantém, enquanto apenas suas partes estão sujeitas ao devir.

O objetivo das cartas era romper, com base na observação do Sol, com o cosmo aristotélico. O astro se mostrou um objeto privilegiado em tal projeto, pois, sendo “lucidíssimo” e puríssimo aos olhos da tradição, a evidência de mudança em suas partes tornou menos importante a observação de outras evidências em astros menos nobres. Ao mostrar que as manchas estavam no Sol, dadas as suas características visíveis, e que sofriam vários tipos de mudança previstos pela *Física* apenas para substâncias sublunares, Galileu fez do telescópio a grande arma contra o cosmo de Aristóteles, criando condições mais favoráveis para o estabelecimento da nova cosmologia.

III.2. Os cometas e a polêmica com os jesuítas

Apesar das vitórias obtidas por Galileu para a causa copernicana com o telescópio, ainda havia batalhas a travar em outros campos. E o campo da religião era perigoso para o copernicanismo desde as primeiras oposições luteranas, com suas interpretações literais das

passagens bíblicas. Em pouco tempo Roma já compartilhava dessa hostilidade para com a novidade astronômica. As objeções teológicas ao copernicanismo (a passagem de Josué 10,12 e outras menos conhecidas³²) levaram Galileu a defender a doutrina de Copérnico também no campo teológico.

Após a publicação das cartas sobre as manchas solares, Galileu elaborou e divulgou através de cartas sua defesa teológica da independência da ciência em relação à fé. Da conhecida carta a seu discípulo Castelli em dezembro de 1613 ao texto conhecido como *Considerações sobre a opinião copernicana*, de 1615, ele defendeu efusivamente o modelo copernicano, através de uma proposta para a interpretação não literal das passagens bíblicas que o contradiziam. As Escrituras, segundo ele, não poderiam errar. Por outro lado, deve-se ter em mente qual é o propósito com que elas foram escritas, a saber, a salvação das almas, e não a explicação da natureza. Detalhes científicos como o movimento da Terra em torno do Sol, não sendo necessários a salvação, teriam sido omitidos em função de uma melhor transmissão da mensagem divina para os homens comuns, ignorantes da estrutura verdadeira do cosmo:

“Se os primeiros escritores sacros tivessem a intenção de instruir o povo sobre as disposições e os movimentos dos corpos celestes, não teriam dedicado a tal assunto um tratamento tão restrito que é como se nada fosse em comparação com as infinitas, admiráveis e altíssimas conclusões que tal ciência contém”³³.

³² As mais conhecidas no séc. XVII são, além de Josué 10,12, segundo C. A. R. Nascimento, *Salmos* 18,6 e 103,5; I *Crônicas* 16,30; e *Eclesiastes* 1, 4-6,

³³ Carta de Galileu a Castelli, dezembro de 1613; *Ed. Naz.*, V, 284-285. A tradução das cartas envolvidas nesta questão é de C. A. R. Nascimento, extraída de NASCIMENTO, C. A. R. (ed.), *Razão e fé*. São Paulo: Nova Stella, 1988.

Deus teria, segundo Galileu, escrito dois livros: a Bíblia, através dos profetas, em linguagem comum e destinado à orientação espiritual dos homens; e a natureza, em linguagem matemática. Para a compreensão da natureza é preciso que se compreenda sua linguagem. Assim, estaria resolvido o conflito entre as verdades teológicas e as científicas, ambas incontestáveis, e garantida a independência da investigação da natureza³⁴.

Em conformidade com a independência científica, o estatuto dos milagres também se modificou: não seria necessário oferecer uma explicação natural para eles, nem mesmo levá-los em conta na investigação das leis da natureza, pois milagres seriam atos divinos que, em vista dos objetivos do Criador, estariam à margem das leis da natureza. Sendo o propósito da ciência a compreensão dessas leis, milagres estariam excluídos das considerações científicas. Lembremos que foi na condição de milagre que a “nova” e os cometas causaram a rejeição, por parte de Tycho, da imutabilidade do céu.

A incursão de Galileu pela teologia não impediu que, em 1616, o Santo Ofício condenasse o copernicanismo, após um processo que envolveu o próprio Galileu. Este não foi, nessa ocasião, condenado, mas intimado a silenciar sua defesa do novo modelo astronômico: “a doutrina atribuída a Copérnico, que a Terra se move ao redor do Sol e que o Sol está parado no centro do mundo sem mover-se de oriente para ocidente, é contrária à

³⁴ Assim mesmo, Galileu apresenta uma curiosa interpretação da passagem de Josué, diante dos resultados de suas investigações sobre as manchas solares, que a torna mais plausível de acordo com a nova cosmologia do que de acordo com o modelo tradicional. Em um mundo copernicano, Deus teria impedido o movimento de rotação do Sol, movimento esse que poderia ser causa do movimento da Terra e dos outros planetas, o que faria com que nosso planeta, em consequência, interrompesse sua rotação, prolongando o dia para que o exército de Josué vencesse a batalha. Já dentro do modelo ptolomaico, não bastaria parar o Sol para que o dia se prolongasse, ao contrário, isso o tornaria mais curto. Isso ocorreria porque, no modelo tradicional, o movimento que faz o dia e a noite não é do Sol, mas do primeiro móvel, que carrega consigo o próprio Sol, os planetas e as estrelas. O movimento característico do Sol e dos planetas seria em sentido inverso (ao longo da eclíptica), e sua interrupção tornaria o dia um pouco mais curto. Assim, o modelo ptolomaico seria menos adequado à interpretação literal da passagem (Carta de Galileu a Cristina de Lorena, de 1615; *Ed. Naz.*, V, 343-347).

Sagradas Escrituras, e por isso não se pode defender nem sustentar”³⁵. O cardeal Roberto Bellarmino, responsável pelo processo, dizia, em carta a Paolo Antonio Foscarini, ser mais prudente falar:

“...’por suposição’ e não de modo absoluto, como eu sempre cri que tenha falado Copérnico. Porque dizer que, suposto que a Terra se move e o Sol está parado, salvam-se todas as aparências melhor do que com a afirmação dos excêntricos e epiciclos, está dito muitíssimo bem e não há perigo algum. E isto basta para o matemático...”³⁶

A opinião expressa pelo cardeal corrobora o instrumentalismo da astronomia tradicional, parafraseando Osiander. Entretanto, não se trata exatamente do mesmo caso, pois mais adiante Bellarmino estabelece as condições para a aceitação da novidade e conseqüente alteração na interpretação das Escrituras:

“...se houvesse verdadeira demonstração de que o Sol esteja no centro do mundo e a Terra no 3° céu e de que o Sol não circunda a Terra, mas a Terra circunda o Sol, então seria preciso proceder com muita atenção na explicação das Escrituras que parecem contrárias e dizer, antes, que não as entendemos, do que dizer que é falso aquilo que se demonstra...”³⁷

O que Bellarmino defendia talvez não fosse o modelo instrumentalista de ciência, mas a necessidade de uma demonstração necessária antes de se pôr em questão a

³⁵ PAGANI & LUCIANI (eds.), *Os documentos do processo de Galileu Galilei*. Trad. de A. Angonese. Petrópolis: Vozes, 1994, p. 154.

³⁶ Carta de Roberto Bellarmino a Paolo Antonio Foscarini, abril de 1615; *Ed. Naz.*, XII, p. 171.

³⁷ Carta de Roberto Bellarmino a Paolo Antonio Foscarini, abril de 1615; *Ed. Naz.*, XII, p. 172.

interpretação literal da Bíblia. Ele não estava enganado ao dizer que o copernicanismo não estava suficientemente demonstrado, e admitia a possibilidade de demonstração necessária em filosofia natural. Muito provavelmente a idéia de demonstração verdadeira de Bellarmino era bastante diversa da de demonstração matemática de Galileu e mais próxima da tradição aristotélica.

O fato é que, com o decreto de 1616 contra a novidade copernicana, Galileu não deveria se pronunciar novamente a seu favor. Até 1623 Galileu não publicou nada em seu próprio nome. Entretanto, isso não impediu que ele fosse envolvido na disputa acerca de uma nova “mensagem das estrelas”, a saber, o surgimento de três cometas em 1618. Os matemáticos jesuítas do Colégio Romano publicaram, no ano seguinte, a opinião de seu representante Horácio Grassi sobre o fenômeno, considerando-o uma evidência anti-copernicana. Galileu não pôde observá-los, por motivo de saúde, mas sua opinião foi continuamente cobrada. A notoriedade que o autor havia alcançado, desde suas primeiras descobertas telescópicas, o obrigou a se pronunciar. Ainda assim, a prudência o levou a publicar sua opinião sob autoria de Mario Guiducci, seu discípulo e companheiro na Academia dos Lincei, na obra *Discurso sobre os Cometas*. Prontamente Grassi replicou, com o pseudônimo Lotario Sarsi (suposto aluno seu), publicando a *Libra Astronômica*. A réplica só veio em 1623, com a publicação do *Ensaíador*, obra que discute pontualmente as críticas do jesuíta.

Como vimos, esta não era a primeira polêmica de Galileu com um membro da Companhia de Jesus. Dez anos antes o autor esteve envolvido em uma controvérsia com o padre alemão Cristóvão Scheiner sobre as manchas solares. Pode ser frutífero traçar um breve paralelo entre estas duas polêmicas com os jesuítas. Além do fato de Scheiner e Grassi pertencerem à mesma ordem religiosa, e de se verificar um tom bastante hostil por

parte dos debatedores nas duas ocasiões, há ainda entre elas outro importante ponto em comum: no texto de 1613 a controvérsia principal era sobre a localização das manchas no corpo solar ou fora dele, enquanto no de 1623 um dos principais problemas também era sobre localização, desta vez referindo-se aos cometas.

Vale notar, entretanto, três grandes diferenças entre as cartas e o *Ensaíador*, uma referente às convicções cosmológicas dos adversários de Galileu, outra referente à opinião do mesmo e a terceira a respeito da relação do observador Galileu com o fenômeno em questão:

1) Scheiner, mesmo estando bastante próximo do modelo tychônico quanto à astronomia, rejeitava as conclusões cosmológicas de Tycho. Já Grassi concordava com Tycho em maior grau, situando os cometas na região celeste. Ainda assim, Grassi não rompeu, como Tycho, com a tese tradicional do cosmo hierarquicamente ordenado. Para Grassi o cometa seria um corpo celeste que descrevia um percurso bastante anômalo.

2) Os cometas poderiam ter sido utilizados por Galileu, assim como o foram as manchas solares (e também a “nova” de 1604), como evidência de geração e corrupção no céu, criando dificuldades para os defensores do cosmo hierarquicamente ordenado de Aristóteles. De fato, Tycho Brahe havia rompido com essa tese aristotélica após a observação da “nova” de 1572 e do cometa de 1577. Entretanto, surpreendentemente, Galileu preferiu situar o cometa abaixo da esfera da Lua, como um fenômeno meramente meteorológico, concordando, nesse ponto, com Aristóteles.

3) Galileu não observou diretamente os cometas, por motivo de saúde, para emitir seu juízo, baseado nos relatos de colaboradores; quanto às manchas, ao contrário, ele pôde dedicar-se pessoalmente a um exame cuidadoso (além de também contar com descrições alheias).

Antes disso, o autor já havia declarado a superioridade das manchas enquanto evidência. Ainda assim, é válido questionar sobre o que teria levado Galileu a desprezar os cometas, evidências aparentemente copernicanas. Por que os cometas não foram interpretados por ele à semelhança de Tycho? A explicação mais provável é que a localização celeste dos cometas não era necessariamente uma evidência copernicana. A opção pelo modelo heliocêntrico, que Galileu não mais defendia explicitamente após 1616, mas ainda assim uma convicção sua, estava relacionada com a maior harmonia e simplicidade do sistema copernicano, e um corpo celeste errante que descrevesse um movimento alheio ao sistema solar, como parecia ser o caso dos cometas, feria tais princípios. Não havia espaço, no cosmo harmônico de Galileu, para os cometas (e também não haveria, até a morte do autor, paz com os cientistas da Companhia de Jesus).

Embora a questão central do *Ensaio* seja a polêmica com Grassi a respeito dos cometas, a obra traz também alguns dos apontamentos mais importantes sobre o papel das matemáticas na ciência galileana. Já no frontispício da obra se encontra uma figura cuidadosamente escolhida pela Academia dos Lincei, e que já coloca a questão da relação entre o estudo da natureza e a matemática. Nela se destacam, como moldura para o longo título da obra, duas colunas, uma representando o estudo da natureza, e outra representando as matemáticas³⁸. Na primeira, como símbolo da disciplina, verifica-se um livro e um modelo do cosmo, enquanto na segunda as matemáticas são representadas através de uma esfera armilar, referência à astronomia, e um compasso, simbolizando a geometria. Na base desta segunda coluna há uma composição com duas lunetas, fazendo referência à importância do instrumento – e, conseqüentemente, de Galileu – para a ciência da astronomia. Não é absurdo pensar que talvez essa referência à união entre filosofia e

matemática, entre cosmologia e astronomia fosse uma menção discreta também a Copérnico que unira as duas em um mesmo modelo. Com Galileu essa união se amplia, e a matemática passa a ser condição *a priori* para o estudo da natureza. A abordagem da ciência da natureza empreendida por Galileu, ou seja, a utilização da matemática como linguagem em seu estudo, sugerida pelo desenho acima descrito, ressurge de maneira discursiva no sexto parágrafo do *Ensaíador*, na passagem que talvez seja a mais citada pelos estudiosos de Galileu:

“...A filosofia está escrita neste grandíssimo livro que aí está aberto continuamente diante dos olhos (isto é, o universo), mas não se pode entendê-lo se primeiro não se aprende a entender a língua e conhecer os caracteres nos quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, meios sem os quais é humanamente impossível entender-lhe sequer uma palavra; sem estes trata-se de um inútil vaguear por um obscuro labirinto...”³⁹

Para ele, os procedimentos demonstrativos tradicionais e os argumentos de autoridade não eram adequados ao estudo da natureza. Neste deveria ser utilizada a linguagem matemática. Essa tese é recorrente nos escritos do autor, e já estava presente em suas cartas sobre as manchas solares.

Para a tradição, a geometria e a aritmética tinham, em filosofia natural, um papel específico nas chamadas ciências intermediárias medievais, que estudavam formas matemáticas “enquanto realizadas ou concretizadas nos sons, na luz ou nos movimentos

³⁸ Fig. 12.

³⁹ *Ed. Naz.*, V, p.232. Utiliza-se nesta passagem a tradução de C. A. R. Nascimento, apud NASCIMENTO, 1988, p. 176.

dos astros”⁴⁰. Seus objetivos eram mais limitados que os da física: explicar apenas os aspectos quantificáveis dos astros, do som ou da luz. Assim, enquanto a astronomia se pretendia apenas uma cinemática celeste, a física aristotélica pode ser melhor caracterizada como dinâmica, pois oferecia um conhecimento mais completo do seu objeto. Da mesma forma, a linguagem matemática de Galileu parece, à primeira vista, mais adequada ao conhecimento do **que** ocorre que à apreensão de **porque** isso ocorre e porque ocorre dessa maneira e não de outra. Ainda assim, nem Galileu nem seus sucessores nesse empreendimento hoje chamado de física moderna abandonaram completamente a pretensão do conhecimento das causas. Lembremos mais uma vez: ele não se satisfaz apenas com o título de matemático. Nas palavras de Nascimento,

“...No fundo, Galileu parece ainda trabalhar com a distinção entre saber *que é assim* e saber *porque é assim*, constituindo este último a ciência propriamente dita, isto é, para retomar seus próprios termos, a demonstração de afecções eternas e necessárias...”⁴¹

De fato, enquanto filósofo da natureza, as demonstrações matemáticas de Galileu compartilham do objetivo do segundo (e principal) tipo de demonstração, ainda que o uso das matemáticas o aproxime do primeiro. Ele não se crê completamente incapaz de fornecer causas. Segundo a obra galileana as afecções passíveis de tratamento matemático permitem algumas conclusões que extrapolam a mera descrição. No caso das manchas solares, por exemplo, o autor pôde deduzir, dos movimentos das mesmas, a sujeição da matéria que as compõe ao devir, e as semelhanças do céu com a Terra, ainda que renunciando ao

⁴⁰ NASCIMENTO, C. A. R., *De Tomás de Aquino a Galileu*. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1995, p. 79.

⁴¹ NASCIMENTO, 1995, p. 171.

conhecimento definitivo de sua constituição interna. O autor renunciava não apenas ao conhecimento definitivo de objetos distantes, localizados no céu, mas também das coisas terrestres e cotidianas. Para ele, das coisas naturais, apenas temos acesso às afecções. E não é qualquer afecção que pode ser objeto da ciência galileana: apenas aquelas que são quantificáveis, isto é, passíveis de tratamento geométrico e aritmético.

