

A FÍSICA E A GEOMETRIZAÇÃO DO MUNDO: CONSTRUINDO UMA COSMOVISÃO CIENTÍFICA *

Francisco Caruso^{1,2} & Roberto Moreira Xavier de Araújo¹

¹ Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 – 22290-180, Urca, Rio de Janeiro, RJ

² Instituto de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier, 524 – 20559-900, Rio de Janeiro, RJ

1. Gênese: Escrita e Geometria

Neste ensaio, procuramos destacar as etapas fundamentais do processo de construção do que podemos chamar de uma *cosmovisão científica*, mostrando, através de exemplos significativos da História da Física, as bases sobre as quais esta cosmovisão se constrói, evolui e determina as formas de relação do Homem com a Natureza (*Physis*), além de enfatizar seu impacto transformador sobre o próprio Homem.

No amplo processo de desenvolvimento da *cosmovisão científica*, a primeira fase a ser destacada corresponde à origem e ao florescimento da filosofia grega. É importante compreender que esse momento histórico assinala uma drástica mudança de atitude do Homem com relação à Natureza, de grande importância para o pensamento ocidental, que se refletirá mais tarde, de forma marcante, na Física moderna e contemporânea. É nesse período riquíssimo, de quase dois séculos, que tem início e se concretiza uma ruptura com a concepção mito-poética da Natureza até então predominante. Afirmam-se dois traços que marcarão a trajetória cultural do Ocidente. Por um lado, a idéia de simplicidade manifestada desde o momento em que Tales funda a *Escola de Mileto* e procura o entendimento da Natureza a partir de um único princípio, a água. Por outro lado, a busca de uma visão da *Physis* baseada em relações causais, estabelecidas a partir da razão, cujo expoente máximo foi Aristóteles. O ideal de simplicidade na descrição dos fenômenos físicos permeia, *mutatis mutandis*, grandes sistemas teóricos, clássicos ou contemporâneos, como, por exemplo, o de Aristóteles e o de Einstein.

Outra contribuição marcante do período pré-socrático advém da *Escola Pitagórica*. Segundo Aristóteles, para os adeptos desta Escola “os números pareciam ser as primeiras coisas no total da natureza, [e eles] supuseram que os elementos dos números eram os elementos de todas as coisas, e que todo o céu era um acorde e um número”¹. A taxativa realidade atribuída aos números pelos pitagóricos é, em primeiro lugar, reflexo da importância dada à Matemática, como instrumento de racionalização

* Baseado na palestra apresentada por F. Caruso, no Seminário “Sustentabilidade Cultural”, organizado pelo Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFAL, ocorrido nos dias 10 e 11 de agosto de 1998 em Maceió, Alagoas. Agradecemos ao Prof. Jenner Barreto Bastos Filho pelo cordial convite e por seu estímulo para que escrevêssemos este artigo.

da multiplicidade encontrada na Natureza. Essa realidade expressa também a convicção de que “*o número é o princípio, tanto como matéria das coisas como formador das suas modificações e dos seus estados permanentes*”². Portanto, as coisas, os processos e as transformações têm por *princípio* os *números* — que fique claro que o conceito de número nesse contexto limita-se ao conceito de número racional.

Consideremos, então, o (aparentemente inofensivo) triângulo retângulo isósceles cujos catetos medem uma unidade de comprimento. Todos sabemos hoje que sua hipotenusa vale $\sqrt{2}$. Ora, acontece que este não é um número racional. Se admitimos, como os pitagóricos, que *todas* as coisas são iguais aos números (racionais), surge então um dos problemas mais importantes da história da filosofia: a questão dos incomensuráveis. Existe um objeto (a hipotenusa desse triângulo) que não tem um número (racional) como essência. A solução deste problema foi estabelecida por Platão e terá uma enorme influência no processo de desenvolvimento científico. Ao mudar a base do sistema explicativo, não mais importa que a diagonal do quadrado de lado unitário não seja um número racional, porque a essência das coisas deixa de ser *os números* e passa a ser as *formas geométricas*. Tem origem, com a filosofia de Platão, a *primeira geometrização da Física*.

Outro aspecto da obra de Platão, muito importante para a formação de uma cosmovisão científica, é, sem dúvida, a valorização da escrita alfabética, que marca a ruptura com a visão mito-poética do Homem e da Natureza, acima citada, centrada na *enciclopédia* de Homero.³ De fato, o programa platônico de valorizar a ciência (episthémé) e de combater a opinião (dóxa)⁴ levou, *simultaneamente*, à sedimentação do pensamento geométrico (o mundo das formas) e à crítica severa da cultura oral, representada pelos sofistas e pelos poetas. Segundo Eric Havelock, a maior distinção entre o discurso oral e o escrito pode ser expressa pela característica *conceitual* do segundo:

“*A palavra iliterata favoreceu o discurso descritivo da ação: a pós-literata mudou o equilíbrio em favor da reflexão. A sintaxe do grego começou a adaptar-se a uma possibilidade crescente de enunciar preposições, ao invés de descrever acontecimentos. Este foi o traço fundamental da herança do alfabeto às culturas pós-alfabéticas.*”⁵

Em última análise, foi dessa característica essencial da escrita que Platão se apropriou para marcar o início da *valorização da geometria* e, a seguir, Aristóteles para marcar o início da *formalização da lógica*: ambos processos contribuíram à *universalização das letras* e ao estabelecimento de uma nova *Weltanschauung*, que se opõe ao domínio do que Havelock chamou de *estado mental oral*, principal obstáculo ao racionalismo científico, ao uso da análise, à classificação da experiência, à sua sistematização em novas seqüências de causa e efeito.

Por volta do final do séc. V a.C. há, portanto, uma forte tendência à exaltação da *racionalidade* como critério de busca da Verdade, na qual a Matemática e a Lógica desempenharam um papel muito importante. O *estado mental oral*, sintetizado pelo mundo da oralidade, pelo mundo de Homero, dá lugar a um novo *estado mental escrito-filosófico*, o mundo de Platão e de Aristóteles. O acúmulo de textos escritos modifica os termos em que se coloca o problema de temporalidade: o leitor passa a poder “dialogar” com intelectuais de outras épocas. Este fato notável, propiciado pela difusão do *volumen*, abriu novas perspectivas e mudou o próprio modo de ensino da Filosofia.

Em nossa opinião, a esse fértil período da cultura ocidental podemos nos referir com as mesmas palavras que Koyré usa para caracterizar a Revolução Científica do séc. XVII, a saber: o novo modo de conceber e explicar o cosmo implica em e necessita de uma reformulação de noções fundamentais, como as de espaço, de saber e de ser.⁶ Inegavelmente, a nova cosmovisão que se formava neste período não era um fato isolado, mas se enraizava na sociedade e na cultura helênicas.