No parágrafo 48 do *Ensaizador* Galileu apresenta, em meio a uma discussão acerca do calor, sua distinção entre as qualidades primárias e secundárias⁴², a caracterização de cada uma, e alguns elementos de uma teoria da percepção. Ele diz que uma substância corpórea deve ser necessariamente concebida como:

“...limitada e dotada desta ou daquela figura, que ela em relação a outra é grande ou pequena, que ela está neste ou naquele lugar, neste ou naquele tempo, que ela se move ou está parada, que ela toca ou não toca outro corpo, que ela é uma, poucas ou muitas, por nenhuma imaginação posso separá-la destas condições; mas que ela deva ser branca ou vermelha, amarga ou doce, sonora o muda, tenha odor agradável ou desagradável, não me sinto compelido a crer que a deva apreender necessariamente acompanhada de tais condições...”⁴³

Como se pode ver, de um lado estão colocados a figura, o lugar, o tamanho, o tempo, o movimento, o contato e o número, qualidades primárias, e de outro a cor, o sabor, o som e o cheiro, qualidades secundárias. A posição galileana a respeito das últimas é apresentada a partir de uma analogia com as cócegas. O corpo animado,

⁴² Galileu não utilizou as expressões qualidades primárias e qualidades secundárias. Quem as utilizou foi Descartes, e com sentido exatamente igual ao que Galileu conferiu às expressões 'acidentes primários e reais' e 'afecções que são reputadas qualidades insitas nos objetos externos, [mas] não possuem verdadeiramente outra existência a não ser em nós, não sendo exceto nomes fora de nós', respectivamente. Optei aqui pelos

“...sendo tocado na sola dos pés, sobre os joelhos ou abaixo das axilas, sente, além do contato, uma outra afecção, à qual demos um nome particular, chamando-a de cócega, afecção que é inteiramente nossa, e de maneira nenhuma da mão [que nos toca]; e parece-me que gravemente erraria quem desejasse dizer que a mão, além do movimento e do contato, tivesse em si uma outra faculdade diversa destas, a saber, fazer cócegas, como se a cócega fosse um acidente nela situado...”⁴⁴

É inadmissível, para Galileu, que a cócega esteja presente na mão que nos toca os pés. Objetos diferentes, como uma pena ou um pedaço de papel são capazes de produzir o mesmo efeito. Contudo, quando o seu contato e seu movimento se efetuam em outras partes do corpo, tal efeito não se verifica. A conclusão é que:

“...aquela cócega é inteiramente nossa, e não da pena, e, removido o corpo sensitivo, ela não é mais que um simples nome. Ora, de semelhante e não maior existência creio que possam ser muitas qualidades que são atribuídas aos corpos naturais, como sabor, odor, cor e outras...”⁴⁵

Definida a inexistência da cócega para além da sensibilidade, Galileu passa à caracterização das qualidades percebidas por cada um dos sentidos. Sensações tácteis como dureza, maciez, aspereza, são pequenas diferenças percebidas, principalmente, com a ponta dos dedos. O sabor, o odor e a sensação táctil de temperatura são explicados pela recepção,

termos cartesianos por dois motivos: em primeiro lugar, a oposição é conhecida como qualidades primárias X secundárias; e, em segundo lugar, para facilitar a referência a essas idéias.

⁴³ *Ed. Naz.*, VI, p. 347-8.

⁴⁴ *Ed. Naz.*, VI, p. 348.

através dos órgãos dos sentidos, de partículas diminutas emitidas pelos corpos e as diferenças entre cada sensação se devem à diversidade de tamanho, figura, número e movimento entre essas partículas. O som é, para ele, devido ao encrespamento do ar, que produz ondas que chegam aos nossos ouvidos, sendo a diversidade dos ruídos causada pela frequência dessas ondas. O autor identifica os sentidos a cada um dos elementos, determinando assim a composição das partículas e diferenças percebidas por cada um. A terra, a água, o ar e o fogo são percebidas pelo tato, pelo paladar, pela audição e pelo olfato, respectivamente. À visão, o mais nobre dos sentidos, corresponde a luz, superior aos elementos, e composta pelas mais diminutas partículas⁴⁵.

Após estabelecer como as afecções quantificáveis dos corpos afetam nossa percepção, Galileu aplica o exemplo das cócegas às qualidades secundárias:

“...que nos corpos exteriores, para excitar em nós os sabores, os odores e os sons, seja preciso algo além de grandezas, figuras, multiplicidades e movimentos lentos ou velozes, não o creio; e estimo que, tirando os ouvidos, as línguas e os narizes, restam as figuras, os números e os movimentos, mas não os odores, nem os sabores, nem os sons, os quais, fora do animal vivente, não creio que sejam algo além de nomes, como também nada são além de nomes as cócegas, removidas as axilas e a pele ao redor do nariz...”⁴⁶

O critério que distingue as qualidades primárias das secundárias é a sua existência ou não para além da sensibilidade. Galileu crê que o que, nas próprias coisas, origina as

⁴⁵ *Ed. Naz.*, VI, p. 348.

⁴⁶ *Ed. Naz.*, VI, p. 352. A teoria corpuscular da luz apresentada por Galileu neste parágrafo 48 permite que se fale em atomismo no interior do pensamento galileano. De fato, ele chega a dizer explicitamente que a luz se compõe de “átomos realmente indivisíveis”, provenientes do refinamento da matéria através do atrito continuado.

qualidades que percebemos, é sempre quantificável. Ele rejeita a presença de qualidades não matemáticas no objeto sensível, sendo as qualidades secundárias existentes apenas na sensibilidade do sujeito. Em última instância, são as formas e relações matemáticas que fornecem as causas dos fenômenos.

A astronomia matemática tradicional já havia mostrado, desde a antiguidade, que o movimento é passível de tratamento quantitativo. Com sua tese sobre a percepção e as qualidades primárias e secundárias Galileu superou o problema da heterogeneidade entre os dados da experiência sensível e a matemática. Ao atribuir as qualidades secundárias à percepção do sujeito, e ao supor fatores quantificáveis não percebidos imediatamente no objeto, Galileu define as condições do conhecimento da natureza, conforme havia estabelecido no parágrafo sexto: a leitura do livro escrito em caracteres matemáticos.

⁴⁷ *Ed. Naz.*, VI, p. 350.

A Unificação do Cosmo

Cap. IV

IV

A primeira jornada do *Diálogo*

IV.1. Movimento em um mundo (geometricamente) ordenado

Nos últimos anos do séc. XVI, Kepler já sugeria que o principal argumento de Galileu a favor de Copérnico estava relacionado com as marés¹. Em 1616, no mês anterior à condenação da opinião copernicana pelo Santo Ofício, as antigas suspeitas de Kepler se confirmaram: Galileu divulgou em forma de carta um texto no qual desenvolvia esse argumento, que circulou amplamente nos anos que se seguiram e já continha uma versão preliminar da idéia que, revista e alterada, resultaria na quarta jornada do *Diálogo*, o *Discurso sobre o fluxo e o refluxo do mar*. Após a publicação do *Ensaizador*, armado com as evidências empíricas de semelhança entre céu e Terra, do movimento de Vênus ao redor do Sol e de alterações na superfície solar (além da notoriedade alcançada por meio das observações telescópicas), e com a nova proposta de física matemática, o autor passou a se dedicar mais detidamente à redação do *Diálogo*. O tratado que Galileu anunciara, no *Sidereus Nuncius*, sobre o sistema do mundo², convertia-se no projeto de um diálogo acerca das marés, já ansiosamente aguardado por seus interlocutores em 1625. Mario Guiducci, por exemplo, o mesmo que se havia envolvido na controvérsia sobre os cometas, referiu-se a esse projeto em diversas cartas desse ano³.

¹ Como vimos no cap. I desta dissertação.

² *Ed. Naz.*, III, p. 75.

³ *Ed. Naz.*, XIII, p. 247, 249, 251-252, 253 (por exemplo).

Em 1629 o autor dizia a Elias Diodati (1576-1661), seu contato em Paris, que a obra estava próxima de ser concluída e publicada⁴. Nela, "além daquilo que se refere à matéria do fluxo, serão inseridos muitos outros problemas e uma extensa confirmação do sistema Copernicano, por mostrar a nulidade daquilo que Tycho e outros defenderam em contrário"⁵. Pronto no ano seguinte, o *Diálogo* só foi publicado em 1632, após a censura prévia das autoridades eclesiásticas. Foram-lhe impostos, principalmente, a mudança no título da obra (que não poderia mencionar a teoria das marés, dado o seu propósito de defesa do copernicanismo), o prefácio *Ao discreto leitor* e o chamado "remédio do fim", um argumento do próprio papa Urbano VIII que tinha como objetivo impedir que a obra fosse concluída a favor de Copérnico. A maneira como essas ordens foram acatadas foi decisiva na condenação do autor no ano seguinte: o prefácio foi inserido, mas a diferença nos caracteres empregados na impressão e a falta da assinatura destacavam-no do texto principal, e o argumento papal foi colocado nas palavras do interlocutor menos inteligente.

O título, por sua vez, foi alterado conforme o decreto. Assim, embora o longo título do *Diálogo* anuncie que "ao longo de quatro jornadas [quatro dias] se discorre sobre os dois máximos sistemas de mundo: Ptolomaico⁶ e Copernicano, propondo indeterminadamente as razões filosóficas e naturais tanto de uma quanto de outra parte", o conteúdo da obra concorda mais com algo como "ao longo de quatro jornadas se demonstra a superioridade da cosmologia heliocêntrica e a fraqueza dos argumentos em contrário"⁷. Partindo da análise da estrutura lógica interna do texto, M. Finnochiari defende que a proposição "a

⁴ Em resposta a carta de Diodati do mesmo ano (*Ed. Naz.*, XIV, p. 37).

⁵ *Ed. Naz.*, XIV, p. 49.

⁶ Apesar de o título do diálogo opor Copérnico a Ptolomeu, a sua leitura mostra que o debate é contra Aristóteles. A alternativa heliocêntrica ao sistema ptolomaico, ou seja, os cálculos matemáticos, já haviam sido apresentados por Copérnico e Galileu concorda com eles.

⁷ Interpretado corretamente dessa maneira, o *Diálogo* levou à condenação do autor pela Igreja no ano seguinte à sua publicação, pois o copernicanismo estava proibido desde 1616.

Terra se move” é o que confere unidade ao *Diálogo*⁸. E o título original da obra, *Sobre o fluxo e o refluxo do mar*, é uma clara referência a isso: ele remete à quarta jornada, onde as marés foram utilizadas por Galileu como evidência favorável ao movimento da Terra sendo o grande argumento positivo a favor desse movimento.

A quarta jornada é precedida pelas discussões das objeções tradicionais aos movimentos diário e anual da Terra, feitas na segunda e na terceira jornadas, respectivamente, e que não se pretendem argumentos positivos, mas apenas mostram que os movimentos da Terra **não** são impossíveis, e podem ser considerados uma preparação para o argumento final. Quanto ao princípio que impedia a aceitação desses movimentos, a distinção entre céu e Terra, ele é assunto da primeira jornada do *Diálogo*. A intenção de destacar a quarta jornada no título da obra indica o valor do argumento a partir das marés no projeto de Galileu e o propósito maior da obra: a demonstração da opinião copernicana.

Outra evidência desse propósito diz respeito às personagens que dialogam. As quatro jornadas representam quatro dias de debate entre: Salviati, que geralmente defende as idéias copernicanas do autor; Simplicio, o “bom” aristotélico, defensor da tradição; e Sagredo, o “leigo inteligente”, livre dos preconceitos tradicionais e inicialmente neutro diante da disputa. A aquiescência de Sagredo, árbitro que torna possível a comunicação entre os modelos, à superioridade das razões apresentadas por Salviati determina a capitulação de Simplicio (e da tradição).

Na primeira jornada, Galileu sintetizou o trajeto percorrido no estabelecimento de sua nova cosmologia, contestando os principais argumentos de Aristóteles em favor de sua cosmologia dualista. O autor conhecia bem os problemas criados pelo copernicanismo para a tradição:

⁸ FINNOCHIARO, M., *Galileo and the art of reasoning*. Dordrecht: D. Reidel, 1980, p. 27-28.

“...posto que Copérnico, ao colocar a Terra entre os corpos móveis do céu, acaba por fazê-la um globo similar a um planeta, será oportuno que o princípio de nossas considerações seja o de examinar qual e quanta é a força e a energia dos procedimentos peripatéticos no demonstrar que essa posição é totalmente impossível; visto que é necessário introduzir na natureza substâncias diferentes entre si, ou seja, a celeste e a elementar, aquela impassível e imortal, esta alterável e caduca. Deste argumento trata ele nos livros do *Céu*, insinuando-o num primeiro momento através de argumentos dependentes de alguns assuntos gerais, e confirmando-o depois com experiências e demonstrações particulares. Eu [Salviati], seguindo a mesma ordem, proporei e depois direi abertamente o meu parecer, expondo-me a vossa crítica...”⁹

Retomando o primeiro capítulo desta dissertação, temos que os “argumentos dependentes de assuntos mais gerais”, teóricos, são dois, acompanhados de uma “demonstração particular”, conforme o *De Caelo*:

1) Os movimentos naturais devem descrever linhas simples; e apenas a reta e o círculo são linhas simples; essas linhas simples referem-se ao centro do universo, isto é, o movimento retilíneo pode ser para baixo (em direção ao centro) e para cima (afastando-se do centro), e o circular é ao redor do centro (que coincide com o centro da Terra); o movimento retilíneo para cima e para baixo cabe aos quatro elementos, terra, água, ar e fogo; o movimento circular é superior ao retilíneo, e um movimento superior cabe a um elemento superior; isso faz necessária a existência de um elemento ao qual caiba o movimento circular, mais perfeito que o retilíneo¹⁰.

⁹ *Ed. Naz.*, VII, p.33.

¹⁰ *De Caelo*, 269a18-30.

2) Segundo a definição de mudança proposta na *Física*, para que algo mude é necessário que haja dois contrários e um subjacente; o movimento retilíneo apresenta contrariedade, pois pode ser em um sentido ou no outro (para baixo ou para cima); o movimento circular não tem contrário; logo, os quatro elementos, que se movem com movimento retilíneo, estão sujeitos à mudança; o éter, cujo movimento natural é circular, não está sujeito a mudança, com exceção do movimento circular, um tipo bastante especial de movimento¹¹.

3) Por fim, o argumento a partir da experiência: nunca foi observada qualquer mudança no céu além do movimento circular dos corpos celestes¹².

Destinada a responder principalmente a esses três argumentos e, paralelamente, a outras objeções com as quais Galileu se deparou desde sua conversão ao copernicanismo, a primeira jornada apresenta dois movimentos principais: conforme as palavras de Salviati, segundo a ordem do *De Caelo*, primeiro os dois argumentos *a priori* (dependentes de alguns assuntos gerais) são discutidos e recusados e, por fim, o argumento da não observação de alteração no céu é contestado através das evidências (experiências e demonstrações particulares) contra a distinção entre céu e Terra coletadas por Galileu durante toda a sua vida, principalmente através das observações telescópicas. Devido a essa discussão de princípios apriorísticos, a primeira jornada é considerada o texto “mais filosófico” do *Diálogo* (e possivelmente de Galileu). Segue-se uma divisão da primeira jornada segundo essa estrutura:

¹¹ *De Caelo*, 270a13-22.

Introdução (p.33)

1. Discussão dos argumentos teóricos da cosmologia aristotélica (33 a 71)

- 1.1. *O mundo é perfeito porque tem três dimensões* (p. 33 a 38)
 - 1.1.a. Segundo a tradição aristotélica (pp. 33 a 35)
 - 1.1.b. Segundo Galileu (pp. 35 a 38)
- 1.2. *Discussão dos dois argumentos a priori a favor da distinção entre celeste e elemental* (pp. 38 a 71)
 - 1.2.1. Movimentos simples e compostos e a definição de natureza (pp. 38 a 42)
 - 1.2.1.a. Segundo a tradição aristotélica (pp. 38 e 39)
 - 1.2.1.b. Discussão (pp. 39 a 42)
 - 1.2.2. Primeiro argumento: a perfeição do movimento circular (p. 42 a 62)
 - 1.2.2.a. Segundo a tradição aristotélica (p. 42)
 - 1.2.2.b. Discussão (pp. 42 a 45)
 - 1.2.2.c. Aceleração (experiência do plano inclinado) (pp. 45 a 54)
 - 1.2.2.d. Papel dos movimentos circular e retilíneo no cosmo geometricamente ordenado (pp. 54 a 62)
 - 1.2.3. Segundo argumento: geração/ corrupção e contrariedade (pp. 62 a 71)

2. Refutação do argumento empírico (pp. 71 a 127)

- 2.1. *Discussão a priori do argumento empírico* (pp. 71 a 76)
- 2.2. *Mudanças no céu* (pp. 76 a 87)
 - 2.2.a. Observações (pp. 76 a 83)
 - 2.2.b. Discussão da nobreza da inalterabilidade (pp. 83 a 87)
- 2.3. *Identidade e diferença entre céu (Lua) e Terra* (pp. 87 a 127)
 - 2.3.1. Lista das semelhanças (pp. 87 a 95)
 - 2.3.2. Experiências (pp. 95 a 109)
 - 2.3.2.a. Espelho plano (pp. 95 a 98)
 - 2.3.2.b. Espelho esférico (pp. 98 a 103)
 - 2.3.2.c. Superfícies diversas (pp. 103 a 109)
 - 2.3.3. Esfericidade e incorruptibilidade (pp. 109 a 111)
 - 2.3.4. Movimento das sombras na Lua (pp. 111 e 112)
 - 2.3.5. Luz secundária (pp. 112 a 122)
 - 2.3.6. Considerações sobre as semelhanças (pp. 122 a 124)
 - 2.3.7. Diferenças entre Terra e Lua (pp. 124 a 127)

Conclusão: Elogio do intelecto humano (pp. 127 a 131)

¹² *De Caelo*, 270b14-16.