Segundo J.-P.Vernant, pode-se estabelecer uma relação entre o surgimento da democracia grega e a geometrização da Natureza⁷. O exercício da democracia parte da igualdade de oportunidade e baliza-se no princípio do convencimento, na força da argumentação lógica. Torna-se necessário, portanto, ir além da retórica sofista. A busca de uma lógica irrefutável, de uma argumentação perfeita, de uma nova sintaxe, presentes na construção da Geometria, passa a ser considerada importante para o fortalecimento das relações sociais. Além disto, a praça, onde as pessoas vão defender suas idéias políticas, a *ágora*, é um espaço geométrico público, essencialmente euclideano, onde não há um lugar eternamente privilegiado, ao contrário do espaço dos palácios que é hierarquizado, onde o poder está associado ao trono. Quem o ocupa não o faz por ter o poder de convencimento pela palavra, como quem fala na *ágora*, mas por uma qualidade que lhe é atribuída *a priori*.

Também a Medicina vai ser afetada por essa tendência racionalista, com Hipócrates. Podemos citar como exemplo a transformação do conceito de loucura na antigüidade clássica. A loucura, como desrazão, ou delírio, descrita na poesia grega, era concebida por Homero e por Hesíodo invariavelmente como resultado da intervenção divina na vida do homem. São os deuses que roubam ou confundem a razão dos homens e os enloquecem. Hipócrates vai recusar qualquer tipo de explicação mitológica da vida e dos estados do homem, incluídas as doenças corporais e mentais, como ressalta Isaías Pessotti.⁸ A loucura passa a ser considerada uma mera consequência de disfunções humorais; *é através da razão que se deve explicar a desrazão*.

2. O Mundo Cristão: O Livro

Ao elogio à razão humana em uma sociedade democrática, irá se contrapor uma nova ordem em uma sociedade teocêntrica, construída a partir do primeiro século da era cristã. Uma nova *Weltanschauung* nasce, de fato, com o cristianismo, a qual dá lugar a um genérico *estado mental religioso*, que transcende ao culto, à vida moral e à espiritualidade e será a forma dominante de pensamento no Ocidente por muitos séculos. Esta nova cosmovisão permeia a Filosofia, a Ciência e a Metafísica e muda o modo de se conceber o tempo e o espaço⁹, com reflexos na estrutura de organização do pensamento e, em particular, no modo de pensar a técnica.¹⁰ Somente no final da Idade Média é que o estado mental religioso começa a se esvaecer e a dar origem a um novo estado mental que irá preparar a estrada para o Renascimento e para a Revolução Científica.¹¹ No *Medioevo*, a Escritura e a Natureza provêm do Verbo de Deus e espaço e tempo se identificam com Deus.¹² O *Livro* torna-se a metáfora por excelência da *Weltanschauung* cristã. Dante Alighieri, por exemplo, na Divina Comédia (Paradiso, XXXIII, 82-90), com a graça de Deus e a força do amor, pode, através do Grande Livro do Universo, perceber a ordem da essência divina:

*“Oh abbondante grazia ond’io presunsi
ficcar lo viso per la luce eterna,*

*tanto che la veduta vi consunsi!
 Nel suo profondo vidi che s'interna
 legato com amore in un volume
 ciò che per l'universo si squaderna:
 sustanze e accidienti a lor costume,
 quasi conflati insieme, per tal modo
 che ciò ch'io dico è un semplice lume.”¹³*

A metáfora do Livro se encontra também em Galileo Galilei, com a diferença que ele enfatiza o papel da Matemática como instrumento indispensável da busca da Verdade à qual a Ciência se dedica. Em suas palavras:

“o grandíssimo livro [da natureza] está escrito em língua matemática e os caracteres são os triângulos, círculos e outras figuras geométricas (...) sem as quais se estará vagueando em vão por um obscuro labirinto.”¹⁴

A Geometria é, portanto, parte essencial da linguagem do Livro da Natureza; mas antes de discutir as raízes da tendência de geometrizar a Física a partir de meados do séc. XVI, cabe ressaltar outro aspecto fundamental do método científico galileano: o valor epistemológico atribuído à experimentação. Experimentar – e não contemplar – como caminho da Verdade, é uma das marcas que antecipariam o fim do *Medioevo*. Já Leonardo da Vinci, outro ilustre homem de ciência, via o ato de experimentar como um instrumento de honestidade intelectual. A seguinte passagem ilustra muito bem a relevância ética e epistemológica da face empírica de um novo espírito científico, que tomou forma em Galileo:

“meu propósito é resolver um problema [científico] em conformidade com a experiência (...) e devemos consultar a experiência em uma certa variedade de casos e circunstâncias, até podermos extrair deles uma regra geral que esteja contida nos mesmos (...) Elas nos conduzem a ulteriores investigações da natureza e a criações da arte. Impede-nos de iludirmos a nós mesmos, ou a outros, ao acenarmos com resultados que não possam ser obtidos.”¹⁵

Ao combinar, de forma indissolúvel, o conhecimento empírico com a Matemática, Galileo faz a grande síntese que vai originar o que se convencionou chamar de o *método científico moderno*. Além deste novo método, uma transformação intelectual – o desenvolvimento de uma *nova cosmovisão* – concorreu para desencadear a Revolução Científica dos sécs. XVI e XVII, a qual representou, em última instância, a convergência das tradições artesanal e erudita que coexistiram no final da Idade Média. Limitemo-nos a citar um exemplo dessa transformação.

A concepção científica empírica de Leonardo da Vinci fez com que ele estudasse a anatomia do corpo humano através de dissecações de cadáveres. Esta prática, conhecida dos antigos médicos romanos, como Galeno, por exemplo, foi considerada profana pelo cristianismo e, por conseguinte, abandonada durante a Idade Média. Nessa tendência empirista, que extrapola em muito os limites da Medicina, em linhas gerais, a *contemplação* passa a ser substituída pela *observação*. Veremos a seguir que, no final da Idade Média, o desenvolvimento das técnicas artesanais e da Alquimia tem forte relação com a prática, com o desejo de transformar a Natureza.

3. O Mundo Cristão: As Técnicas

A partir do século V d.C. teve início o que muitos historiadores chamam de “Idade das Trevas”; período compreendido mais ou menos entre a queda de Roma, em 455, e o ano 1000. Durante este período da Idade Média a Filosofia da Natureza é praticamente abandonada. O *olhar* do homem volta-se para questões espirituais, volta-se para Deus. Difunde-se, no mundo cristão, a crença de que o corpo é uma fonte de pecado e o homem deve preocupar-se em salvar sua alma. Neste contexto, o cristianismo parece ter introduzido na Medicina uma nova componente: a caridade. Formou-se, assim, uma medicina religiosa cristã, onde as orações e as unções com santos óleos eram remédios indispensáveis.

Paralelamente a esse acentuado declínio do interesse pela Filosofia da Natureza desenvolve-se um número expressivo de inovações técnicas, as quais vão constituir a base de um modo de vida materialmente superior ao da antigüidade clássica, a partir do séc. IX. Tais inovações contribuíram para transformar a sociedade e, mais tarde, a própria Ciência¹⁶ e a Cultura.

O arado pesado vem substituir o arado leve, cujo emprego persistiu da idade do bronze até o início do séc. IX. Dadas as suas características – dentre as quais a de não possuir rodas – o arado leve servia apenas para o cultivo dos solos leves e secos da região do Mediterrâneo, onde era praticado o sistema bienal de colheita, seguido por um ano de pousio. Exigia grande esforço do lavrador e apenas arranhava a terra com sulcos irregulares e de pequena profundidade. Desta forma era absolutamente ineficaz para o cultivo das terras férteis e úmidas do Norte da Europa, onde o arado pesado encontrou as condições ideais de emprego. Este novo arado permitiu o desenvolvimento de novas técnicas de plantio e colheita, implicando um sistema de produção bastante mais eficiente do que o do Sul, e trouxe também a necessidade de união entre os lavradores de cada aldeia, dado o esforço considerável que ele exigia. Com a invenção de novos tipos de arado, a tração bovina foi substituída pela eqüina, cuja eficiência passou a ser muito maior, economizando tempo e trabalho.

Outros inventos importantes neste período foram a *roda hidráulica* e, posteriormente, os moinhos de vento, utilizados na moagem de cereais, difundidos por grande área da Europa. Essas invenções vão contribuir para resolver o problema da fome e delas resultam a liberação de uma significativa parcela do tempo de trabalho físico rude, imposto ao homem desde a antigüidade, e um excedente de alimentos como jamais visto até então. A partir daí há o desenvolvimento das cidades e do comércio, gerando o acúmulo de riquezas necessário aos notáveis empreendimentos dos sécs. XI, XII e XIII, a saber: as Cruzadas, viabilizadas pelo estribo, as construções das Catedrais e a fundação das Universidades. Além disto, há uma mudança dos centros de influência e riqueza na Europa, do Sul para o Norte, de onde nunca mais saíram.

As Cruzadas desempenharam uma importante papel como instrumento do encontro de culturas distintas. A Cruzada ocidental contra os mulçumanos da Espanha contribuiu para a difusão dos trabalhos científicos gregos, traduzidos a partir das versões árabes, só para citar um exemplo. Não podemos negar, portanto, que as Cruzadas tiveram um papel globalizante, no sentido moderno do termo.

Por outro lado, a Universidade surgiu, no séc. XI, a partir de associações entre mestres e estudantes. No séc. XIII, existiam três tipos de universidades: as ligadas à Igreja, como Paris, Oxford e Cambridge; as cidadinas, como as de Bolonha e Pádua; e aquelas estaduais formadas por monarcas, como as de Nápoles ou Salamanca.¹⁷

Começava a haver, portanto, uma retomada da tradição erudita na Europa, com as traduções e as universidades, a que se aliou o despertar da pesquisa experimental, para a qual os franciscanos muito contribuíram, em particular, Roger Bacon, de Oxford.

Este despertar da prática experimental tem sua origem na Alquimia, que manteve acesa a chama do ideal de transformação da Natureza. O próprio Bacon e, séculos mais tarde, o grande Newton vão se dedicar à Alquimia. Segundo Bacon, o conhecimento alquímico é um dos requisitos fundamentais do sábio, ao lado da prática da Medicina, do conhecimento de todas as coisas do Céu e abaixo dele.

Anunciam-se assim, a partir do séc. XII, no interior de uma cultura teocêntrica, certas tendências que frutificariam no Renascimento. Por um lado, a teologia franciscana, quase panteísta, aproxima o natural do divino. Tem início uma nova forma de leitura do Livro da Natureza, percebida por Dante, como vimos, e deliberadamente formalizada por Galileo, *more geometrico*, *i.e.*, despida de motivações religiosas. Por outro lado, a arte deste período também sinaliza neste sentido. Ao pintar o Céu de azul, ao invés do tradicional dourado, Giotto o incorpora na Natureza. O Céu perde, portanto, seu caráter sagrado, de casa de Deus. Deixa de ser objeto de adoração e pode ser objeto de estudos empíricos. Uma cultura que pinta o Céu de dourado é incapaz de produzir a Revolução Copernicana.

Esse pequeno mosaico de um período tão vasto, como é a Idade Média, ressalta que foram necessários muitos séculos para uma mudança de atitude do homem para com a Natureza e para com ele mesmo, para se chegar ao Renascimento e às portas da Revolução Científica dos sécs. XVI e XVII, que cristaliza a cosmovisão geométrica da Física, como veremos.

4. O Renascimento: *Homo et Natura*

Paralelamente à invenção da imprensa, lá pela metade do séc. XV, surge uma tendência de geometrizar a pintura, evidente na obra de tantos pintores renascentistas como Masaccio, Piero della Francesca, Antonio Pollaiuolo, Raffaello, Perugino e tantos outros, marcada pela perspectiva. (cf. as figuras 1-3).

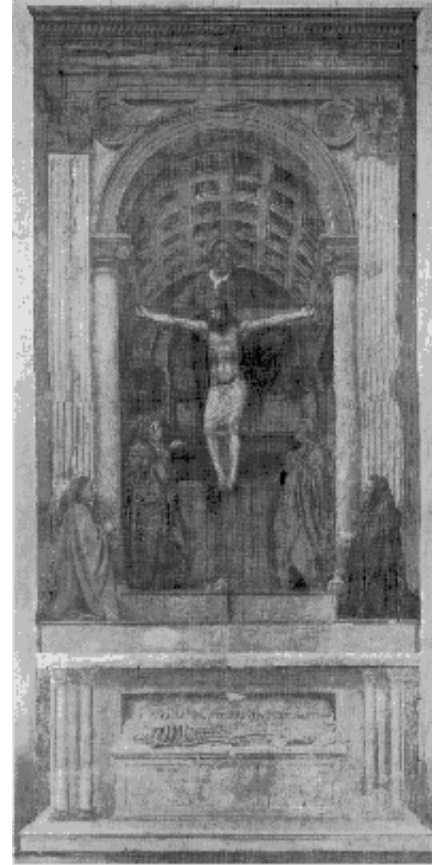


Fig. 1 “Trinità”, Masaccio, 1425.
Santa Maria Novella, Florença.



Fig. 2 – “Cidade Ideal”, Anônimo, final do séc. XV. Staatliche Gemaldegalerie, Berlim.