Antes de contestar a distinção entre céu e Terra propriamente dita, Galileu trata das bases em que esse rompimento é possível. Ele parte de uma questão sobre a qual estava de acordo com Aristóteles: a perfeição do mundo, baseada nas três dimensões. O acordo está limitado a isso: o mundo é perfeito por apresentar três dimensões. Quanto à maneira de chegar a essa conclusão Galileu já se mostra menos condescendente com o adversário. Seguindo quase literalmente *De Caelo* I, 1, Galileu apresenta o discurso aristotélico. Salviati inicia essa apresentação:

“... O primeiro passo do desenvolvimento peripatético é aquele em que Aristóteles prova a integridade e a perfeição do mundo ao mostrar-nos que ele não é uma simples linha nem uma superfície pura, mas um corpo composto de comprimento, largura e profundidade; e porque as dimensões não são mais que estas três, tendo-as, ele as tem todas, e tendo tudo, é perfeito. Que depois, sendo constituída a partir do simples comprimento aquela magnitude que se chama linha, juntada à largura, constitua-se a superfície, e acrescentando a altura ou profundidade resulte o corpo, e que depois destas três dimensões não se passe a outra, de modo que nestas três somente acabe a integridade e por assim dizer a totalidade, teria desejado muito que por Aristóteles me fosse demonstrado com necessidade, principalmente que isso se pode executar clara e rapidamente...”¹³

Diz Aristóteles que o mundo é perfeito por possuir três dimensões; posto que não há mais que estas três dimensões, o mundo possui todas e por isso é perfeito. Galileu-Salviatti concorda com a conclusão - as três dimensões provam a perfeição do mundo, mas não aceita a argumentação de Aristóteles. Ele já anuncia ser capaz de demonstrar

¹³ *Ed. Naz.*, VII, p. 33-34.

necessariamente a perfeição do mundo através da tridimensionalidade. Mas antes dessa demonstração, cumpre concluir a argumentação aristotélica, o que cabe a Simplicio:

“...Não tendes, em primeiro lugar, que além das três dimensões não existe outra, porque o três é cada coisa e o três está em todas as partes? E isso não está confirmado pela autoridade e pela doutrina dos pitagóricos, que dizem que todas as coisas são determinadas pelo três, princípio, meio e fim, que é o número do todo? E como deixar de lado a outra razão, ou seja, que quase por lei natural esse número é usado nos sacrifícios aos deuses? E que, seguindo assim a natureza, atribui-se às coisas que são três, e não menos, o título de todas? Porque de duas se diz *ambas*, e não se diz *todas*; mas de três diz-se isso [...] cada coisa, o todo e o perfeito são formalmente o mesmo; e [...] por isso somente o corpo entre as grandezas é perfeito, porque só ele é determinado pelo 3, que é o todo, e sendo divisível de três modos, é divisível em todas as direções [...] Além disso, [...] não se efetuando a passagem a não ser por alguma falta (e desse modo da linha passa-se à superfície, porque à linha falta a largura), e sendo impossível que ao perfeito falte, sendo ele em todas as direções, não se pode passar do corpo a outra grandeza...”¹⁴

Nas palavras de Salviati, Galileu explica sua recusa dessa argumentação:

“...não me sinto forçado a conceder outra coisa que aquilo que tem princípio, meio e fim possa e deva considerar-se perfeito; mas que depois, porque princípio, meio e fim são 3, o número 3 seja um número perfeito e tenha que ter a faculdade de conferir a perfeição ao que o possuir, não sinto nada que me obrigue a admiti-lo...”¹⁵

O autor apenas concede que o que tem princípio, meio e fim é perfeito, embora negando que isto confira qualquer propriedade ao número três. Além disso, não acredita que esta tese seja realmente pitagórica. Os pitagóricos tinham como princípio esconder seus conhecimentos do vulgo, e é razoável que tenham divulgado uma tolice como essa para confundir os curiosos¹⁶. Galileu aproveita a argumentação aristotélica para estabelecer as diferenças entre a sua física matemática e as idéias de alguns de seus predecessores que também defendiam uma visão matemática da natureza e eram chamados de platônicos e pitagóricos como ele, mas defendiam concepções mais esotéricas e animistas, como Giordano Bruno e outros humanistas. Contra essa idéia, Galileu apresenta sua demonstração matemática da perfeição das três dimensões: aos argumentos aristotélicos ele opõe sua demonstração matemática para a perfeição do mundo através das três dimensões¹⁷:

- a linha reta é a mais indicada para unir dois pontos, já que é a mais curta, é única, una e determinada, enquanto as outras são infinitas, desiguais e mais longas, e uma determinação deve partir do que é uno e certo;

- o ângulo de noventa graus é o mais indicado para se traçar a distância entre duas retas paralelas; partindo de um ponto determinado, há uma única reta que representa a distância mais curta entre as duas primeiras, e essa reta é perpendicular a elas;

- a altura de alguma coisa é medida através de uma linha reta que forma um ângulo de noventa graus com o plano da base;

- as dimensões de um corpo são medidas com ângulos de noventa graus;

¹⁴ *Ed. Naz.*, VII, p. 34.

¹⁵ *Ed. Naz.*, VII, p. 35.

¹⁶ *Ed. Naz.*, VII, p. 35.

¹⁷ *Ed. Naz.*, VII, p. 36-38.

- a partir de um único ponto não se consegue traçar mais de três linhas retas (únicas, as mais curtas e certamente identificáveis) formando ângulos retos entre si.

Logo, as dimensões são três, e o que tem as três tem todas, sendo perfeito, divisível por todos os lados, etc.. Através das três linhas retas que passam por um ponto formando entre si ângulos de noventa graus, segundo a necessidade de que as dimensões sejam medidas com ângulos retos, o autor determina a perfeição do mundo. É impossível traçar mais de três linhas retas perpendiculares entre si, conforme os princípios definidos pela geometria euclidiana. Essa demonstração geométrica leva, aparentemente, à mesma posição do estagirita. A diferença no raciocínio é notável e garante futuros dividendos na negação do dualismo aristotélico. O mundo perfeito definido pelas três dimensões não é outro, no texto de Galileu, senão o espaço qualitativamente neutro da geometria euclidiana. Como veremos, dele decorrem algumas das premissas mais fundamentais da nova cosmologia. Dessa primeira passagem, Galileu obtém a perfeição do mundo, que lhe interessa assim como a Aristóteles, mas aponta principalmente para a prioridade das matemáticas no estudo da natureza e a possibilidade de elas oferecerem demonstrações necessárias (contra a personagem Simplicio, que, recorrendo à *Metafísica*, lembra que “nas coisas naturais não se deve sempre procurar uma necessidade de demonstração matemática”¹⁸).

Essa geometrização do espaço, ligada estreitamente à homogeneização do cosmo, implica também no abandono de outros princípios da cosmologia aristotélica, necessários para a introdução da diferença de natureza entre os corpos celestes e os terrestres. Segundo Salviati, Aristóteles deriva essa diferença, “como a partir de seu princípio originário, da

¹⁸ *Ed. Naz.*, VII, p. 38. A referência, na *Metafísica*, é 995a15-18.

diversidade dos movimentos locais...”¹⁹. Cumpre então examinar os princípios aristotélicos do movimento.

Segundo Aristóteles, a natureza é princípio de movimento, e por isso os corpos naturais são dotados de movimento local. Esse movimento pode ser retilíneo (para cima ou para baixo), circular ou misto (uma composição de retilíneo e circular). Nos dois primeiros casos o movimento é simples porque, entre todas as linhas, só o círculo e a reta são simples. Expressando mais concretamente o que significam esses movimentos circular e retilíneo, o movimento circular é ao redor do centro, e o movimento retilíneo é de aproximação ou afastamento do centro. Esses movimentos simples cabem, por natureza, a corpos simples, isto é, feitos de um único elemento. Assim, aos corpos celestes corresponde o movimento circular, e o movimento retilíneo, para cima e para baixo, corresponde aos corpos feitos de fogo e terra, respectivamente (sendo o movimento do ar semelhante ao do fogo e o da água semelhante ao da terra). Aos corpos compostos por mais de um elemento, seu movimento seria o da parte predominante. Definindo dessa maneira os movimentos simples, Aristóteles está, na verdade, concluindo que, aos elementos (representados pela expressão “corpos simples”) cabem movimentos simples.

A contestação dessa teoria parte da definição de natureza: “por que razão Aristóteles não disse que dos corpos naturais alguns são móveis por natureza e outros imóveis, posto que na definição é dito ser a natureza princípio de movimento e de repouso...”²⁰. Dessa forma, ou a definição está incompleta, ou não há necessidade de introduzir o repouso na definição de natureza.

¹⁹ *Ed. Naz.*, VII, p. 38.

²⁰ *Ed. Naz.*, VII, p. 39.

Quanto à simplicidade dos movimentos, Galileu não vê problema em admitir que movimentos simples são os que descrevem linhas simples, como o círculo e a reta. Entretanto, dizer que eles equivalem a movimento ao redor do centro, para o centro e a partir do centro, só faz sentido em um mundo construído e habitado por nós. Aristóteles admite sem maiores explicações que há um único centro, em torno do qual alguns corpos se movem circularmente, enquanto outros se distanciam e se aproximam desse mesmo centro, que coincide com o centro da Terra. Por esses motivos, Sagredo acusa Aristóteles de moldar os princípios de construção ao mundo que constrói, ou seja, de pressupor o que pretende provar. Note-se que é através da desconstrução lógica que Galileu contesta os princípios da dinâmica aristotélica – como nesse caso de clássica petição de princípio. A personagem escolhida para fazer essa crítica, Sagredo, é perfeita, pois não é necessário qualquer conhecimento particular além da lógica mais clássica e acessível a todos. Conseqüentemente, recusada a suposição do centro único do universo, resta que, se a simplicidade do movimento depende da simplicidade da linha, e se o movimento simples é natural, este deve convir a qualquer corpo natural, e não só para cima e para baixo, mas, sendo o movimento em qualquer direção, a forma retilínea faz com que ele seja natural. Mais ainda, se o movimento retilíneo natural deve ser para o centro ou para longe do centro, se se supuser mil centros, existirão “ainda milhares de movimentos para cima e para baixo”²¹.

Também o movimento atribuído aos corpos compostos, misto de retilíneo para cima e para baixo é, segundo Salviati, uma impossibilidade e uma incoerência, o que leva Simplicio a dizer que prevalece o movimento do elemento predominante, do qual se segue que a forma da linha não é mais critério de diferenciação entre movimento simples e

²¹ *Ed. Naz.*, VII, p. 40.

composto, pois os dois se realizam na mesma linha reta e no mesmo sentido. Galileu não o explicita, mas a intenção de Aristóteles ao diferenciar movimentos simples e compostos parece ser apenas de identificar corpos simples com os elementos, e assim deduzir os últimos dos movimentos segundo linhas simples (e em relação ao centro).

Em resposta a Sagredo, Simplicio ainda propõe, como também devem ter feito outros interlocutores tradicionais de Galileu, que haja uma diferença de velocidade de acordo com a composição do corpo: corpos com predominância do elemento terra seriam mais velozes que os compostos principalmente de água. O argumento é estranho ao texto aristotélico, e a simples observação dos movimentos para cima e para baixo permite recusá-lo, pois as velocidades dos corpos (em queda) são sempre variáveis devido à aceleração²², e não se pode dizer que, entre duas velocidades que, a partir do repouso, aumentam continuamente, uma é maior que a outra, pois nenhuma delas possui um valor fixo que permita a comparação.

Depois de questionar a definição de natureza e a caracterização dos movimentos em simples e compostos, Galileu deixa de lado a questão e passa a tratar do primeiro entre os argumentos de Aristóteles a favor da distinção entre as regiões celeste e terrestre, a

“...primeira pedra, base e fundamento de todo o edifício do mundo aristotélico, sobre a qual se apoiam todas as outras propriedades de não pesado nem leve, de não gerável, de incorruptível e isento de qualquer mutação, exceto a local, etc.: e todas estas características ele afirma serem próprias do corpo simples e móvel com movimento circular; e atribui as condições contrárias de peso, leveza, corruptibilidade, etc. aos corpos naturalmente móveis com movimentos retilíneos. Se de algum modo, no que foi estabelecido até aqui, descobrir-se uma deficiência,

poder-se-á razoavelmente duvidar de todo o restante, que sobre isso for
construído...”²³

A perfeição do círculo e a imperfeição da reta garantem então na filosofia aristotélica a diferença essencial entre as matérias do céu e da Terra, respectivamente. Salviati propõe uma alternativa, na qual as características do círculo e da reta levam a outras conclusões, também fundamentais, sobre os movimentos retilíneo e circular. Tais conclusões dependem também de resultados que a personagem retoma da discussão anterior, princípios de Aristóteles com os quais concorda: “admito que o mundo seja um corpo dotado de todas as dimensões e, por isso mesmo, perfeitíssimo; e acrescento que como tal é necessariamente ordenadíssimo”²⁴. A idéia de ordem, que Galileu derivada da *de cosmo* (a palavra grega inclui a idéia de ordem) é necessária em uma cosmologia copernicana, baseada na harmonia entre as partes do mundo. Essa ordem, entretanto, é de natureza muito diversa da ordem tradicional, como mostra Galileu a partir das características dos movimentos retilíneo e circular.

Segundo o autor, o movimento retilíneo implica em mudança de lugar e em afastamento cada vez maior do ponto de partida. Se tal movimento conviesse a algum corpo por natureza isso significaria que ele não estava em seu lugar natural, e, como consequência, que as partes do mundo não estavam dispostas na mais perfeita ordem. No universo da geometria não há dúvida sobre se a reta é finita ou infinita (como havia para Aristóteles²⁵): a linha reta é infinita, o que faz com que o movimento retilíneo seja infinito,

²² *Ed. Naz.*, VII, p. 41.

²³ *Ed. Naz.*, VII, p. 42.

²⁴ *Ed. Naz.*, VII, p. 43.

²⁵ No texto aristotélico citado no capítulo I desta dissertação, 269a18-30, e na reconstrução galileana, *Ed. Naz.*, VII, p. 42.

não tenha uma meta predeterminada. Além disso, é impossível um movimento espontâneo em linha reta, já que a natureza não move nada para um lugar impossível de alcançar²⁶. Sendo assim, o movimento retilíneo é incompatível com o mundo perfeitamente ordenado. Salviati redefine, com isso, os papéis dos movimentos retilíneo e circular no mundo perfeitamente ordenado: o primeiro é indício de que o corpo não estava em seu lugar na ordenação cósmica, e seu papel é estabelecer a ordem, levando o corpo para lá, onde apenas o repouso e o movimento circular são propícios à manutenção dessa ordem.

Para ilustrar essa idéia, o autor introduz uma narrativa da criação do mundo atribuída por ele a Platão (embora seja difícil localizá-lo no *Timeu*, texto platônico que trata da constituição do mundo): Deus poderia ter criado todos os planetas em um determinado lugar, e a partir desse lugar todos teriam se movido para o centro com movimento retilíneo, até que atingissem seu lugar próprio, para alcançar sua velocidade constante ao redor do centro. Quanto mais duradouro fosse o primeiro movimento, mais ímpeto o corpo teria adquirido. Assim, os planetas que tivessem percorrido maior distância até seu lugar próprio teriam alcançado velocidade maior e essa passaria a ser sua velocidade, com movimento circular uniforme.

Galileu aponta então outra diferença entre os movimentos circular e retilíneo: enquanto o primeiro é uniforme, o segundo é continuamente acelerado²⁷. O modelo cosmogônico é transposto para um corpo em queda que, a partir do repouso, passa por infinitos graus de lentidão, sem se demorar em nenhum, de modo que a passagem não necessite de mais que um instante de tempo. Dessa maneira, por menor que seja o intervalo de tempo, não faltarão infinitos instantes para que cada um corresponda a infinitos graus de

²⁶ *Ed. Naz.*, VII, p. 43.