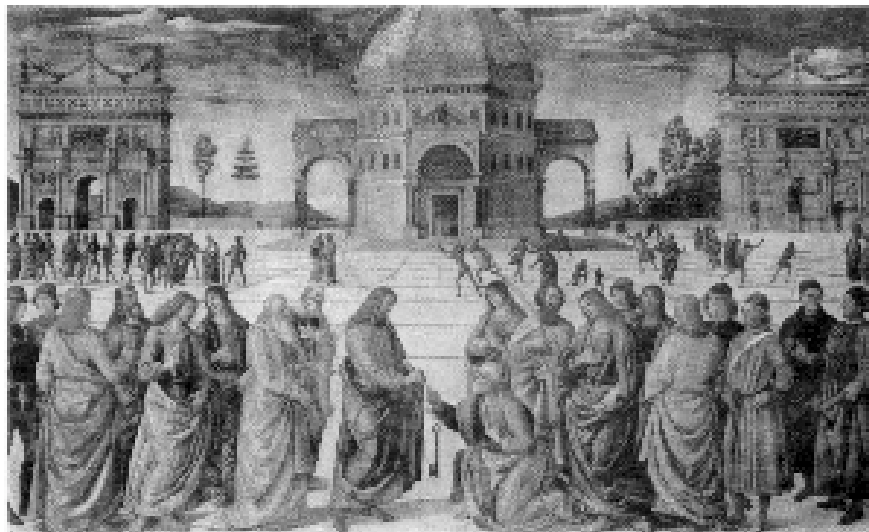


Fig. 3 – “Cristo dando as chaves da Igreja a São Pedro”, Perugino, ≈ 1482. Capela Sistina, Vaticano.

Estamos vendo na Arte o reflexo de uma nova tendência de representar o mundo no espaço pictórico, onde a tela não é mais apenas um suporte de uma arte simbólica bidimensional, mas algo que pode dar vida e significado ao espaço empírico, ao espaço perceptivo tridimensional. Esta nova *concepção artística* do Renascimento espelha um forma diferente de o Homem se relacionar com a Natureza e antecipa a ruptura com a *cosmovisão religiosa*, ainda dominante no final do *Medioevo*; essa tendência não deve ser entendida como um fato cultural isolado. Na verdade, a mudança de concepção artística do mundo é um presságio do que se pode chamar de *a segunda geometrização da Física*.

Uma das ciências que muito contribuíram para essa segunda geometrização foi a Astronomia. A partir do século XV, a astronomia observacional ganha novo impulso, à medida que se relaciona com as navegações e com a reforma do calendário juliano, já muito defasado do solar. Em 1543, cerca de 100 anos após a introdução da perspectiva na pintura do renascimento italiano, Copérnico publica sua obra maior intitulada “*Sobre a Revolução dos Orbes Celestes*”, expondo seu sistema do Universo. Já na folha de rosto de sua primeira edição (Fig. 4), o autor manifesta sua convicção de quanto suas idéias dependem da geometria, escrevendo uma frase muito semelhante àquela que Platão escreveu na porta de sua Academia, como destacamos na reprodução abaixo da tradução inglesa do livro supracitado: “*Que não entre aqui ninguém que não seja treinado em geometria*”.

Seu sistema é fundamentado na Geometria de Platão e na Filosofia de Pitágoras. Os dados observacionais são ainda, para Copérnico, meras aparências a serem salvas. De acordo com ele, uma suposição em desacordo com as observações não possuía defeito mais grave do que o de se afastar dos axiomas de Pitágoras.

O sistema heliocêntrico de Copérnico, ao se contrapor ao sistema geocêntrico, aceito por Aristóteles, introduz na Física de sua época um enorme problema. Passa a haver uma inconsistência entre a Física (aristotélica) utilizada para descrever os fenômenos sublunares e a Astronomia usada para explicar os fenômenos celestes. Esta contradição só será resolvida por Newton, como veremos mais adiante.

Claro está que a Revolução Copernicana acena com uma mudança epistemológica, mas também acena com uma mudança sociológica, uma vez que o Homem deixa de estar no centro do Mundo, quando a Terra é substituída pelo Sol no centro do Universo.

Mais tarde, Kepler, calcado nas observações de Tycho Brahe, descobriu as leis do movimento da Terra ao redor do Sol. Kepler chegou a imaginar que existiriam anjos a guiar os planetas em suas órbitas, mas também considerou a possibilidade de haver apenas uma ação do Sol sobre os planetas. Para ele, a harmonia do Universo tinha a ver com a Santíssima Trindade que, inclusive, justificava a tridimensionalidade do espaço. O sistema de Kepler era essencialmente platônico, calcado nos cinco poliedros regulares e em esferas, como fica claro da leitura do pródromo da edição de 1596 de seu livro, cujo fac-símile está reproduzido abaixo. Nele se lê: “*Pródromo das dissertações cosmográficas, contendo o mistério cosmográfico sobre as maravilhosas proporções das esferas celestes e sobre as razões próprias e genuínas do número, da grandeza e dos movimentos periódicos dos céus, mistério demonstrado mediante os cinco sólidos regulares da Geometria por J. Kepler*”.

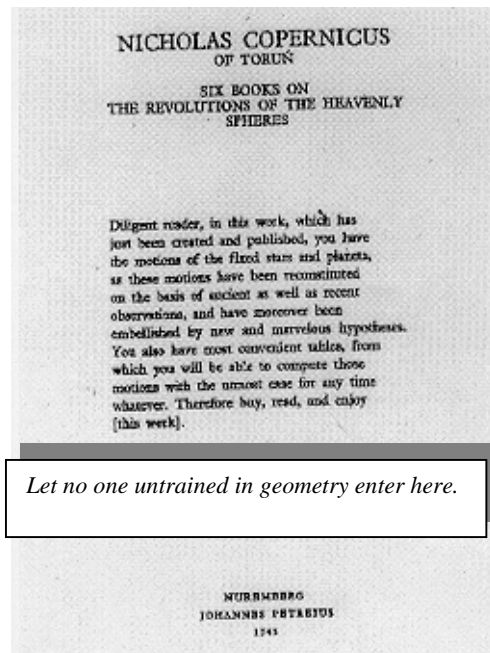


Fig. 4 – Frontespício do livro de Copérnico “*Sobre a Revolução dos Orbes Celestes*”, publicado em 1543.