²⁷ *Ed. Naz.*, VII, p. 45.

lentidão. O ímpeto se produz mediante o distanciamento do móvel do ponto de onde partiu e de sua aproximação do ponto para o qual tem inclinação. Por isso, corpos iguais, ainda que desçam por linhas distintas, adquirem ímpetos iguais, sempre que a proximidade do centro for a mesma. Para explicar melhor essa concepção de movimento retilíneo, Galileu adianta alguns resultados que só apareceriam anos mais tarde, nos *Discorsi* (1638), propondo uma experiência com um plano inclinado:

- imagine-se um ponto C localizado a uma altura CB e ligado ao ponto A pelo plano inclinado CA, perfeitamente polido e duro²⁸;
- do ponto C partem do repouso duas esferas, perfeitamente redondas e de matéria duríssima, uma descendo pelo plano inclinado e a outra caindo em direção ao centro da Terra;

Pelo princípio admitido as duas esferas deverão chegar aos pontos A e B, respectivamente, com o mesmo ímpeto. Ainda assim, a esfera que desce pela linha CB desce mais rapidamente. Salviati explica que a velocidade adquirida pela primeira esfera, em um ponto de CA afastado do ponto C é maior que a velocidade da segunda em um ponto de CB próximo a C. Segundo ele, proposição “o movimento pela linha perpendicular é mais veloz que pela inclinada” só se verifica quando os dois móveis partem do repouso no mesmo momento. Partindo as duas esferas do repouso no mesmo instante, Galileu imagina um ponto T²⁹, no qual a primeira esfera estaria quando a segunda atingisse B, sendo a distância CT menor que CB. Nesse caso, a duração dos movimentos das duas esferas é a mesma, ao passo que os espaços percorridos são desiguais, pois a segunda esfera percorreu um espaço maior. Por outro lado, se elas não partem do repouso no mesmo

²⁸ Fig. 13.

²⁹ Fig. 14.

instante, em algum momento de seu movimento em CA, ainda que prolongada, a primeira esfera, já em movimento, percorre um espaço maior no mesmo tempo que a segunda leva de C a B a partir do repouso.

“... Se, portanto, na inclinada e na perpendicular podemos tomar espaços e velocidades tais que as proporções entre esses espaços sejam maiores ou menores do que a proporção dos tempos, podemos razoavelmente admitir que existem também espaços nos quais os tempos dos movimentos mantenham a mesma proporção que os espaços...”³⁰

Dessa forma, pode-se aceitar que há um segmento de CA no qual a proporção entre os tempos é a mesma que houver entre os espaços. É evidente que, dentro dos moldes do aristotelismo, isso é impossível, pois para Aristóteles velocidades iguais significam deslocamentos iguais em tempos iguais. A nova definição de Galileu introduz a proporcionalidade como critério para a equivalência de velocidades.

Assim, a velocidade na perpendicular pode ser idêntica à velocidade de um corpo descendo por um plano inclinado no ponto em que uma horizontal traçada a partir da posição do corpo em queda atinge o plano inclinado. Por isso, é necessário que o corpo que cai passe por infinitos graus de velocidade. Para atingir uma velocidade qualquer, um corpo que desce a partir do repouso deve antes se mover em linha reta por um determinado tempo, sem que isso dependa da inclinação do plano ou da velocidade a ser atingida, passando por todos os infinitos graus intermediários de lentidão; logo, a queda por qualquer trajetória inclinada pode igualar qualquer velocidade de queda livre.

³⁰ *Ed. Naz.*, VII, p. 50.

Garantida a possibilidade de a velocidade do corpo no plano inclinado ser igual ou até maior que na perpendicular, de acordo com o segmento tomado, o autor promete o desenvolvimento dessa teoria para uma outra oportunidade (que seria futuramente a publicação dos *Discorsi*) e apresenta, ainda com base no plano inclinado ABC, algumas idéias que, como vimos no terceiro capítulo deste trabalho, já estavam parcialmente presentes nas cartas sobre as manchas solares: diminuindo a inclinação de CA, o tempo de descida pode ser tão longo quanto se queira³¹. Pode-se “tomar acima do término B um ponto tão próximo a esse ponto B que, traçado desse ao ponto A um plano, a bala [esfera] não o percorreria nem mesmo em um ano”³². Eliminados os impedimentos externos e acidentais, a inclinação pode ser diminuída até que ela seja infinitamente pequena, assim como o ímpeto adquirido pelo móvel (repouso). No plano horizontal o móvel nunca atingirá qualquer velocidade, pois ficará em repouso. O movimento nesse plano depende de um movimento precedente, que o leve a atingir uma velocidade qualquer. Uma vez que o móvel alcance tal velocidade, ele continuará a se mover com ela eternamente, se todos os impedimentos externos forem eliminados, no plano horizontal.

“...Mas o movimento pela linha horizontal , que não é declive nem aclave, é movimento circular em torno do centro: o movimento circular, portanto, nunca será adquirido naturalmente sem o precedente movimento reto, mas uma vez adquirido, ele continuará perpetuamente com velocidade uniforme...”³³

³¹ Fig. 15.

³² *Ed. Naz.*, VII, p. 52. A palavra *palla*, que Mariconda traduz aqui por bala, talvez fosse melhor traduzida por esfera. Embora o termo admita as duas traduções, a segunda é aparentemente mais adequada ao contexto.

³³ *Ed. Naz.*, VII, p. 53.

Deve-se então ter em mente que esse plano horizontal é, na verdade, esférico: a superfície da Terra. Ou, nas palavras de Koyré, que lembra que essa idéia de plano horizontal esférico já estava de alguma maneira presente nas primeiras pesquisas de Galileu sobre o movimento: “o plano horizontal real é uma superfície esférica”³⁴. Com isso, o movimento nesse plano é, na verdade, movimento circular ao redor do centro. Trata-se da inércia circular galileana, que ainda não é a inércia retilínea de Descartes e Newton, mas já permite que o movimento deixe de ser considerado um processo (com tendência para um fim determinado) e passe a ser considerado um estado³⁵. Galileu discorre mais longamente sobre ela na segunda jornada, mas ela é mencionada em meio à discussão cosmológica na primeira em vista da determinação do papel do movimento circular na ordem cósmica. Em outras palavras, o movimento horizontal é caracterizado pela ausência de aceleração, assim como o repouso, e como este, também é propício à manutenção da ordem. Embora ainda não seja a inércia da ciência moderna, e exatamente por isso, a inércia circular da mecânica galileana cumpre uma função importantíssima na cosmologia copernicana de Galileu. Koyré defende, a partir da circularidade da inércia galileana, que Galileu, “ao contrário de Descartes, não soube, ou não pôde, nem libertar-se do facto, nem aceitar a consequência inevitável da matematização do real: a geometrização completa do espaço, o que significa a infinidade do universo e a destruição do cosmos”³⁶. A afirmação é correta, bem como a importância da idéia de ordenação cósmica no discurso galileano. A redefinição do papel do movimento circular, e a atribuição desse movimento a todas as partes do cosmo marca a recusa do primeiro argumento aristotélico, e também define as bases da nova cosmologia:

³⁴ KOYRÉ, A., *Estudos Galilaicos*. Trad. de N. F. da Fonseca. Lisboa: Dom Quixote, 1986, p. 259.

³⁵ Para uma análise da inércia galileana ver ÉVORA, 1994, p. 115-134.

“...o movimento pela linha reta não pode ter uso algum nas partes bem ordenadas do mundo [...] isso não acontece com os movimentos circulares, dos quais aquele que é feito pelo móvel sobre si mesmo retém esse móvel sempre no mesmo lugar, e aquele que conduz o móvel pela circunferência de um círculo em torno de seu centro estável e fixo não coloca em desordem nem a si mesmo, nem aos circunvizinhos; pois, primeiramente, tal movimento é finito e terminado, antes, não apenas finito e terminado, mas não existe ponto algum na circunferência que não seja primeiro e último término da circulação; e continuando na circunferência que lhe foi atribuída, deixa todo o restante, dentro e fora daquela, livre para as necessidades dos outros, sem jamais impedi-los ou desordená-los. Este, sendo um movimento que faz com que o móvel sempre parta do término e sempre chegue ao término, pode, em primeiro lugar, somente ele ser uniforme: pois a aceleração do movimento acontece no móvel quando ele se dirige para o término ao qual tem inclinação, e o retardamento acontece pela aversão que ele tem de sair e afastar-se do mesmo término; e porque no movimento circular o móvel sempre parte de términos naturais, e sempre se move para o mesmo, portanto, nele, a aversão e a inclinação são sempre de forças iguais; e dessa igualdade segue-se uma velocidade não retardada nem acelerada, isto é, a uniformidade do movimento...”³⁷

Das características do movimento circular, portanto, resulta que aceleração ou retardamento só se produzem quando há um ponto determinado para o qual o móvel tem inclinação ou repulsa e ele não está nesse ponto. Como no movimento circular o móvel não se aproxima nem se afasta do centro, a inclinação e a repulsa têm força igual - nesse caso seu movimento não é nem acelerado nem retardado, mas uniforme. Com isso, o movimento circular é perpétuo, o que é impossível para o movimento retilíneo, seja ele acelerado ou

³⁶ KOYRÉ, 1986, p. 262.

³⁷ *Ed. Naz.*, VII, p. 56.

retardado. O movimento retilíneo, retardado ou acelerado, é violento, e por isso não pode ser perpétuo, pois o movimento acelerado chega necessariamente à sua meta, se ela existir; caso contrário ele é impossível, pois a natureza não move até onde é impossível chegar.

Donde se conclui que o movimento circular pode convir de modo natural aos corpos que integram um universo perfeitamente ordenado e estão dispostos da maneira mais excelente, enquanto o movimento retilíneo cabe aos corpos ou partes deles que estão fora de seus lugares e têm inclinação para voltar o quanto antes. Por isso, apenas o movimento circular e o repouso são adequados à manutenção da ordem. Conforme as palavras de Clavelin, “necessidade de uma ordem do Mundo, primazia do movimento circular, tais são então as duas premissas gerais que a razão induz a colocar no topo da cosmologia”³⁸. Se Aristóteles alega que é manifesto pelos sentidos que o elemento terra tende para o centro da Terra e que o fogo tende a se distanciar dele, ambos com movimento retilíneo, Galileu discute essa proposição dizendo que as partes, quando desordenadas, tendem para o seu todo, e é desta maneira que ele interpreta o movimento de queda dos corpos, sendo seu todo, no caso, a Terra:

“...Vemos que a Terra é esférica e, por isso, estamos seguros que ela tem o seu centro; vemos que para ele movem-se todas as suas partes, que assim é necessário dizer, enquanto seus movimentos são todos perpendiculares à superfície terrestre; entendemos como, ao moverem-se para o centro da Terra, movem-se para o seu todo e para a sua mãe universal...”³⁹

³⁸ CLAVELIN, 1968, p. 218.

³⁹ *Ed. Naz.*, VII, p. 61.

Segundo ele, então, a esfericidade da Terra, assim como a de outros corpos celestes, seria consequência da tendência de suas partes a se juntarem em torno do centro (conforme exposto no cap. I desta dissertação, a idéia já estava presente no *De Revolutionibus*). Mas quanto à forma do movimento dos elementos, Galileu não concede que ele seja retilíneo, mas circular (no caso do aparente repouso na superfície), ou misto de retilíneo e circular (como no caso da queda dos corpos), pois um cadente continua, enquanto se dirige para o seu todo, perpendicularmente à superfície do mesmo, acompanhando o movimento desse todo, de rotação. Ora, se as características atribuídas por Aristóteles aos corpos celestes são derivadas dos movimentos naturais, se o movimento dos elementos não for retilíneo, mas circular, eles necessariamente terão que possuir, segundo a dinâmica aristotélica, as mesmas características dos corpos celestes (inalterabilidade, incorruptibilidade, etc.), o que é manifestamente absurdo. Dessa maneira, o papel dos movimentos na ordem cósmica permite a recusa do primeiro argumento *a priori* de Aristóteles.

O mesmo modelo permite (e torna necessária) a recusa do segundo argumento aristotélico, que se baseia na relação entre contrariedade e geração/corrupção:

“...o que se gera faz-se de um contrário em algum sujeito, e da mesma forma corrompe-se em qualquer sujeito de um contrário a um contrário; de modo que (notai bem) a corrupção e a geração não existem a não ser nos contrários; mas dos contrários os movimentos são contrários; se, portanto, ao corpo celeste não se pode atribuir contrário, pois ao movimento circular nenhum outro movimento é contrário, muito acertadamente agiu a natureza ao fazer ausente de contrários aquilo que devia ser não gerável e incorruptível...”⁴⁰

Ora, o que se gera ou corrompe, o faz a partir de contrários. Por isso, onde houver contrariedade há geração e corrupção. O movimento dos elementos se dá a partir de contrários, para cima e para baixo, e por isso eles estão sujeitos à geração e à corrupção. Já os corpos celestes, cujo movimento circular carece de contrário, não estão sujeitos a elas. Como (conforme se acaba de definir) o movimento dos elementos é circular, ou a Terra também é incorruptível ou há geração e corrupção no céu e na Terra, ou não há relação entre a forma dos movimentos e a geração/corrupção.

Além disso, Galileu rejeita também os princípios físicos que sustentam esse segundo argumento: não é evidente que a geração e a corrupção se produzam a partir de contrários, e nem que existam geração, corrupção e contrários na natureza. Dever-se-ia também provar que algo é mesmo completamente corrompido para que algo inteiramente diferente seja gerado. Ainda: admitindo-se que existam geração e corrupção, e que os corpos celestes sejam inengendráveis e incorruptíveis, deve-se notar que tais características admitem contrários, isto é, são contrários àquilo que é sujeito à geração e à corrupção. Assim, há contrariedade nos corpos celestes e eles estão, portanto, sujeitos à geração e à corrupção. Não há necessidade que haja os dois contrários nos corpos celestes para que este raciocínio seja válido, pois em um mesmo corpo só há um dos contrários, até que outro o corrompa. Por isso, basta que seu contrário (os corpos corruptíveis) existam na natureza para que os corpos celestes apresentem contrariedade. Logo, se há contrariedade nos movimentos para cima e para baixo, é forçoso que haja contrariedade também em seus princípios, no caso peso e leveza⁴⁰. De acordo com Aristóteles, peso e leveza se devem a rarefação e densidade. Estas devem também existir no céu, já que o estagirita diz também que os astros

⁴⁰ *Ed. Naz.*, VII, p. 62-63.

⁴¹ *Ed. Naz.*, VII, p. 67-68.

são as partes mais densas do céu. Além disso, os astros são opacos e o restante do céu é transparente. Com essas duas oposições, denso e rarefeito, e opaco e transparente, fica evidente que há contrariedade no céu. Logo, ou há geração e corrupção nos corpos celestes ou contrariedade não implica em geração e corrupção. Também não faria sentido tentar explicar essas oposições a partir de uma outra: calor e frio. Apesar de esta última estar de alguma forma relacionada com densidade e rarefação, ela não contribuiria em nada nesta discussão.

Como se pode verificar, Galileu recusa o segundo argumento aristotélico através de sua falta de coerência lógica, concluindo esta parte mais apriorística da primeira jornada, e definindo um universo geométrico, do qual está ausente a idéia anterior de lugar natural (espaço qualitativamente determinado) no qual é possível uma ordenação copernicana e as mesmas leis podem reger os eventos celestes e terrestres.

M. Clavelin é responsável por uma feliz fórmula⁴² que define o conteúdo teórico da primeira jornada, destacando esses resultados parciais que respondem ao primeiro argumento de Aristóteles: “Premissas para uma cosmologia copernicana”. De sua cuidadosa análise do texto, Clavelin destaca, para além do conteúdo negativo da primeira jornada (o rompimento com a cosmologia dualista), os resultados positivos da discussão conceitual presente no texto - bases para a nova cosmologia, como a definição geométrica do espaço e a idéia de mundo ordenado, da qual se segue a redefinição dos papéis dos movimentos retilíneo e circular. Clavelin oferece uma interpretação da relação entre esses resultados teóricos e as referências à experiência contidas na segunda parte da primeira jornada. Segundo ele, “Não implicando nem em direções *a priori*, nem em lugares naturais, a exigência de ordem que Galileu inclui na base de sua cosmologia não mais implica que a

ordem *real* do Mundo tenha uma *razão a priori*. Escapando de toda a determinação prévia, resta que ela seja induzida das observações astronômicas”⁴³. Assim sendo, o “movimento em um mundo ordenado” abre caminho para a introdução dos dados telescópicos, e expande a importância dos mesmos para além da refutação do argumento empírico de Aristóteles. Isso inviabiliza o apriorismo exagerado de Koyré, que defende como premissa da ciência de Galileu, que “o real físico nunca é dado aos sentidos, mas, pelo contrário, apreendido pela razão”⁴⁴. É verdade que para Galileu as premissas do conhecimento da natureza são racionalmente deduzidas, mas negar o espaço da descoberta da natureza através dos sentidos é ignorar, no mínimo, a importância do telescópio, “sentido mais apurado” que tantas vantagens mostrou para a nova cosmologia.

IV.2. A matéria, o devir e o comportamento da luz

Após a discussão da distinção apriorística entre substância celeste e os quatro elementos, Galileu passa à consideração de demonstrações, observações e experiências particulares, ou, nas palavras de Simplicio, à discussão *a posteriori*:

“...A experiência sensível mostra-nos como na Terra acontecem contínuas gerações, corrupções, alterações, etc., das quais, nem pelos nossos sentidos, nem pelas tradições ou memórias de nossos antepassados, viu-se alguma no céu: portanto, o céu é inalterável etc. e a Terra alterável etc. e por isso diferente do céu. O segundo argumento eu o retiro de um fenômeno principal e essencial, que é este: aquele

⁴² CLAVELIN, 1968, p. 212.