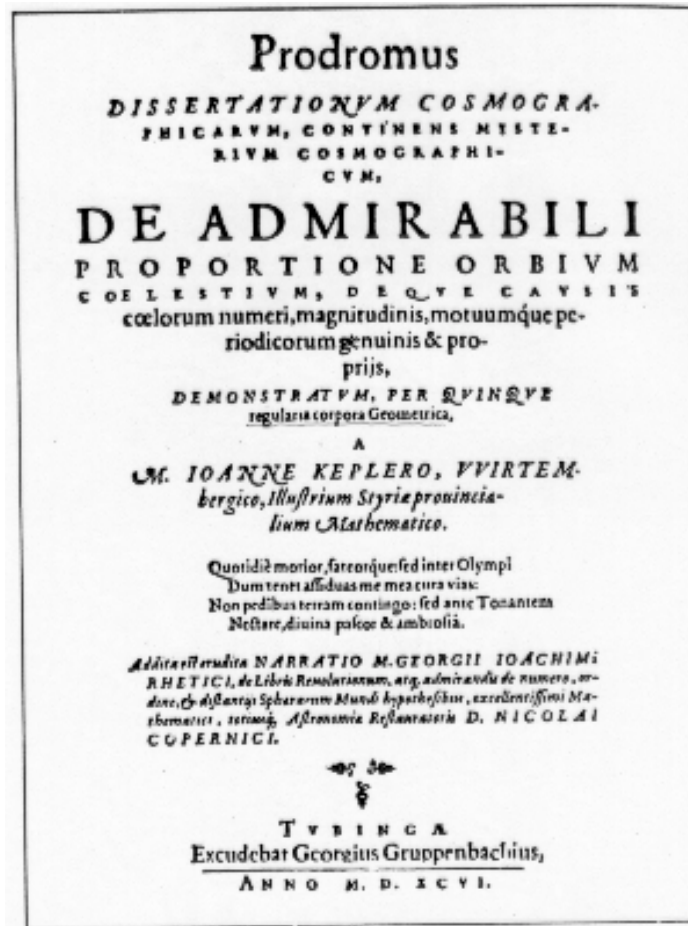


Fig. 5 – Pródromo da edição de 1596 de uma importante obra de Kepler.

Na obra de Kepler se vê com muito mais nitidez do que em Copérnico a combinação do método experimental e da matemática. O esquema geométrico rígido de seu modelo cosmológico está reproduzido na figura abaixo.

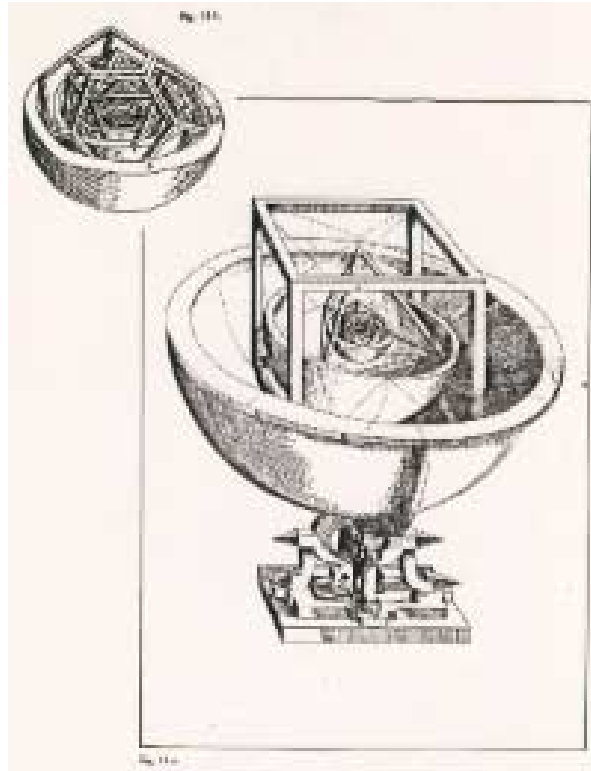


Fig. 6 – Esquema do modelo cosmológico geométrico de Kepler.

Outro grande elogio à Geometria é feito por Descartes, fundador da Geometria Analítica. Sua extrema concepção geométrica do Mundo abarca toda a matéria, reduzindo-a à extensão: esta, e não a massa, é para ele a propriedade fundamental da matéria. Entretanto, a cosmovisão geométrica cartesiana não foi capaz de gerar uma teoria quantitativa da Física. Coube a Newton resolver este problema e iniciar uma nova fase da Cultura.

5. O Relógio e o Relojoeiro

As descobertas de Galileu sobre Astronomia também contribuíram para a afirmação do sistema copernicano. No seu famoso *Diálogo*, publicado treze anos depois da divulgação da terceira e última lei de Kepler, ele discute os sistemas ptolomaico e copernicano, mas ignora a contribuição fenomenológica de Ticho Brahe e de Kepler. A explicação dinâmica para as leis de Kepler só virá mais tarde com Newton. Mais do que isso, Newton vai mostrar que uma maçã na superfície da Terra cai pelo mesmo motivo que um planeta em órbita em torno do Sol. Ele unifica, assim, novamente, a Física dos fenômenos terrestres e celestes, resolvendo assim na sua essência a crise na Ciência introduzida pela Revolução Copernicana. É um passo gigantesco, restaurador da credibilidade da Ciência e essencial para o surgimento do Iluminismo.

O objetivo básico da Física, para Newton, expresso nos *Principia*, é a procura das *leis do movimento* e não da essência dos *corpos*, identificados com supostas *formas geométricas*. Apesar disso, uma visão geométrica do mundo está implícita na primeira

lei de Newton (a lei da inércia), lei esta absolutamente contra-factual, capaz de valer apenas em um mundo geométrico dotado de uma única partícula; caso contrário, qualquer outra partícula exerceria uma força gravitacional sobre a massa da partícula de prova e o movimento não seria mais inercial.

Numa linguagem mais moderna, Newton está preocupado com a *forma da interação* pela qual matéria atrai matéria e não exatamente com sua composição; este é o tema central abordado nos seus *Principia*. Newton aceita o atomismo, sem questionar a origem ou a composição do átomo, como podemos aprender do seu livro *Opticks*.

Afirma-se, a partir do programa newtoniano, a *cosmovisão mecanicista*, cuja metáfora usual é considerar o Universo como um grande relógio. Esquemáticamente, podemos dizer que este programa, originado em Descartes, ganha corpo em Newton, é formalizado por Euler, e culmina em Laplace, como se pode ver da seguinte citação do início do séc. XIX:

*“Nós devemos considerar o estado presente do Universo como efeito de seu estado anterior, e causa do que se deve seguir. Uma Inteligência que, por um dado instante, conhecesse todas as forças de que a natureza é animada e a situação respectiva dos seres que a compõem, se fosse suficientemente vasta para submeter esses dados ao cálculo, abraçaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e os do átomo mais leve: nada seria incerto para ela e o futuro, como o passado, estaria presente aos seus olhos.”*¹⁸

É o predomínio absoluto do determinismo mecanicista, baseado no conceito de *força*, na *causa efficiens*. A obra de Newton teve, indiscutivelmente, um enorme impacto na Ciência, no Homem e na Sociedade, ao constituir o solo cultural no qual proliferaram as máquinas, indispensáveis à Revolução Industrial, cuja relevância dispensa comentários. Paralelamente, na segunda metade do Séc. XIX, a Teoria Cinética dos Gases consegue mostrar que as propriedades físicas dos gases são explicadas supondo-se que os gases sejam formados de um número imenso de átomos e moléculas em movimento. Avogadro, que introduziu o conceito de molécula, admite, por hipótese, que dois volumes iguais de dois gases quaisquer contenham o mesmo número de moléculas, desde que a temperatura e a pressão sejam as mesmas. As conseqüências práticas dessas idéias foram imensas, e o impacto dos novos conhecimentos de Termodinâmica e da Teoria Cinética dos Gases no desenvolvimento da Física foi também espetacular.