⁴³ CLAVELIN, 1968, p. 215.

corpo, que é por sua natureza obscuro e privado de luz, é diferente dos corpos luminosos e resplendentes: a Terra é tenebrosa e sem luz; os corpos celestes, esplendorosos e cheios de luz; portanto etc....”⁴⁵

Do terceiro argumento do *De Caelo*, empírico, objeto da segunda parte da primeira jornada, Galileu extrai a presença de luz própria como outra diferença entre céu e Terra. Isso é importante para introduzir um segundo tipo de homogeneidade, que a Terra tem com os astros errantes – como a Lua e os outros planetas – mas não com o Sol e as estrelas: a opacidade. A discussão *a posteriori* é então ampliada e dividida em duas, de acordo com os dois tipos de homogeneização pretendidos por Galileu: primeiro ele trata das observações de devir nos corpos celestes, para depois mostrar a identidade entre os comportamentos da Lua e da Terra em relação à luz. Mas antes de chegar a esta segunda faceta da questão, e antes de usufruir das evidências telescópicas, Galileu opera, diante dos resultados anteriormente obtidos na primeira parte, uma discussão preliminar do argumento aristotélico. Para tanto, o autor recapitula esses resultados no sentido de provar que geração e corrupção estão apenas nas partes, e não no todo, e que as partes que se alteram e corrompem são insignificantes em relação ao todo. O movimento retilíneo não é natural para tais partes, ele só ocorre quando elas estão acidentalmente longe de seu todo. Com isso, ao todo só poderia caber o movimento circular ou o repouso.

Além disso, a simples ausência da observação de alterações no céu não pode ser considerada uma prova definitiva de que ela não existe⁴⁶ - radicalizando: o simples fato de algo ainda não ter sido observado não significa que esse algo não ocorre (esse argumento é

⁴⁴ KOYRÉ, 1986, p. 274.

⁴⁵ *Ed. Naz.*, VII, p. 72.

⁴⁶ *Ed. Naz.*, VII, p. 73.

especialmente poderoso após as grandes navegações dos séculos anteriores, quando o ocidente passou a conhecer seres tão estranhos quanto os rinocerontes). Se não há geração ou corrupção nos corpos celestes porque estas não foram observadas, então também não há nada disso nas partes distantes da Terra, pois estas também não são vistas. Portanto, o argumento aristotélico que se baseia na experiência sensível para provar que não há alteração nos céus é inconcludente. Ainda: da mesma maneira que nunca se viu uma estrela se corromper, também não há ninguém que tenha visto o globo terrestre deixar de existir. De qualquer maneira o argumento é de que nunca se viu alterações no céu. Logo, diante da observação de alteração no céu o próprio Aristóteles deixaria de lado sua opinião, e é deste tipo de observação que Galileu passa a tratar.

Desde o século anterior, foram observados cometas gerados e dissolvidos nas partes mais altas da esfera lunar, o aparecimento de novas estrelas (sem dúvida mais distantes que os planetas), e, com o telescópio se pôde observar as manchas solares. Salviati não decide sobre a opinião de Tycho Brahe, de que os cometas certamente se moveriam além da órbita da Lua. Considera inconcludentes tanto os argumentos de Tycho quanto os do texto que o nega, o *Anti-Tycho* (1621), de S. Chiaramonti (1565-1652)⁴⁷. Como vimos no capítulo anterior desta dissertação, nos moldes da harmonia copernicana tais fenômenos representariam aberrações. Por esse motivo, a tendência de Galileu seria defender o *Anti-Tycho*. Ele chegou, em anos anteriores, a fazê-lo, mas mudou de idéia após conhecê-lo – nele pouco havia que interessasse a Galileu além da negação da posição celeste dos cometas: na verdade, Chiaramonti defendia o dualismo cosmológico da tradição: por não saber se as estrelas novas são partes do céu – fora das estrelas – ou mutações nas estrelas antigas, ele não as considerava prova de sua alterabilidade. Galileu responde que, dessa

maneira, elas certamente representam alterações no céu, pois o que está em questão é a alterabilidade acima da esfera da Lua, e portanto o espaço que circunda as estrelas também deveria ser inalterável. Se não fosse assim, não haveria problema em admitir que os cometas se movessem acima da órbita da Lua. Se as estrelas são feitas de substância celeste, o céu é ainda mais celeste que elas, assim como não há nada mais terrestre que a terra ou mais ígneo que o fogo. Por isso, qualquer alteração no céu, mesmo que fora das estrelas, refuta completamente a distinção aristotélica.

As manchas solares, que giram em torno do corpo solar, contíguas a ele, e se formam e dissolvem, testemunham definitivamente as mudanças que ocorrem continuamente no Sol, uma das partes mais nobres do céu:

“...se tais, tantas e tão freqüentes [gerações e corrupções] acontecem no próprio globo do Sol, que com toda razão pode considerar-se entre as partes mais nobres do céu, qual será a razão capaz de dissuadir-nos de que outras não possam acontecer nos outros globos...”⁴⁸

Melhor, mais evidente e menos efêmera era a evidência de devir no corpo do Sol. Por isso, a mais importante observação em favor da alterabilidade do céu feitas com o telescópio é a de manchas na superfície de Sol. Referindo-se à discussão sobre as manchas solares na qual Galileu se envolveu anos antes, o autor descreve algumas teorias que tentam explicá-las mantendo a inalterabilidade do céu. Segundo as mesmas, tais manchas poderiam ser:

⁴⁷ *Ed. Naz.*, VII, p. 77.

⁴⁸ *Ed. Naz.*, VII, p. 83.

- astros pequenos girando ao redor do Sol e obscurecendo parte de sua superfície, sendo que eles poderiam se juntar e se separar (realmente se observa que as manchas solares podem se formar e dissolver sobre a superfície do Sol) – a opinião de Scheiner;

- impressões devidas ao ar;

- ilusões das lentes;

- manchas numerosas e distintas localizadas em esferas cristalinas concêntricas em movimento ao redor do Sol.

Galileu retoma então, citando seu anterior estudo sobre o fenômeno, as conclusões - uma que mostra que há geração e corrupção nestas manchas e outra que mostra que elas são contíguas à superfície solar:

- muitas manchas são vistas se formando no meio do disco solar, e outras tantas se dissolvendo longe das bordas. Se não houvesse geração e corrupção nelas, mas apenas movimento local, elas seriam sempre vistas entrando e saindo do disco solar;

- o movimento das manchas é mais rápido no centro do disco solar que nas bordas, e as manchas vão se estreitando quando se aproximam delas. De acordo com as leis da perspectiva, esses fatos demonstram que as manchas estão contíguas à superfície do Sol.

Tais observações e conclusões são possíveis porque o telescópio permite uma experiência sensível mais próxima do céu, mostrando, por exemplo, que o Sol está sujeito a alteração:

“...nós podemos muito melhor que Aristóteles discorrer sobre as coisas do céu, porque, tendo ele confessado que lhe era difícil tal conhecimento pelo distanciamento dos sentidos, acaba por conceder que aquele a quem os sentidos pudessem melhor representá-lo, com maior segurança poderia filosofar sobre o

assunto: ora nós, graças ao telescópio, aproximamo-lo trinta ou quarenta vezes mais do que o era para Aristóteles, tal que podemos discernir nele cem coisas que ele não podia ver, entre outras, estas manchas no Sol, que eram para ele absolutamente invisíveis: portanto, podemos tratar do céu e do Sol com maior segurança que Aristóteles...”⁴⁹

O telescópio, “sentido mais apurado”, permite observações inacessíveis anteriormente, desempenhando, não apenas no caso das manchas solares, mas também com relação a outros fenômenos, um papel fundamental no rompimento com a tradição presente na primeira jornada.

Diante das evidências telescópicas, resta, para o defensor da tradição, que o céu perde em nobreza ao equiparar-se com os caducos elementos terrestres. Mas Sagredo adianta que não é lógico atribuir nobreza à inalterabilidade e vileza à alterabilidade: a Terra é admirável por apresentar alterações, caso contrário ela seria um corpo inútil, como se fosse um animal morto em oposição a um vivo. As gemas, o ouro e a prata são considerados preciosos apenas porque são raros, escassez e abundância determinam o valor das coisas. Se houvesse pouca terra no mundo, ela seria muito mais valiosa que essas coisas. O culto à inalterabilidade parece antes estar ligado ao temor da morte e ao desejo de sobreviver, que dificultam a percepção da importância das mudanças (e da vida):

“...Os que exaltam tanto a incorruptibilidade, inalterabilidade etc., acredito que se limitam a dizer essas coisas pelo imenso desejo de viver muito e pelo terror que têm da morte; e não consideram que se os homens fossem imortais, não caberia a eles vir ao mundo. Bem que eles mereceriam encontrar-se com uma cabeça de Medusa, que

⁴⁹ *Ed. Naz.*, VII, p. 80-81.

os transformasse em estátuas de calcário ou diamante, para se tornarem mais perfeitos do que não são...”⁵⁰

Diante do poder persuasivo dessa imagem, o próprio Simplicio admite que “não há dúvida de que a Terra é muito mais perfeita sendo, como ela é, alterável, mutável etc., que se fosse uma massa de pedra, ou ainda até mesmo um diamante inteiro, duríssimo e impassível”⁵¹. Mas isso permite a ele levantar o argumento teleológico: as alterações terrestres têm a finalidade muito bem definida de servir aos homens; para que serviriam então as mudanças celestes, dado que “eles não têm, nem podem ter nenhuma operação de troca entre si”⁵²? A solução que surge no *Diálogo* é a seguinte: não há necessidade de se negar geração e corrupção na Lua ou em outros planetas só porque se imagina que lá não haja coisas similares às nossas. Pode haver, no céu, coisas completamente diferentes sendo geradas e corrompidas⁵³. A discussão do argumento teleológico, aqui, não é independente dessa discussão da nobreza da inalterabilidade feita no *Diálogo*. Não parece uma referência à astrologia, à influência dos eventos celestes na vida terrestre. Seria ela, antes, acessória, necessária apenas porque o argumento anterior, a favor do superior estatuto das alterações terrestres inclui a utilidade dessas alterações para nós.

Com isso, conclui-se o primeiro momento da discussão do argumento empírico de Aristóteles e passa-se a tratar das semelhanças mais específicas entre a Terra e os astros opacos e errantes, representados pela Lua. As sete semelhanças entre a Terra e a Lua apresentadas por Salviati são as seguintes:

⁵⁰ *Ed. Naz.*, VII, p. 84.

⁵¹ *Ed. Naz.*, VII, p. 84.

⁵² *Ed. Naz.*, VII, p. 84.

⁵³ *Ed. Naz.*, VII, p. 85-86.

- 1) esfericidade: a forma circular com que se apresenta, e o modo com que é iluminada pelo Sol mostram que a Lua também é uma esfera⁵⁴;
- 2) opacidade e obscuridade: a Lua é opaca e obscura porque está apta a receber e refletir a luz do Sol⁵⁵;
- 3) matéria densa e sólida: o telescópio mostra a irregularidade da superfície lunar, o que seria impossível se ela não fosse assim⁵⁶;
- 4) aparência: assim como a Lua se mostra a nós com partes mais claras e partes mais escuras, um observador situado na Lua veria na Terra de maneira diversa água e terra⁵⁷;
- 5) as fases: a Terra, vista da Lua, apresentaria fases, como a Lua para nós, e elas teriam a mesma duração do ciclo lunar⁵⁸;
- 6) iluminação: a Lua e a Terra se iluminam reciprocamente. A Terra até ilumina a Lua com mais intensidade (esta iluminação é aquela que se vê na parte escura da Lua e que Galileu chama de luz secundária)⁵⁹;
- 7) eclipses: assim como ocorrem eclipses da Lua, na Terra, poder-se-ia ver eclipses da Terra na Lua⁶⁰.

A apresentação da quinta semelhança, isto é, as fases da Terra, é acompanhada de uma explicação mais minuciosa e da apresentação de uma diferença entre a Terra e a Lua: quando a Lua e o Sol estão em conjunção, isto é, a Lua está entre o Sol e a Terra, a Lua vê a Terra toda iluminada pelo Sol. Quando está em oposição, a Terra está obscurecida. E quando a relação é de quadratura, está parcialmente iluminada. O ciclo da Lua em volta da

⁵⁴ *Ed. Naz.*, VII, p. 87.

⁵⁵ *Ed. Naz.*, VII, p. 87.

⁵⁶ *Ed. Naz.*, VII, p. 87-88.

⁵⁷ *Ed. Naz.*, VII, p. 88.

⁵⁸ *Ed. Naz.*, VII, p. 88.

⁵⁹ *Ed. Naz.*, VII, p. 91-92.

⁶⁰ *Ed. Naz.*, VII, p. 93.

Terra determina tanto o período das fases da Lua vistas da Terra quanto o período das fases da Terra vistas da Lua. A diferença é que a Lua vê toda a Terra, enquanto a Terra só vê metade da Lua: todos os pontos da superfície terrestre se voltam, durante parte do dia, para a Lua devido ao movimento diurno; a Lua, entretanto, volta sempre a mesma face para a Terra. Isso mostra que a Lua mantém uma relação precisa com o centro da Terra, donde se deduz que a linha que une os centros da Terra e da Lua passa sempre pelo mesmo ponto da superfície lunar.

Entre estas semelhanças há uma que Galileu e Aristóteles compartilham: a esfericidade de ambas. Quanto às demais, elas encontram dificuldades por violar duas características da Lua aristotélica e um princípio admitido por Aristóteles: a polidez, a presença de luz própria e a proposição que diz que as superfícies perfeitamente polidas são mais aptas a refletir a luz que as não polidas. Dessas questões, que o autor já discutia com detalhe desde o *Sidereus Nuncius*, ele não estaria livre até seus últimos dias⁶¹.

Para verificar se as superfícies polidas são ou não mais aptas a refletir a luz que as não polidas, Galileu propõe diversas experiências com superfícies ásperas, polidas, opacas e espelhadas, planas e esféricas.

A primeira delas compara o reflexo da luz em uma parede áspera e irregular com o reflexo de um espelho. Em quase todas as posições em que se coloque o espelho, ele parece muito mais escuro que a parede. Apenas em um determinado ponto ele reflete a luz do Sol intensamente, em uma área do tamanho do próprio espelho. Isso ocorre porque a parede reflete a luz igualmente para todos os lados, enquanto que o espelho plano a reflete apenas para um ponto determinado. A Lua parece então se assemelhar mais à parede que ao espelho, porque ela se ilumina por igual, e reflete a luz para todos os lados; além disso, a

intensidade da luz refletida pela parede não é tão grande quanto a do espelho, que dirige os raios para um único ponto, mas suave e difusa como no caso da Lua.

Mas a superfície lunar é esférica, e não plana como o espelho em questão, e portanto está apta a refletir a luz para todos os lados. Tomando então um espelho esférico, Salviati mostra que este realmente reflete a luz para todos os lados, mas nota que o reflexo do Sol toma apenas uma pequena parte de sua superfície, enquanto o restante dela fica escura. E a reflexão do espelho esférico na parede não é tão intensa quanto a do espelho plano; na verdade nem se nota seu reflexo na parede.

Para explicar essa diferença, o autor apresenta um raciocínio semelhante àquele que supunha, no *Ensaíador*, uma micro-estrutura geométrica responsável pelas qualidades secundárias: a luz refletida por corpos ásperos é mais generalizada porque a aspereza se deve a uma infinidade de pequenas superfícies, com diferentes inclinações, tornando os corpos ásperos aptos a refletir a luz para muitos pontos diferentes. A reflexão regular do espelho esférico mostra, antes, uma imagem diminuta do objeto refletido, e bastante fraca devido à dispersão dos raios luminosos para todos os lados. Por isso, dada a distância entre o Sol e a Lua, se esta última refletisse a luz como um espelho esférico o reflexo do Sol seria praticamente tão pequeno que não o veríamos.

O exame da reflexão sobre outras superfícies corrobora essas conclusões: a luz do Sol, refletindo em uma prancha grande e dourada, parece ocupar toda a prancha quando é vista de longe. Isto ocorre devido ao modo como a luz afeta nossa vista. Entretanto, se se cobrisse, na prancha, a parte que não reflete o Sol, mas apenas dá a impressão de estar iluminada, o efeito para um observador distante seria o mesmo. Tampouco adiantaria aumentar o tamanho da prancha, pois o reflexo continuaria o mesmo. Ou ainda: uma

⁶¹ Ver Carta ao Príncipe Leopoldo de Toscana (1640). *Ed. Naz.*, VIII, p. 487-545.

superfície de prata perfeitamente polida parece mais escura, porque, eliminada a aspereza, ela passa a refletir a luz como um espelho, o que faz com que o objeto pareça claro apenas por um ângulo, e escuro por todos os outros com que se olhe.