6. O Calor e o Eletromagnetismo: Sai de cena o Relojoeiro

Do ponto de vista do sistema explicativo causal da Física, a hegemonia da *causa efficiens* newtoniana começa a ser abalada a partir do estudo da propagação do calor feito por Fourier.¹⁹ Este fenômeno passa a ser descrito por uma equação diferencial parcial, *causa formalis* do fenômeno. O conceito de força perde gradativamente seu lugar de destaque na Física, principalmente com o advento da Teoria Eletromagnética de Maxwell, com toda sua força unificadora, e, mais tarde, com a Mecânica Quântica. Na Física do séc. XX este papel central do conceito de força vai ser usurpado pelo conceito e por argumentos de *simetria*.

Naturalmente, deixamos de comentar os progressos que houve a partir do séc. XVII em diversas áreas, tais como: Eletricidade, Magnetismo, Química, Medicina,

Biologia, dentre outras, não por negar sua importância, mas para não alongar demais esse texto. Em resumo, podemos dizer que, do ponto de vista da História da Física, a síntese newtoniana caracteriza o final do séc. XVI e o séc. XVII, enquanto a unificação maxwelliana foi a expressão maior do séc. XIX. Thomas Kuhn chama as ciências envolvidas na Revolução Científica do séc. XVII – a Mecânica, a Astronomia e a Óptica Geométrica – de ciências clássicas, caracterizadas pelo uso intensivo da Geometria. Por outro lado, as ciências diretamente ligadas à estrutura e à transformação da matéria, tais como Química, Biologia, Geologia, Termodinâmica *etc.*, desenvolveram-se fenomenologicamente no séc. XIX, inicialmente distantes do paradigma geométrico.

Com vistas ao séc. XX, vale a pena mencionar o impacto transformador da grande síntese feita por Maxwell, onde a Óptica, a Eletricidade e o Magnetismo são unificados em sua teoria eletromagnética, sem a qual não haveria telefone, rádio, televisão, computador, satélite *etc.* Notem que enquanto o desenvolvimento da técnica medieval pôde anteceder à formalização da teoria mecanicista de Newton, uma parte expressiva da tecnologia desenvolvida no séc. XX só foi possível graças à formalização efetuada por Maxwell – que previa a existência das ondas eletromagnéticas, observadas na virada do século por Hertz – e, numa segunda fase, aos novos conceitos da Mecânica Quântica.

Em 1897, J.J. Thomson descobriu o elétron abrindo um novo horizonte para a compreensão do átomo. Apesar disto, havia, no final do séc. XIX, um clima de grande esperança na Física Clássica. Lord Kelvin, por exemplo, acreditava que no céu azul da Física Clássica existiam apenas duas nuvens a serem dirimidas²⁰, que eram as seguintes: (i) o fato das equações de Maxwell não serem invariantes sob o grupo das transformações de Galileu – válidas para a Mecânica – e a falta de clareza com respeito ao conceito de éter; (ii) a existência de uma grande discrepância entre o espectro observado de emissão de radiação de um corpo negro e aquele previsto pela Física Clássica, além da não compreensão de porque os espectros de emissão dos átomos eram espectros de raias e não de bandas. Este exemplo é muito instrutivo pela combinação original de pretensão e de perspicácia. Estas duas “pequenas nuvens” de Lord Kelvin deram origem, nada mais nada menos, a um processo de revisão dos conceitos e limites da Física Clássica, que resultaram na *Teoria da Relatividade* e na *Mecânica Quântica*, no início do séc. XX.

A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, construída tendo por base a estrutura do eletromagnetismo de Maxwell, provocou uma enorme transformação de dois conceitos basilares da Física: o de *espaço* e o de *tempo*. Surge o *espaço-tempo* quadridimensional. A partir das idéias da Relatividade Restrita, Einstein desenvolveu seu projeto de geometrizar a Gravitação. A viabilidade deste projeto em muito dependeu do desenvolvimento das chamadas geometrias não-euclidianas, ocorrido no séc. XIX, para o qual deram contribuições fundamentais Gauss, Lobachevskij, Bolyai, Riemann, dentre outros. A descoberta de novas geometrias teve um notável efeito²¹, principalmente sobre o conceito de espaço na Física²² e na Arte²³.

Paralelamente a esse desenvolvimento das geometrias não-euclidianas, se alastrou o debate sobre o problema do sujeito, a partir do conceito kantiano de *eu transcendental*, um sujeito epistemológico, capaz de conhecer. O problema do sujeito, por sua vez, nos remete ao problema do observador, ponto central na Relatividade. Sai de cena o observador privilegiado de Newton e, conseqüentemente, o espaço e o tempo absolutos que, segundo Newton, são conceitos que se pode apoiar e fundamentar em Deus. Portanto, este é o momento em que a identificação entre espaço e Deus é perdida. Neste sentido, a queda do sistema newtoniano, da *cosmovisão mecanicista*, é um reflexo do *désenchantement du monde*, da morte de Deus.

7. A dissipação das nuvens de Lord Kelvin: o espaço-tempo e o homem

No início do século, dissipa-se uma das nuvens de Lord Kelvin com a Teoria da Relatividade e a afirmação do conceito de espaço-tempo. Em paralelo, na pintura, o espaço absoluto da perspectiva renascentista é abandonado, fragmentado e rearticulado com o tempo, no Cubismo (Figs. 7 e 8).

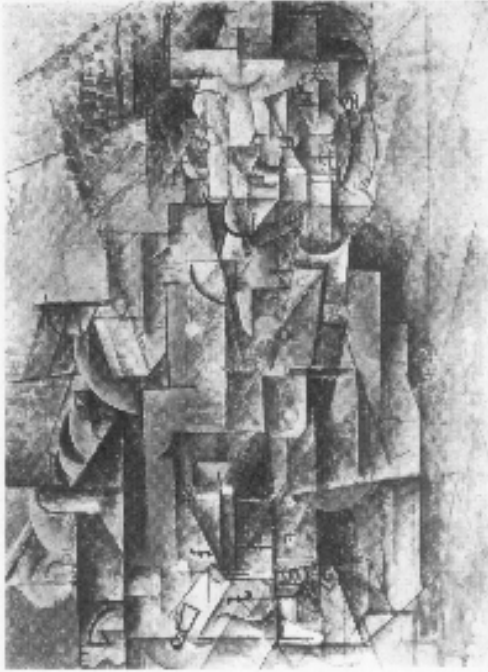


Fig. 7 – “O Homem com Violino”, Picasso, 1911-12. Philadelphia Museum of Art.
O espaço fragmentado.



Fig. 8 – “Nú descendo a escada No. I”, Marcel Duchamp, 1911-12. Philadelphia Museum of Art.
O espaço-tempo na Pintura.

Os adeptos deste movimento vão contribuir para um processo de codificação do mundo a partir de formas geométricas, o qual se contrapõe à pintura figurativa ou imitativa. Foi Mondrian que levou este ideal geométrico cubista às últimas conseqüências, pregando um afastamento do artista em relação à Natureza. Arte e Ciência se reencontram: físicos e pintores destróem a concepção clássica de espaço. Em outras palavras, Mondrian estava convencido de que cabe ao artista buscar nas formas instáveis da Natureza aquelas que são puras e permanentes: as *formas geométricas*. Um exemplo notável dessa sua determinação nos é dado em sua notável “composição com duas linhas” (Fig. 9). Não é essa afinal a essência do programa filosófico de Einstein?

Ao criarem novas imagens do Mundo, os papéis e as limitações dos físicos e dos artistas tornam-se embricados. O espaço euclideano da perspectiva clássica e da mecânica newtoniana é abandonado. Inicia-se uma nova *Weltanschauung*, fortemente marcada pela Geometria não-euclideana e pela utilização de espaços abstratos, que será prevalente ao longo do século. Esse é o período da *terceira geometrização da Física*.

Embora de forma menos marcante, a Mecânica Quântica incorpora idéias geométricas novas, na medida em que sua estrutura depende,

além do espaço-tempo quadridimensional, dos espaços de Hilbert de dimensões infinitas. Entretanto, o que vai caracterizar o impacto da Mecânica Quântica sobre a cultura do século XX não reside nesta estrutura formal, mas sim no fato de que a sua interpretação mais aceita (Escola de Copenhagen) questiona o chamado *conhecimento objetivo* e põe em xeque o *determinismo mecanicista*. A Mecânica Quântica faz parte de um movimento cultural que atribui ao sujeito um novo papel e que engloba a psicanálise, o surrealismo *etc.* Do ponto de vista sociológico este movimento tem sido relacionado também à crise da República de Weimar e ao surgimento dos regimes totalitários na Europa. No que diz respeito ao problema abordado nesse trabalho, deve-se enfatizar que a dissipação da segunda nuvem de Lord Kelvin reacendeu o debate sobre o determinismo e o papel do observador, que o programa cartesiano havia, num certo sentido, colocado entre parênteses. A crise da Ciência passa a ser também a crise do Homem.

É este Homem em crise que enfrenta o desafio de descrever de forma unificada a Física do microcosmo e do macrocosmo, ou seja, conciliar as visões atomística e cosmológica.

No que concerne ao macrocosmo, destaca-se o programa einsteiniano de geometrizar a Gravitação. Com a Teoria da Relatividade Geral estabelecem-se, pela primeira vez, as bases físicas de uma Cosmologia Científica. A Física passa, então, a poder tratar de problemas como a origem e a história do Universo, que estavam circunscritos ao domínio filosófico. Mais do que isto, este é um programa que adquire grande prestígio por permitir a formulação de novas questões antes impensadas. Claro que este programa é extremamente atraente, por si só, do ponto de vista teórico e leva, quase inevitavelmente, à utopia de generalizá-lo de modo a incluir o microcosmo; em outras palavras, à utopia de geometrizar a descrição do microcosmo. Sem entrarmos nos detalhes do complexo desenvolvimento da concepção atomística da matéria e da luz, que se confunde com a história da Mecânica Quântica e da Física de Partículas, podemos afirmar que este projeto einsteiniano vai, aos poucos, ser estendido a todas as teorias físicas que descrevem as chamadas interações fundamentais da Natureza: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. Todas estas teorias são hoje teorias de campos de *gauge*, construídas, em última análise, a partir de idéias geométricas e de princípios de simetria.

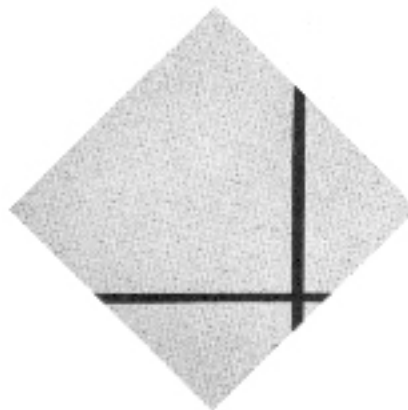


Fig. 9 – “Composição com duas linhas”, Piet Mondrian. Stedelijk Museum, Amsterdam.

Em síntese, o projeto de descrição geométrica do Mundo pôde ser executado nas fronteiras do micro e do macrocosmo: no mundo das partículas elementares (interior do átomo) e no mundo das estrelas e galáxias (o universo como um todo). Esse sucesso teórico, associado às espetaculares aplicações da Física contemporânea, faz com que se pretenda colocar a Física no centro da *cosmovisão moderna*. Contudo, à semelhança do que ocorreu no tempo de Lord Kelvin, pairam núvens no céu azul deste projeto.

8. Nuvens: Crise?

Procuramos mostrar ao longo do artigo que existem pelo menos três grandes períodos de geometrização da Física, cujos respectivos expoentes foram: Platão, Galileo e Einstein. Analizando a Física contemporânea e seus desdobramentos, Wheeler²⁴ identifica três fases, ou melhor, três linhas de pesquisa bem definidas no tempo, cada qual dominada por uma certa concepção do que seja a essência da realidade. Para os físicos, na primeira fase (1934-50), tudo se resume a elétrons; na segunda fase (1953-73), tudo é o contínuo espaço-temporal; na terceira (1973-) tudo é a participação do observador. Essa classificação bastante original nos permite afirmar que os dois primeiros momentos são aqueles onde o programa geométrico triunfou. Por outro lado, o método geométrico-cartesiano pressupõe uma separação entre sujeito e objeto, o que o torna de difícil aplicação ao programa característico do período mais recente. Além disso, duas outras questões, relacionadas com este tema, têm sido discutidas. Até que ponto é possível decompor um sistema complexo em partes mais simples? Como obter a irreversibilidade do tempo a partir das teorias fundamentais, segundo as quais os processos elementares são reversíveis?