Outra experiência interessa a Galileu devido às diferenças de reflexão segundo a incidência dos raios luminosos com diferentes angulações: dobrando a ponta de uma folha de papel, e verificando que a iluminação da parte dobrada é diferente da iluminação do restante da folha em intensidade, descobre-se que não é a quantidade dos raios que incidem sobre o objeto que determina sua aparência, mas apenas os raios que atingem o olho. E isso varia de acordo com a inclinação, como já foi visto e como atesta essa experiência. A luz que incide perpendicularmente sobre uma superfície é refletida com mais intensidade do que se a incidência fosse inclinada. Isso porque uma mesma superfície é atingida por menos raios de luz quando está inclinada, e por isso reflete menos. Por isso, se a Lua fosse perfeitamente polida, veríamos, na Lua cheia, sua superfície mais iluminada no centro que nas bordas, pois, no centro, os raios incidem perpendicularmente, refletindo com mais intensidade. Por ser áspera ela se mostra mais iluminada e iluminada por igual. Também se pode inferir disso que, quando os raios solares incidem perpendicularmente sobre o centro da face lunar que está voltada para a Terra, todos os seus vales devem ser iluminados e não devemos poder ver as suas sombras, o que é corroborado através da observação telescópica.

Mas, se a superfície lunar não se assemelha a um espelho esférico, resta ainda uma outra possibilidade familiar aos tradicionalistas: a translucidez. Para discutir se as manchas na superfície da Lua se devem a partes mais opacas ou mais translúcidas, Galileu toma como exemplo o âmbar, material de partes mais opacas e mais transparentes, e mostra como é impossível imitar dessa maneira o movimento dessas manchas. Conforme a Lua gira em torno da Terra, as manchas que se observam com o telescópio aumentam ou

diminuem. Retomando o *Sidereus Nuncius*, Galileu explica esse fenômeno dizendo que elas são sombras das protuberâncias no relevo lunar, que variam de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares sobre elas. A melhor maneira de reproduzir tal movimento seria moldando uma esfera de superfície irregular com qualquer matéria opaca: ela refletiria a luz como a Lua, ou seja, dependendo do ângulo de incidência da luz, as sombras seriam maiores ou menores.

Os tradicionalistas acreditavam que a Terra não poderia ser tão apta quanto a Lua para refletir luz porque a Lua, à noite, brilha tanto que parece ter luz própria. Isso, no entanto, só acontece devido à escuridão do ambiente. Se fosse possível observar, à noite, a superfície da Terra iluminada pelo sol, ela poderia parecer tão brilhante quanto a Lua. Entretanto, para decidir sobre essa questão seria necessário que se observasse a Terra e a Lua com a mesma iluminação. Então, se veria que a matéria dos elementos é tão apta a receber luz quanto a substância celeste. A solução é a introdução da idéia de iluminação secundária.

Galileu ilustra essa discussão voltando ao exemplo da parede: o reflexo da luz do Sol nas paredes de uma casa. Este não parece muito forte, pois é visto na presença do próprio Sol. Entretanto, é tão mais intenso que a luz do luar quanto é mais fácil ler um livro iluminado pelo reflexo do sol na parede do que sob a Lua cheia. Daí se pode concluir que a impressão que se tem de um corpo iluminado depende da iluminação do ambiente à sua volta, mas, principalmente, que a luz refletida por corpos opacos é capaz de iluminar outros corpos.

Voltando aos fenômenos celestes, verifica-se que pouco tempo após a conjunção a luz secundária é bem clara. Isso ocorre à luz do crepúsculo, quando o céu ainda está bastante claro. Esse fato poderia contradizer a conclusão a que se acaba de chegar: que em

um ambiente mais claro o corpo parece menos iluminado. Além disso, quando a Lua surge no céu mais escuro, à noite, a luz secundária é sensivelmente menos intensa, e quando ela deveria estar mais iluminada, isto é, nos eclipses da Lua, o astro parece ainda mais escuro. Na verdade isso não contradiz aquela conclusão, pois no caso do eclipse, não se vê a luz secundária porque nessa situação a parte da Terra que não está iluminada pelo Sol está voltada para a Lua, e como a Lua não tem luz própria, quando a Terra se interpõe entre ela e o Sol, ela fica sem iluminação alguma. Assim, pode-se dizer também que a luz secundária é a Lua sendo iluminada pelo reflexo do Sol na Terra, que é bastante forte após a conjunção.

A luz secundária também não se deve a uma certa transparência do corpo lunar, como alguns supunham. Pois, se assim fosse, ela deveria parecer mais clara nas bordas que no centro, já que os raios que a atravessassem pelo centro estariam percorrendo uma distância maior. Além disso, se a luz secundária fosse devida a uma transparência, ela deveria ser mais forte nos eclipses do Sol, o que evidentemente não acontece. Também não se veriam com tanta nitidez as sombras da superfície lunar, pois sendo a Lua transparente, os raios luminosos a atravessariam sem maior dificuldade, e o limite entre a parte iluminada e a parte escura da Lua deveria ser tênue. Por fim, um último fato que atesta que a Lua não é transparente: a luz secundária varia de intensidade durante o ciclo lunar.

Com isso Galileu mostra duas coisas importantes: que a Lua não tem luz própria e que a reflexão da Terra é extremamente potente. E delas se pode inferir mais uma: que, da mesma maneira que os planetas atuam sobre a Terra com seu movimento e luz, a Terra atua sobre a Lua (e essa consequência vale independentemente de qual seja o centro do universo).

Galileu termina a discussão das semelhanças com quatro considerações:

- a distância entre a Terra e os corpos celestes poderia apoiar a idéia de que eles são muito diferentes. Assim sendo, também se deveria identificar proximidade com semelhança, afirmando a afinidade entre a Terra e a Lua, pois a Lua é o astro mais próximo da Terra;

- a solidez da Lua é atestada pelas montanhas que se observam nela, pois se ela fosse líquida estaria distribuída uniformemente, formando uma superfície polida como um espelho;

- a reflexão no mar é menor que na Terra, da mesma forma que o reflexo da luz na parede áspera é maior que no espelho polido;

- a luz secundária observada é mais clara antes da conjunção (Lua nova) que depois dela – isso ocorre porque, na Europa (onde se situavam Galileu e seus interlocutores), a Lua, antes da conjunção é iluminada pelo reflexo do Sol nas terras da Ásia, e, depois dela, nas águas do Atlântico.

Após considerar as semelhanças entre a Lua e a Terra, Galileu passa a considerar as diferenças entre elas. A primeira diferença está relacionada com as grandes manchas na superfície da Lua. Elas poderiam ser, como ocorre com a Terra, grandes porções de água. Entretanto, há outras maneiras de produzir o mesmo efeito: poderiam ser também selvas, pois, vistas do alto de uma montanha, estas parecem muito mais escuras que a terra estéril ou poderiam ser realmente mais escuras, como ocorre com as montanhas cobertas de neve, que mostram partes mais claras e mais escuras. A observação mostra que as partes mais escuras são planícies, com algumas poucas pedras e falhas. As partes mais claras estão cheias de pedras, montanhas e pequenas crateras redondas e de outras formas, com grandes cadeias montanhosas ao redor das manchas. O que prova que as partes claras são planas e

as partes escuras são montanhas é o limite entre a parte iluminada e a parte escura, que é bem definido nas partes escuras e completamente irregular nas partes claras.

Outra diferença é que, havendo geração e corrupção na Lua, estas devem ser completamente diferentes das que há na Terra. Parece não haver água na Lua; isso já deveria causar uma diferença brutal na geração e na corrupção lunares, mas mesmo que haja água, ainda assim serão muito diferentes. Para isso há dois motivos:

- nossas gerações dependem da relação do Sol com a Terra, e a relação entre a Lua e o Sol é completamente diferente. Enquanto a rotação diurna da Terra leva um dia, a Lua precisa de um mês para que o Sol volte à mesma posição no céu observado de sua superfície. Além disso, a órbita do Sol atinge uma inclinação máxima em relação à da Terra de 47 graus, enquanto, em relação à Lua, a inclinação é de 10 graus. Se nossos seres vivos estivessem na Lua, provavelmente morreriam devido aos quinze dias de exposição ininterrupta ao Sol. Se sobrevivessem, certamente seriam animais e plantas diferentes dos nossos;

- na Lua não chove, pois se lá houvesse nuvens elas certamente apareceriam ao telescópio, e encobririam parte da superfície lunar. Embora isto leve a crer na ausência de água, ainda assim poder-se-ia imaginar outros meios de circulação da água que não a chuva: um tipo de sereno, ou cheias semelhantes às do Rio Nilo cumpririam a mesma função. Ou então, só chove no lado da Lua que está oculto a nós, embora não haja motivo para se decidir sobre esta questão.

Se não se pode garantir as diferenças entre a Lua e a Terra com a mesma necessidade que prova as semelhanças, está demonstrada a identidade entre as duas.

Após garantir teórica e empiricamente a unificação da matéria e das leis do cosmo, a primeira jornada conclui com a garantia da possibilidade de conhecimento necessário ao

intelecto humano – nos moldes da geometria. Para tanto, Galileu compara-o com o intelecto de Deus:

“...quanto à verdade que conhecemos pelas demonstrações matemáticas, [...] ela é a mesma que conhece a sabedoria divina. Mas [...] o modo pelo qual Deus conhece as infinitas proposições, das quais conhecemos algumas poucas, é sumamente mais excelente que o nosso, o qual procede por raciocínios e passagens de conclusão a conclusão, enquanto o Seu é uma intuição simples: e onde nós, para chegar, por exemplo, à ciência de algumas propriedades do círculo, que possui infinitas, começando por uma das mais simples e tomando aquela como sua definição, passamos pelo raciocínio a uma outra, e desta à terceira, e depois à quarta etc., o intelecto divino, com a simples apreensão de sua essência, compreende, sem raciocínio temporâneo, toda a infinidade daquelas propriedades...”⁶²

Com isso, Galileu garante à mente humana conhecimentos tão verdadeiros e necessários quanto o que Deus possui. A máxima socrática “só sei que nada sei” expressa a finitude do saber humano e a infinitude de nossa ignorância; o saber divino, por outro lado, é ilimitado, tanto quanto um corpo vivo, obra da natureza, é infinitamente mais admirável que a melhor estátua do mais talentoso dos escultores. Quanto ao conhecimento, o homem não é capaz, como Deus, de conhecer a multiplicidade dos inteligíveis, que são infinitos (o que Galileu chama de conhecimento extensivo), mas é capaz de compreender proposições particulares (conhecimento intensivo). Por isso, quando um homem compreende uma proposição particular perfeitamente, seu conhecimento dela é equivalente ao divino. A diferença é que, para Deus, o conhecimento de todas as coisas é imediato, enquanto nó

⁶² *Ed. Naz.*, VII, p. 129.

começamos pelas coisas mais simples e avançamos, através do raciocínio, até outras mais elaboradas. Galileu afirma então, que nosso conhecimento é verdadeiro e necessário, principalmente quando segue o modelo das demonstrações matemáticas; portanto, sua proposta de física matemática partilha dessa necessidade e garante a validade do conhecimento da natureza – desde que “lida” segundo os caracteres com que foi escrita: triângulos, círculos e outras figuras geométricas.

Esta análise da primeira jornada mostra que a abordagem galileana da controvérsia cosmológica segue a da argumentação aristotélica que é contraposta e recusada, aprioristicamente no caso dos argumentos teóricos e mediante o recurso à experiência no caso do último argumento empírico. Finocchiaro extrai da possibilidade de reconstrução lógica do *Diálogo* que Galileu é um lógico em ação, um “habilidoso praticante da análise lógica e da argumentação explicitamente formulada”⁶³. Essa conclusão é corroborada pela presente análise, devido à estruturação da primeira jornada em vista de seu caráter negativo, isto é, dos argumentos a confrontar. Já como resultados positivos o texto oferece, além da unificação cósmica, que é consequência imediata da recusa do cosmo hierarquicamente ordenado, os princípios da nova ordenação e a necessidade do recurso à experiência na descoberta dessa ordenação, sempre guiado pela linguagem definida aprioristicamente na qual o livro da natureza está escrito.

⁶³ FINOCCHIARO, 1980, p. 44.

A Unificação do Cosmo

Conclusão

Conclusão

Tendo percorrido, nestes quatro capítulos, o trajeto científico de Galileu em direção ao estabelecimento da nova cosmologia, desde a sua conversão ao copernicanismo, passando por suas descobertas de evidências empíricas em favor do novo sistema, da discussão teórica da física tradicional e de sua mais evidente contribuição - a matematização da natureza, apresenta-se por fim, como conclusão, os resultados desta pesquisa, particularmente no que se refere ao rompimento com o cosmo hierarquicamente ordenado de Aristóteles.

Recapitulando, a revolução científica que levou à síntese newtoniana, muitas vezes chamada de copernicana, é obra de diversos autores. Copérnico deve seu destaque às dificuldades teóricas intransponíveis que criou para a tradição ptolomaico-aristotélica por oferecer uma nova perspectiva para a astronomia. Seu modelo oferecia uma explicação capaz de unir astronomia e cosmologia, ou seja, era um conjunto de cálculos astronômicos suficientemente preciso nas previsões para concorrer com o modelo ptolomaico, e era também tão harmônico e ordenado que foi proposto pelo autor como a real estrutura do universo (apesar de o prefácio de Osiander dizer o contrário, a carta-prefácio do próprio Copérnico não deixa dúvida de que ele rompia com o instrumentalismo ptolomaico). Defender a novidade, como fizeram os principais artífices da ciência moderna, significava violar as premissas sobre as quais a tradição se apoiava, e, no limite, toda a tradição. Os movimentos da Terra descritos por Copérnico feriam principalmente a diferença essencial

entre céu e Terra, e, com isso, outros princípios a ela associados, como a teoria dos movimentos naturais e a dedução aristotélica dos elementos. As objeções tradicionais aos movimentos da Terra estavam geralmente ligadas à incompatibilidade desses movimentos com tais princípios da filosofia natural tradicional, e significavam que, dentro do arcabouço conceitual existente, não seria possível defendê-los. Devido à conseqüente necessidade de novas bases para um estudo copernicano da natureza, a história da defesa de uma cosmologia heliocêntrica se confunde com a do nascimento da ciência moderna.

Um dos mais importantes momentos dessa história é o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo: ptolomaico e copernicano*, no qual Galileu defende a superioridade do modelo heliocêntrico diante da tradição. Nessa obra, a primeira jornada é dedicada à discussão do dualismo cosmológico de Aristóteles, e é estruturada segundo a mesma ordem na qual os três argumentos aristotélicos a serem contestados surgem no *De Caelo*. Da discussão sobre o primeiro argumento, da perfeição do movimento circular, Galileu redefine os papéis desse movimento e do retilíneo, o que resulta no mundo geometricamente ordenado que exclui qualquer ordenação segundo os movimentos próprios de cada elemento. Se os movimentos de todos os corpos são circulares quando o mundo apresenta sua ordem perfeita, a distinção entre celeste e elemental a partir da forma do movimento de cada corpo perde o sentido. O segundo argumento de Aristóteles também é recusado diante da atribuição de movimento circular a todos os corpos, pois ele também é dependente da atribuição de movimentos diferentes a elementos diferentes.

No cosmo ordenado de Galileu deixam de existir direções *a priori*, ou lugares naturais predeterminados, e, portanto, a ordem real deve ser descoberta a partir da experiência. Essa conclusão parcial permite a inserção dos dados telescópicos não apenas na refutação da cosmologia tradicional, mas também na descoberta da ordem “real” do

mundo – que viria a confirmar o modelo heliocêntrico. Entre essas descobertas, duas foram de fundamental importância na unificação das leis físicas do céu e da Terra:

- o comportamento das manchas solares, principal evidência de mudanças no céu, pelo fato de ocorrerem no mais nobre dos astros e poderem ser verificadas a qualquer momento, sem a dependência do “acaso” que permitia a observação apenas eventual das novas, como as de 1572 e 1604;

- e as similaridades entre a Lua e a Terra, que elevaram a última à categoria de astro errante, ou planeta, diferente do Sol mas semelhante a Vênus e à Lua pela opacidade de sua superfície e pela capacidade de refletir a luz solar (entre outras similaridades).

Essas observações, por motivos evidentes, permitiram a recusa do terceiro argumento aristotélico e tornaram mais plausível o universo copernicano. Trata-se de um exemplo significativo do que significava a “leitura” do livro da natureza. Se Galileu pretendesse a dedução *a priori* do mundo, sua metáfora não poderia ser essa. Se a matemática oferece a linguagem na qual Deus escreveu esse livro, isso não significa que na linguagem está o conteúdo escrito – ela é necessária na descoberta *a posteriori* desse conteúdo. Da mesma maneira, não se pode saber o que está escrito na Bíblia, ou mesmo nos *Études Galiléennes*, apenas com o conhecimento da linguagem com que foram escritos.

Quanto à maneira de investigar as imagens telescópicas, o texto galileano parece sugerir que ela era similar àquela que os pintores renascentistas desenvolveram a partir dos estudos de perspectiva de seus antecessores medievais e da atenta observação do comportamento da luz incidente sobre as mais diversas superfícies. Galileu, de fato, se utiliza repetidamente das leis (geométricas) da perspectiva e do escoreço, e parece conhecer melhor que seus contemporâneos astrônomos a iluminação de corpos opacos pela luz refletida em outros corpos opacos (como no caso da luz secundária da Lua) e a maneira

como superfícies ásperas ou polidas, planas ou esféricas refletem os raios luminosos. Como o estudo dessa relação entre a pintura e a ciência de Galileu exigiria uma outra discussão que se afastaria da temática cosmológica, fica aqui apenas a sugestão para um trabalho posterior.

Quanto à delimitação do rompimento de Galileu com o cosmo dualista é devida ao apriorista Koyré. Como vimos, duas diferenças ainda separavam o cosmo geometricamente ordenado galileano do universo infinito da ciência moderna: a geometrização definitiva do espaço ainda dependia do abandono da noção de ordem cósmica em favor do espaço infinito e da substituição da inércia circular pelo movimento inercial retilíneo e tão infinito quanto as retas da geometria euclidiana.

Ilustrações

Ilustrações

Cap. 2:

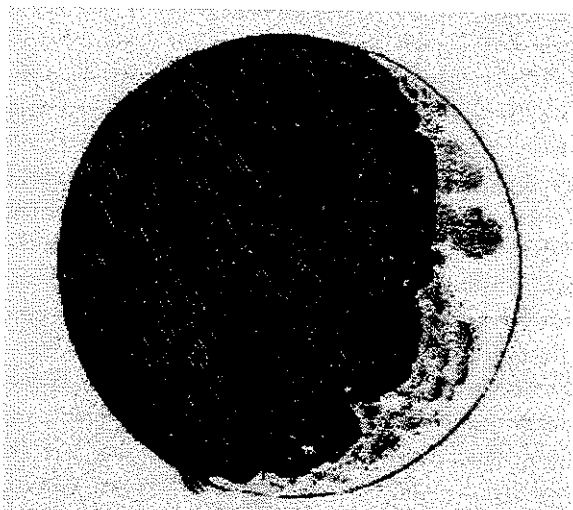


Fig. 1 (Extraída de *Ed. Naz.*, III, p. 63)

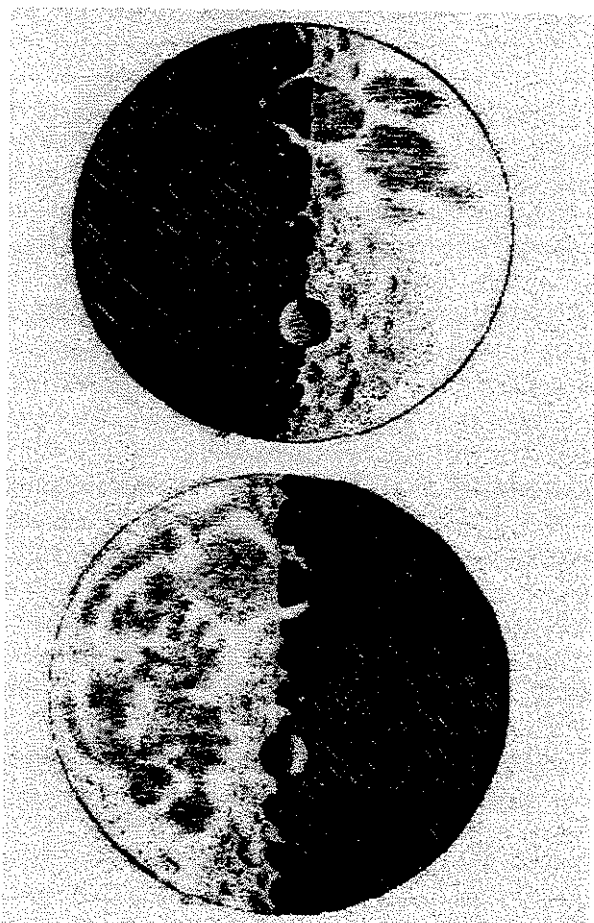


Fig. 2 (*Ed. Naz.*, III, p. 66)



Fig. 3 (*Ed. Naz.*, III, p. 67)

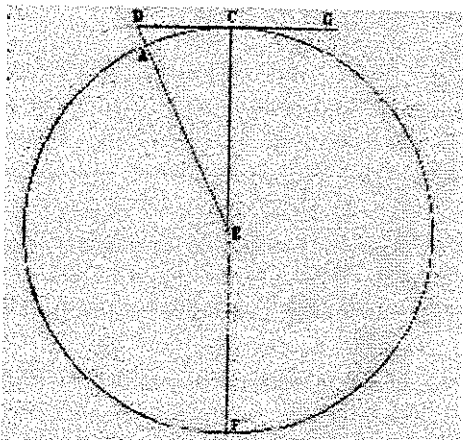


Fig. 4 (*Ed. Naz.*, III, p. 71)

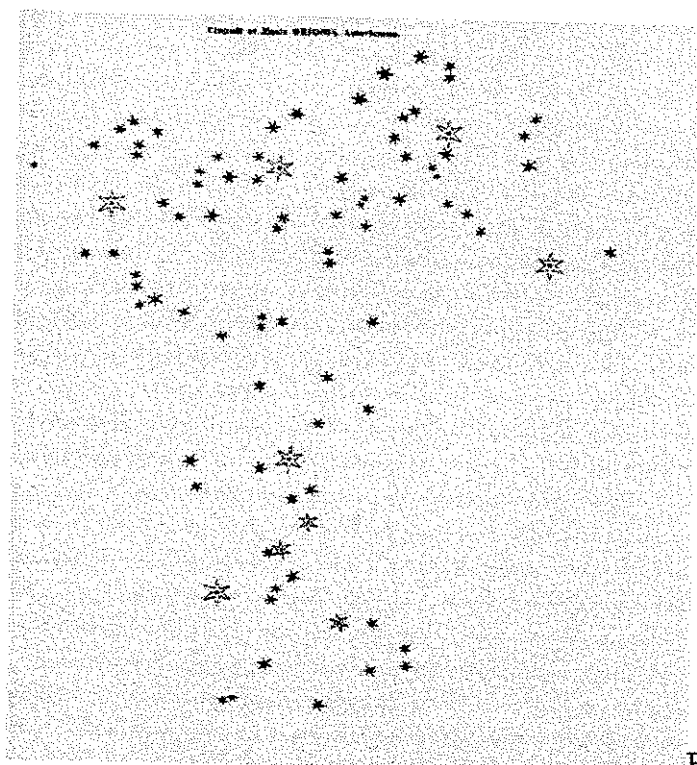


Fig. 5 (*Ed. Naz.*, III, p. 77)

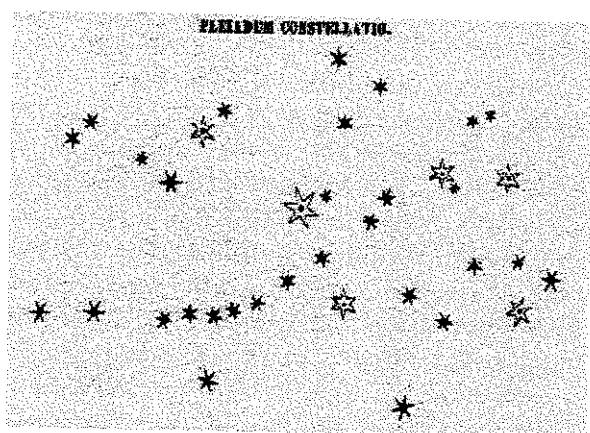


Fig. 6 (*Ed. Naz.*, III, p. 78)

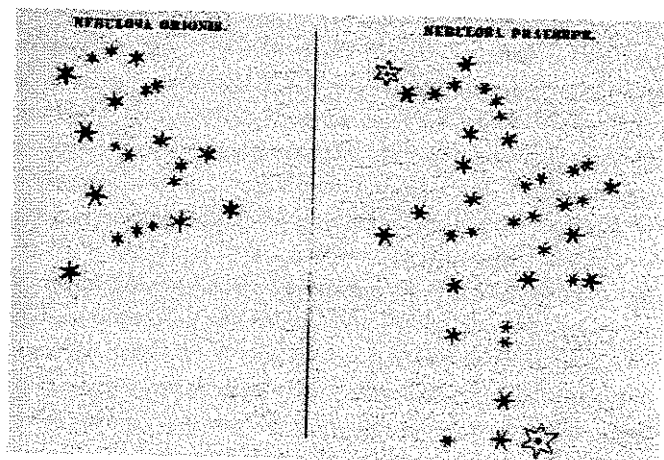


Fig. 7 (*Ed. Naz.*, III, p. 79)

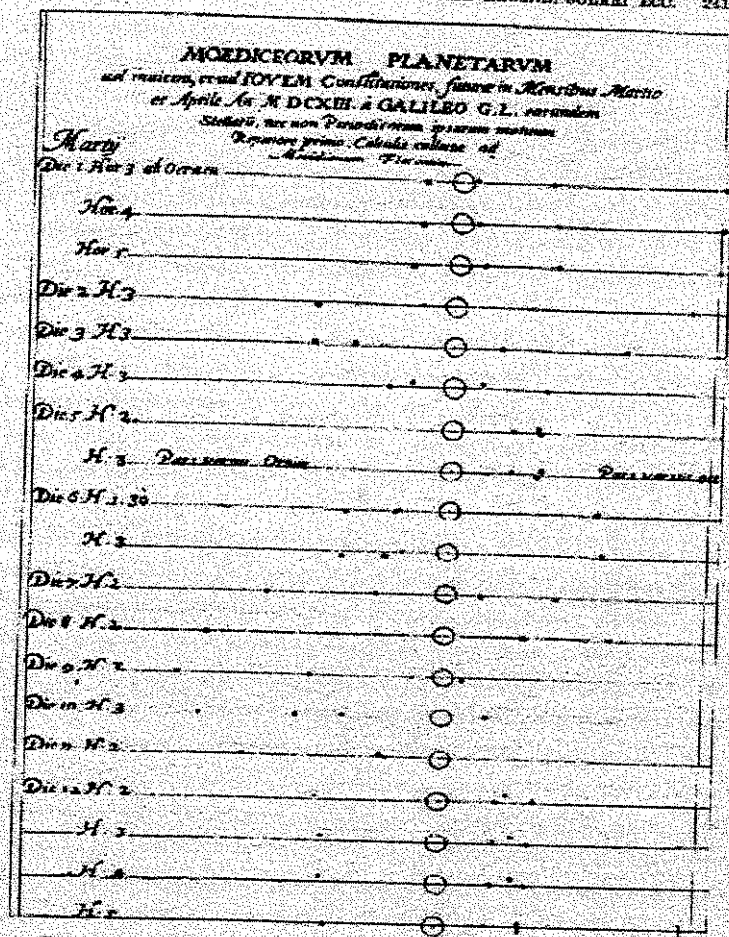


Fig. 8 (Ed. Naz., V, p.241)

Cap. 3:

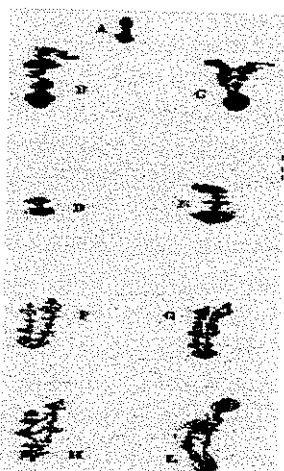


Fig. 9 (*Ed. Naz.*, V, p.107)

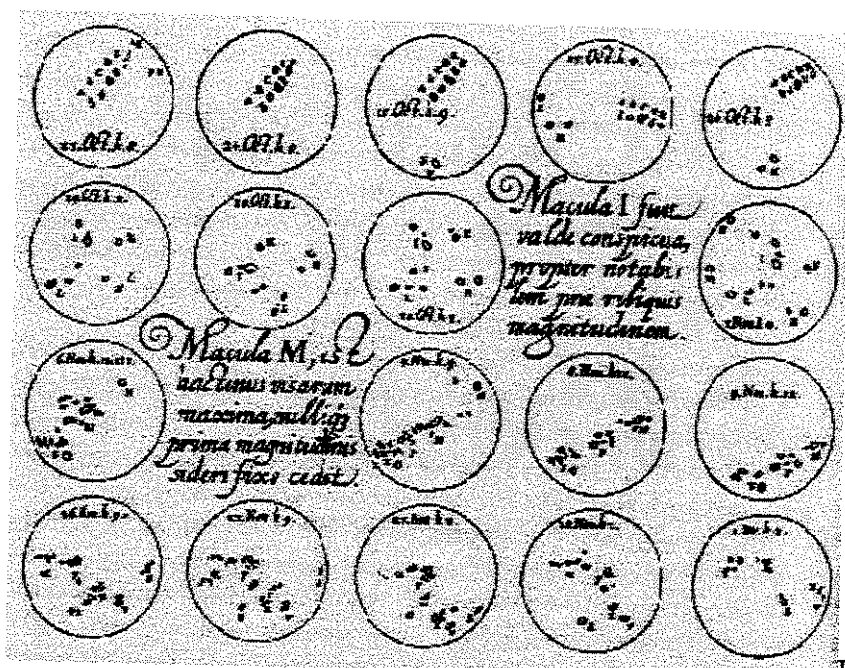


Fig. 10 (*Ed. Naz.*, V, p. 32)

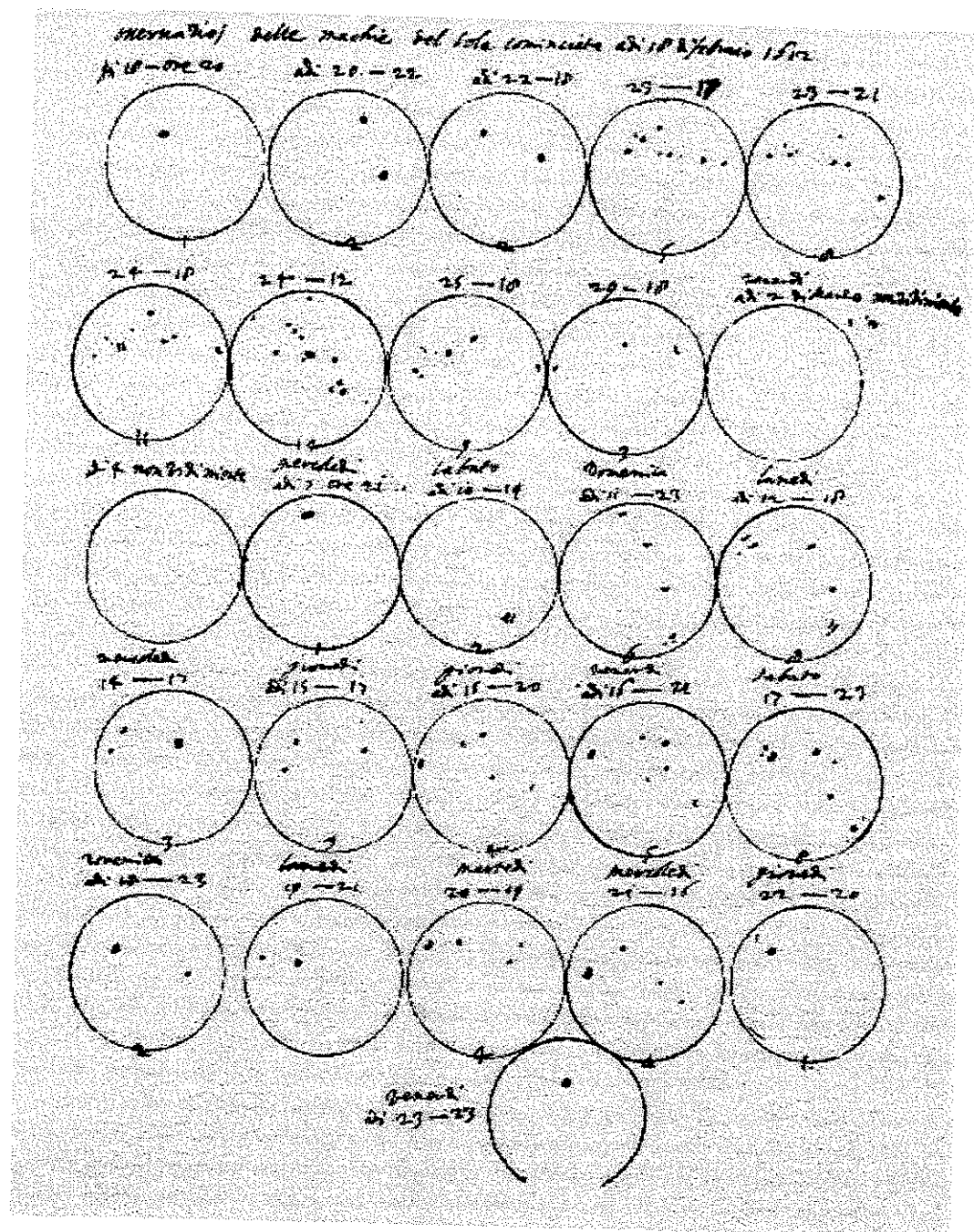


Fig. 11 (*Ed. Naz.*, XI, p. 288)



Fig. 12 (Ed. Naz., VI, p.199)

Cap. IV:

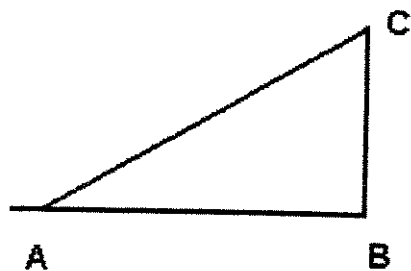


Fig. 13. Transcrita de *Ed. Naz.*, VII, p. 103.