Os limites nos quais se obteve uma descrição geométrica do mundo estão fora do alcance direto dos sentidos, que correspondem às duas primeiras fases de Wheeler. O principal obstáculo ao ideal de geometrização completamente a Natureza, encontra-se na crescente dificuldade de se alcançar uma descrição adequada dos fenômenos físicos na escala da percepção humana. Além da dificuldade do problema do observador na Física (presente no problema do caos quântico, por exemplo), há que se tratar do domínio da Química, da Termodinâmica, da Biologia, da Medicina, das Ciências da Terra, da Ecologia *etc.*; em síntese, dos *sistemas complexos*. Do ponto de vista técnico, a dificuldade de descobrir parâmetros de ordem subjacentes a esses sistemas tangencia questões fundamentais em aberto, tanto no campo da Matemática quanto da Lógica. Do ponto de vista filosófico, não se pode desprezar a barreira epistemológica resultante de um legado de vinte e seis séculos de história do pensamento ocidental, impregnado de conceitos como ordem e simetria, os quais, em última análise, são a essência do ideal geométrico.

A dimensão das questões aqui levantadas reflete a imensa dificuldade de se tratar, do ponto de vista físico, os sistemas complexos. Por muito tempo se acreditou que a Natureza, em toda a sua complexidade, poderia ser descrita em termos simples. Cresce, no entanto, a descrença nesse projeto, de matriz cartesiana, fato que é usado por muitos para justificar a descrença na Ciência e na Razão. Vivemos uma situação análoga à do período Medieval, onde há o predomínio das técnicas (tecnologia) e crise da Ciência básica, onde há uma globalização semelhante à promovida pelas Cruzadas (a da internet) e a necessidade de se fundar uma (nova) Universidade.

À semelhança do que ocorreu na Idade Média, é possível que haja nesse momento sinais que apontem para um futuro Renascimento, para um neo-Iluminismo.

Os cientistas não deveriam se prender ao tecnicismo especializado de seus trabalhos, à indústria dos *papers*. Deveriam, como os velhos alquimistas, conscientizar-se de que é possível, na verdade, transformar a prática quotidiana do fazer Ciência em um processo de evolução intelectual e espiritual, como nos ensinou Jung.

A se acreditar na lição histórica, é preciso uma modificação do Homem para condução desse processo. Esta mudança exige uma nova relação do Homem com o Saber, ou seja, uma nova Universidade, uma nova concepção de ensino.

¹ *Apud* G. S Kirk, J.E. Raven and M. Schofield, *Os Filósofos Pré-Socráticos*, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 4ª edição, 1994, p. 347.

² *Ibid.*

³ F. Caruso & R. Moreira Xavier de Araújo, “Dal *volumen* al libro, dal *codex* allo schermo: saggio sulle interrelazioni tra i supporti della scrittura e le concezioni fisico-filosofiche dello spazio nella storia della cultura occidentale”, *Dialoghi: Rivista di Studi Italici* 1 (1/2), pp. 135-158.

⁴ Eric A. Havelock, *Preface to Plato*, Cambridge MA, Harvard University Press, 1963, capítulo X. Tradução brasileira, *Prefácio a Platão*, Campinas, Editora Papyrus, 1996, p. 167.

⁵ Eric A. Havelock, *A Revolução da Escrita na Grécia e suas Conseqüências Culturais*, capítulo 1, p. 16; *cf.* também capítulo VIII.

⁶ Alexandre Koyré, *Études d'histoires de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973, p. 13.

⁷ Jean-Pierre Vernant, *As Origens do Pensamento Grego*, São Paulo, Difel, 3ª ed., 1981; *Mitos & Pensamento entre os Gregos*, Rio de Janeiro, Paz e Terra, edição revista e aumentada, 1990.

⁸ Isaías Pessotti, *A Loucura e as Épocas*, Rio de Janeiro, Editora 34, 1994, p. 51.

⁹ F. Caruso & R. Moreira Xavier de Araújo, *op. cit.*

¹⁰ Lynn White, Jr., *Medieval Religion and Technology*, Berkeley, The University of California Press, 1986.

¹¹ I. Benard Cohen, *La Rivoluzione nella Scienza*, Milano, Longanesi, 1988; Paolo Rossi, *La Nascita della Scienza Moderna in Europa*, Bari, Editori Laterza, 1997.

¹² F. Caruso & R. Moreira Xavier de Araújo, *op. cit.*; Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Space in Physics*, New York, Dover, third enlarged Edition, 1993; *Cf.* também S. Sambursky, *The Physical World of Late Antiquity*, London, Routledge & Keagan Paul, 1987.

¹³ “Ó plenitude de graça, com que ousei aprofundar tanto na luz eterna que se me consumiu a vista; abismado nela, soube como se concentra num foco aceso pelo amor [literalmente: vi no mais recôndito dela unido pelo amor num volume o que anda desencadernado pelo universo] toda a luz espalhada pelo universo, as substâncias, os acidentes, as propriedades, tudo junto de tal maneira que o que eu digo não passa de débil vislumbre”. Tradução de Aldo Della Ninna, in *Dante Alighieri: Obras Completas*, vol. VI, São Paulo, Editora das Américas, s/d.

¹⁴ Galileo, *Il Saggiatore*, 6^o, Milano, Istituto Editoriale Italiano, s/d, pp. 44-5.

¹⁵ *Apud* Stephen F. Mason, *História da Ciência*, Rio de Janeiro-Porto Alegre-São Paulo, Editora Globo, 1962.

¹⁶ S.F. Mason, *op. cit.*

-
- ¹⁷ Jacques Verger, *Les Universités au Moyen Âge*, Paris, Presses Universitaires de France, 1973.
- ¹⁸ P.S. Laplace, *Teoria Analítica do Calor – Prefácio*, 1814, *apud* J. Ferrater Mora, *Diccionario de Filosofía*, Madrid, Alianza, 1982.
- ¹⁹ Roberto Moreira Xavier de Araújo, “Bachelard e o Livro do Calor: o Nascimento da Física Matemática na Época da Articulação Causal do Mundo”, *Revista Filosófica Brasileira*, vol. 6 (1993), pp. 100-113.
- ²⁰ *Phil. Mag.* **6 S**, vol. 2 (1901) pp. 1-2, *apud* F. Cajori, *A History of Physics*, revised edition, Macmillan Co., 1929.
- ²¹ Richar J. Trudeau, *The Non-Euclidean Revolution*, Boston-Basel-Berlin, Birkhäuser, 1987.
- ²² Max Jammer, *op. cit.*, capítulo 5.
- ²³ Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1983.
- ²⁴ J.A. Wheeler, “Wrestling with the issue: how come existence?”, in *Frontier Physics (Essays in Honour of Jayme Tiomno)*, Editors S. MacDowell, H.M. Nussenzveig and R.A. Salmeron, Singapore, World Scientific, 1991.