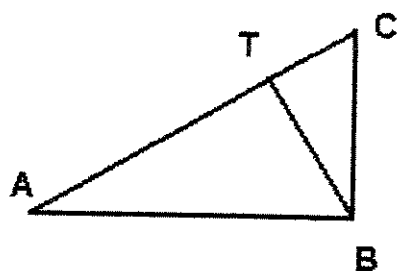


Fig. 14. Transcrita de *Ed. Naz.*, VII, p. 106.

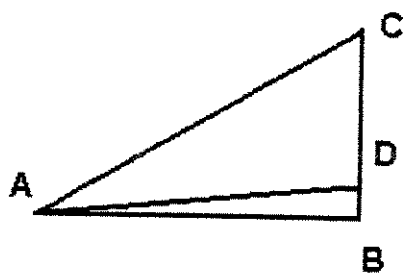


Fig. 15. Transcrita de *Ed. Naz.*, VII, p. 107.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia primária

1. ARISTÓTELES, *Du Ciel*. Trad. De P. Moreaux. Paris: Les Belles Lettres, 1965.
2. _____, *Física I e II*. Trad. De L. Angioni. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1999.
3. _____, *Metafísica*. Trad. de V. G. Yebra. Madrid: Gredos, 1990. (edição trilingüe, grego-latim-espanhol). Do original: *Metaphysica*.
4. _____, *Metaphysics*. Trad. de W. D. Ross. In: HUTCHINS, R. M. (ed.), *Great books of the Western World*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, v. 8, 1952, p. 499-626.
5. _____, *On the Heavens*. Trad. de J. L. Stocks. In: HUTCHINS, R. M. (ed.), *Great books of the Western World*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, v. 8, 1952, p. 359-405.
6. _____, *Physics*. Trad. de R. P. Hardie e R. K. Gaye. In: HUTCHINS, R. M. (ed.), *Great books of the Western World*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, v. 8, 1952, p. 259-355.
7. _____, *Physics*. Oxford: Londres, 1966. Introd., trad. e comentário de W. D. Ross.

8. _____, *Physics, books I-IV*. Trad. de P. H. Wicksteed & F. M. Cornford. Cambridge: Harvard University Press, 1980. (edição bilingüe, grego-inglês). (Loeb Classical Library).
9. BRAHE, T., *Sur des phénomènes plus récents du monde éthéré livre second*. Trad. e notas de J. Peyroux. Paris: Blanchard, 1984.
10. _____, *Tycho Brahe's german treatise on the comet of 1577*. In: CHRISTIANSON, J. R., "Tycho Brahe's german treatise on the comet of 1577: a study in science and politics". In: *Isis*, 1979, v. 70, p. 110-140.
11. BRUNO, G., *Acerca do infinito, do universo e dos mundos*. Trad. De G. Gentile. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1978.
12. COPÉRNICO, N., *As revoluções dos orbes celestes*. Trad. de A. D. Gomes e G. Domingues. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1984.
13. _____, *Comentariolus*. São Paulo: Nova Stella, 1990.
14. GALILEI, G., *A mensagem das estrelas*. Rio de Janeiro: MAST/Salamandra, 1987.
15. _____, *Ciência e fé (cartas)*. Intr. e trad. de C. A. R. Nascimento. São Paulo: Nova Stella, 1988.
16. _____, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo ptolomaico e copernicano*. Intr., trad. e notas de P. R. Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial, 2001.
17. _____, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Trad., intr. e notas de A. B. Marí. Madrid: Alianza, 1994.
18. _____, *Dialogue concerning the two chief world systems - Ptolemaic & Copernican*. Trad. de S. Drake. Berkeley: University of California Press, 1953.

19. _____, *Duas novas ciências*. Trad. de P. Mariconda e L. Mariconda. São paulo: Nova Stella Editorial, 1985.
20. _____, *Le Opere di Galileo Galilei*. In: FAVARO, A. (ed.) *Edizione Nazionale delle opere di Galileo*. Firenze: S. A. G. Barbére Editore, 20v, 1968 (reimpressão).
21. _____, *Sidereus Nuncius – Le Messenger Celeste*. Trad. de I. Pantin. Paris: Les Belles Lettres, 1992.
22. KEPLER, J., *Epitome of copernican astronomy*. Trad. de C. G. Wallis. In: HUTCHINS, R. M. (ed.), *Great books of the Western World*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, v. 16, 1952, p. 841-1004.
23. PTOLOMEU, C., *The Almagest*. Trad. de R. C. Taliaferro. In: HUTCHINS, R. M. (ed.), *Great books of the Western World*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, v. 16, 1952, p. 1-495.
24. SACROBOSCO, J., *Tratado da Esfera*. Trad. de P. Nunes. São Paulo: Unesp, 1991.

Bibliografia secundária

1. AGAZZI, E., "Was Galileo a realist?". In: *Physis*, 1994, v. 31, p. 273-296.
2. BARKER, P., "Copernicus, the orbs, and the equant". In: *Synthese*, 1990, v. 83, p. 317-323.
3. BARKER, P. & GOLDSTEIN, B. R., "The role of the comets in the copernican revolution". In: *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 1998, v. 19/3, p. 299-319.
4. BRACKENRIDGE, J. B., "Kuhn, paradigms, and astronomy: astronomy as a case study of kuhnian paradigms". In: *Proc. Am. Phil. Soc.*, 1985/4, v. 129, p. 433-55.

5. BUCCIANINI, M., "Dopo il *Sidereus Nuncius*: il copernicanesimo in Italia tra Galileo e Keplero". In: *Nuncius*, 1994, v. 9, p. 15-35.
6. BURTT, E. A., *As bases metafísicas da ciência moderna*. Trad. de J. Viegas Filho e ° A. Henriques. UNB, Brasília, 1983.
7. CHALMERS, A., "Galileo's telescopic observations of Venus and Mars". In: *Brit. J. Phil. Sci.*, 1985, v.36, p. 175-191.
8. CHRISTIANSON, J. R., "Tycho Brahe's german treatise on the comet of 1577: a study in science and politics". In: *Isis*, 1979, v. 70, p. 110-140.
9. CLAVELIN, M., "Conceptual and technical aspects of the galilean geometrization of the motion of heavy bodies". In: SHEA, W. R. (ed.), *Nature mathematized* (v.1). Dordrecht: D. Reidel, 1983.
10. _____, *La philosophie naturelle de Galilée*. Paris: Armand Colin, 1968.
11. COHEN, J. B., *O nascimento de uma nova física: de Copérnico a Newton*. Trad. de G. de Andrada e Silva. São Paulo: São Paulo-Edart, 1967.
12. CROMBIE, A. C., *Augustin to Galileo*. Cambridge: Harvard University Press, 2v, 1979.
13. _____, *Robert Grosseteste and the origins of experimental science*. Oxford. At the Clarendon Press, 1953.
14. _____, "Science and the arts in the renaissance: the search for truth and certainty, old and new". In: *Hist. Sci.*, v. 18, 1980, p. 233-246.
15. DAME, B., "Galilée et les taches solaires". In: *Rev. Hist. Sci.*, 1966, 19, p. 307-370.
16. DASTON, L. J., "Galilean analogies: imagination at the bounds of sense". In: *Isis*. v. 75, 1984, p. 302-310.

17. DIJKSTERHUIS, E. J., *The mechanization of the world picture*. Trad. de C. Dikshoorn. London: Oxford University Press, 1969.
18. DRAKE, S., "Hipparchus-Geminus-Galileo". In: *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 1989/1, v. 20, p. 47-56.
19. _____, "The evolution of *De Motu*". In: *Isis*, v. 67, 1976.
20. DREYER, J. L. E., *A history of astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover, 1953 (reimpressão de 1906).
21. ESPOZ, R., *Un conflicto en el origen de la ciencia moderna: Copérnico u Osiander*. Editorial Universitaria, Santiago, 1989.
22. ÉVORA, F. R. R., *A revolução copernico-galileana*, 2v. Campinas: CLE-UNICAMP, 1993.
23. _____, "A origem do conceito do *impetus*". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1995, s. 3, v. 5, p. 281-305.
24. _____, "Filopono de Alexandria e a crítica ao conceito de matéria-prima". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 2000, s. 3, v. 10, n. 1, p. 55-76.
25. FEYERABEND, P., "A lógica, o Bê-a-Bá e o Professor Gellner". Trad. de Balthazar Barbosa Filho. In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1980, 1, p. 77-89.
26. _____, *Contra o método*. Trad. De M. S. Pereira. Lisboa: Relógio d'Água, 1993.
27. FINOCCHIARO, M., *Galileo and the art of reasoning*. Dordrecht: D. Reidel, 1980.
28. _____, "To save the phenomena: Duhem on Galileo". In: *Rev. Int. Phil.*, v. 182, 1992/3, p. 291-310.
29. GELLNER, E., "Além da verdade e da falsidade". Trad. de Balthazar Barbosa Filho. In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1980, 1, p. 62-76.

30. GEYMONAT, L., *Historia de la filosofía y de la ciência*. Trad. de J. Bignozzi. Barcelona: Crítica, 1985.
31. GIUSTI, E., "Il filosofo geometra: matematica e filosofia naturale in Galileo". In: *Nuncius*: 1994/2, p. 485-498.
32. GODDU, A., "The realism that Duhem rejected in Copernicus". In: *Synthese*, 1990, v. 83, p. 301-315.
33. GRANT, E., *A source book in the medieval science*. Cambridge: Harvard University Press, 1974.
34. _____, "Celestial orbs in the latin Middle Ages". In: *Isis*, 1987, v. 78, p. 153-173.
35. _____, *Late Medieval thought, Copernicus, and the Scientific Revolution*. *Journal for the History of Ideas*, v. 23, p. 197-220, 1962.
36. _____, *The foundations of modern science in the Middle Ages: their religious, institutional, and intellectual contexts*. Palatino: Cambridge University Press, 1996.
37. HUTCHISON, K., "Sunspots, Galileo and the orbit of the earth". In: *Isis*, 1990, v. 81, p. 68-74.
38. KANT, I., *Crítica da Razão Pura*. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1994.
39. KESTEN, H., *Copernicus and his world*. New York: Roy publishers, 1945.
40. KERZBERG, P., "La cosmologie de Copernic et les origines de la physique matématique". In: *Ver, Hist. Sci.*, 1981, v. 34/1, p. 3-23.
41. KOYRÉ, A., *Études sur l'histoire de la pensée scientifique*. Paris: Gallimard, 1973.
42. _____, *Études galiléennes*. Paris: Hermann, 1966.
43. _____, *From the close to the infinite universe*. Baltimore: John Hopkins, 1957.
44. _____, *La révolution astronomique*. Paris: Hermann, 1961.

45. _____, *Do mundo fechado ao universo infinito*. Trad. de D. M. Garschagen. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1986.
46. _____, *Estudos de história do pensamento científico*. Trad. de M. Ramalho. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1991.
47. _____, *Estudos Galilaicos*. Trad. de N. F. da Fonseca. Lisboa: Dom Quixote, 1986.
48. KUHN, T. S. *The Essential Tension*. Chicago: The University of Chicago Press, 1977.
49. _____, *The copernican revolution*. Cambridge: Massachussets, 1957.
50. _____, *A estrutura das revoluções científicas*. Trad. De B. V. Boeira e N. Boeira. São Paulo: Perspectiva, 1996.
51. LAUDAN, L., "Teorias do método científico de Platão a Mach". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 2000, s. 3, v. 10, n. 2.
52. LERNER, M. P., "Le problème de la matière céleste après 1550: aspects de la bataille des cieux fluides". In: *Rev. Hist. Sci.*, 1989, 42/3, p. 255-280.
53. LEVERE, T. & SHEA, W. (eds.), *Nature, experiments and the sciences: Essays on Galileo and the History of Science in Honour of Stillman Drake*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (Boston Studies in the Philosophy of Science, v. 120), 1990.
54. LOPARIC, Z., *Andreas Osiander: prefácio ao "De revolutionibus orbium coelestium" de Copérnico*. In: *Cadernos de história e filosofia da ciência I - 1980*. Campinas: CLE-UNICAMP.
55. LUCCHETA, G. A., "I commentaria e la trasformazione della cosmologia peripatetica: recenti pubblicazioni e nuovi problemi". In: *Arch. Int. Hist. Sci.*, v. 40, 1990, p. 197-219.

56. MARICONDA, P., "A contribuição filosófica de Galileu". In: CARNEIRO, F.L. (ed.), *350 anos dos "Discorsi intorno a due nuove scienze" de Galileu Galilei*. Rio de Janeiro: Marco Zero, 1989, p. 127-137.
57. _____, "Duhem e Galileu: uma reavaliação da leitura duhemiana de Galileu". In: EVORA, F. R. R. (ed.), *Século XIX: O nascimento da ciência contemporânea*. Campinas: CLE/UNICAMP, 1992, p. 123-160.
58. MCMULLIN, E. (ed.), *Galileo: Man of science*. Princeton: Scholar's Bookshelf, 1988.
59. MORAUX, P., La méthode d'Aristote dans l'étude du ciel. In *Symposium aristotelicum*, Louvain, 1960, v. 24/8.
60. NASCIMENTO, C. A. R., *Para ler Galileu Galilei*. São Paulo: Nova Stella, 1990.
61. _____, *De Tomás de Aquino a Galileu*. Coleção Trajetória 2. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1995.
62. NAMER, E., "L'intelligibilité mathématique et l'expérience chez Galilée". In: *Rev. Hist. Sci.*, 1964, v. 17, p. 368-384.
63. OSLER, M. J., "Galileo, motion, and essences". In: *Isis*, 1973, v. 64, p. 504-509.
64. PAGANI, S. M. & LUCIANI, A., *Os documentos do processo de Galileu Galilei*. Trad. de A. Angonese. Petrópolis: Vozes, 1994.
65. REDONDI, P., "I fondamenti metafisici della fisica di Galileo". In: *Nuncius*, 1997/2, v. 12, p. 267-289.
66. REEVES, E., *Painting the heavens: art and science in the age of Galileo*. Princeton: Princeton University Press, 1999.
67. ROSSI, P., "Imagini di Galileo". In: *Nuncius*, 1994, v. 9, p. 3-14.
68. _____, *A ciência e a filosofia dos modernos*. Trad. de A. Lorencini. São Paulo: Unesp, 1992.

69. SANTILLANA, G., "The role of art in the scientific renaissance". In: CLAGETT, M. (ed.), *Critical problems in the history of science*. Madison: University of Wisconsin Press, 1969, p. 33-65.
70. SANTOS, C. S. (ed.), *Galileo-Kepler: el mensaje y el mensajero sideral*. Madrid: Alianza, 1984.
71. SHEA, W. R., *Galileo's intellectual revolution*. New York: Neale Watson, 1977.
72. _____, "The revelations of the telescope". In: *Nuncius*, 1996, v. 11, p. 507-526.
73. _____, "Galileo, Scheiner, and the interpretation of the sunspots". In: *Isis*, 1970, v. 61, p. 498-519.
74. SMITH, A. M., "Galileo's proof for the earth's motion from the movement of the sunspots". In: *Isis*, 1985, v. 76, p. 543-551.
75. STABILE, G., "Linguaggio della natura e linguaggio della scrittura in Galileo - dalla istoria sulle macchie solari alle lettere copernicane". In: *Nuncius*, 1994, v. 9, p. 37-64.
76. THOMASON, N., "The power of ARCHED hypotheses: Feyerabend's Galileo as a closet rationalist". In: *Brit. J. Phil. Sci.*, 1994, v. 45, p. 255-264.
77. TOPPER, D., "Galileo, sunspots, and the motions of the earth". In: *Isis*, 1999, v. 90, p. 757-767.
78. VAN HELDEN, A. & WINKLER, M. G., "Representing the heavens - Galileo and visual astronomy". In: *Isis*, 1992, v. 83, p. 195-217.
79. VAN HELDEN, A., "Galileo and Scheiner on sunspots: a case study in the visual language of astronomy". In: *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 1996, v. 140, p. 358-396.
80. VAN HELDEN, A., "The Telescope in the Seventeenth Century". In: *Isis*, 1974, v. 65, p. 38-58.

81. VASCONCELOS, J. C. R., "Um teorema de inércia e o conceito de velocidade nos 'Discorsi' de Galileu". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1993, s. 3, v. 3(1/2), p. 67-83.
82. WESTFALL, R. S., "Science and patronage - Galileo and the telescope". In: *Isis*, 1985, v. 76, p. 11-30.
83. WESTFALL, R. S., "Galileo and the jesuits". In: WOOLHOUSE, R. S. (ed.), *Metaphysics and philosophy of science in the seventeenth and eighteenth centuries*. Dordrecht: Kluwer, 1988.
84. WILDBERG, C., *John Philoponus' Criticism of Aristotle's Theory of Aether*. Berlin, New York: De Gruyter, 1988.

