

Conexões para um Ensino de Ciências Multidisciplinar a partir do Seminal Feito de Eratóstenes

Connections for Multidisciplinary Science Teaching based on Eratosthenes' Seminal Achievement

Conexiones para una Enseñanza de las Ciencias Multidisciplinaria a partir del Logro Seminal de Eratóstenes

José Renan Gomes dos Santos*, Jenner Barretto Bastos Filho**

Resumo

Em um cenário de um ensino de ciências no qual considerações históricas e epistemológicas se encontram ausentes, a atividade científica não parece ser devidamente ressaltada enquanto importante elemento da cultura humana. Tal circunstância se constitui em sério obstáculo para o aprendizado de ciências e, mais geralmente, para a educação científica. Para mitigar este obstáculo, adotamos uma prática pedagógica que consiste em uma combinação do método das conexões conceituais com o método das reconstruções racionais didáticas de episódios centrais da história da ciência ancorada pela confluência arte-ciência-filosofia ao explorarmos possíveis significados e ressignificados daí potencialmente ensejados. Neste artigo, o episódio em foco é o da medida do raio da Terra protagonizado por Eratóstenes. Como um dos resultados relevantes desta reflexão teórica, aqui ancorada na combinação dos métodos previamente aludidos, e, à luz das categorias conceituais da geometria euclidiana, notadamente da crítica ao infinito na trilha da argumentação copernicana, o geocentrismo já se encontrava insustentável de um ponto de vista lógico, mas não histórico. Isso, evidentemente, não implica que a história seja ilógica e sim que seja sujeita a marchas e contramarchas.

Palavras-chave: confluência arte, ciência e filosofia; conexões conceituais; reconstruções racionais didáticas; medida do raio da Terra por Eratóstenes.

Abstract

In a science teaching scenario in which historical and epistemological considerations are absent, scientific activity does not seem to be properly highlighted as an important element of human culture. This circumstance constitutes a serious obstacle to the learning of science and, more generally, to scientific education. To mitigate this obstacle, we adopted a pedagogical practice that consists of a combination of the method of conceptual connections with the method of rational didactic reconstructions of central episodes in the history of science, anchored by the confluence of art, science, and philosophy, as we explore possible meanings and the re-significations potentially arising from them. In this article, the episode in focus is the measurement of the Earth's radius, carried out by Eratosthenes. As one of the relevant outcomes of this theoretical reflection, anchored here in the combination of the previously mentioned methods and in the light of the conceptual categories of Euclidean geometry—particularly the critique of the infinite along the lines of the Copernican argument—geocentrism was already logically untenable, though not

*Mestrado em Educação pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2009. Doutorando da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN/UFAL). Professor Adjunto do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas (CEDU/UFAL), Maceió, Alagoas, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, Brasil, CEP: 57072-970. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6957-9003>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1740861882717534>. E-mail: jose.santos@cedu.ufal.br.

** Doutorado em Física pela Escola Politécnica Federal de Zürich (ETH Zürich), 1982. Professor Emérito da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, Brasil, CEP: 57072-970. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4527-1387>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5357464861909269>. E-mail: jenner@fis.ufal.br.



yet historically so. This, of course, does not imply that history is illogical, but rather that it is subject to advances and setbacks.

Keywords: confluence of art, science, and philosophy; conceptual connections; didactic rational reconstructions; measurement of the Earth's radius by Eratosthenes.

Resumen

En un escenario de enseñanza de las ciencias en el que están ausentes las consideraciones históricas y epistemológicas, la actividad científica no parece ser resaltada adecuadamente como un elemento importante de la cultura humana. Esta circunstancia constituye un obstáculo para el aprendizaje de la ciencia y para la educación científica. Para mitigar este obstáculo, adoptamos una práctica pedagógica que consiste en una combinación del método de conexiones conceptuales con el método de reconstrucciones didácticas racionales de episodios centrales en la historia de la ciencia, anclados en la confluencia del arte, la ciencia y la filosofía, a medida que exploramos posibles significados y las resignificaciones que potencialmente surgen de ellos. El episodio que se centra es el de la medición del radio de la Tierra por Eratóstenes. Como resultado relevante, aquí anclado en la combinación de los métodos previamente mencionados y a la luz de las categorías conceptuales de la geometría euclidiana —particularmente de la crítica al infinito en la línea de la argumentación copernicana—, el geocentrismo ya resultaba insostenible desde un punto de vista lógico, aunque no desde una perspectiva histórica. Esto, evidentemente, no implica que la historia sea ilógica, sino que está sujeta a avances y retrocesos.

Palabras clave: confluencia entre arte, ciencia y filosofía; conexiones conceptuales; reconstrucciones racionales didácticas; medición del radio de la Tierra por Eratóstenes.

Introdução

O cenário que se apresenta diante de nós é o de um ensino de ciências no qual contextualizações históricas e epistemológicas se encontram praticamente ausentes, situação essa que se constitui em sério obstáculo para a compreensão dos teores abordados durante o correspondente processo de aprendizagem e, por conseguinte, constitui-se em severo impeditivo para a elaboração de significações e ressignificações por parte dos estudantes e, mais geralmente, por parte de outros sujeitos da educação, inclusive de professores. Elegendo como objetivo envidar esforços para mitigar alguns obstáculos de compreensão, propomos a adoção de uma prática pedagógica que envolva o método das conexões conceituais entre diversos campos da cultura e das reconstruções racionais didáticas de episódios importantes da história da ciência, quando tal adoção pedagógica inclui a confluência arte-ciência-filosofia. Argumentamos aqui que a adoção desta diretriz contribui significativamente para a emergência crescente de significações e ressignificações dos conceitos e, por conseguinte, contribui para um ensino de ciências mais qualificado.

Mais geralmente, o nosso método aqui proposto consiste em eleger, em primeira instância, um dado episódio importante da história da ciência e, em uma segunda instância, explorá-lo segundo possibilidades que envolvam significações interdisciplinares,

multidisciplinares e transversais que sejam potencialmente pensáveis a partir do episódio escolhido, mas não exclusivamente apenas a partir dele. Em outras palavras, o método aqui adotado nos oferece alternativas criativas de propor tanto relações quanto correlações novas, bem como os processos argumentativos correspondentes que provejam a sua justificação.

No contexto da abordagem teórica a ser adotada, julgamos que uma análise do gênero seja inserida numa articulação dos campos da arte, da ciência e da filosofia na medida em que ela se coaduna, antes de tudo, com a concepção da ciência e com a concepção de seu ensino enquanto, ambas, manifestações legítimas e genuínas da cultura humana na sua inteireza e na sua necessária complexidade (Zanetic, 1989).

Neste artigo, temos a intenção de explorar múltiplas pontes de ressignificação a partir do seminal feito de Eratóstenes acerca da medida do raio da Terra para um ensino de ciências capaz de prover riqueza conceitual ao trabalharmos as potencialidades ensejadas por desdobramentos e por conexões tanto interdisciplinares quanto multidisciplinares, atitude pedagógica essa que ressalta a abrangência e a importância desse relevante episódio da história da ciência.

Passemos a tecer considerações sobre como o presente artigo se encontra organizado. Na seção 2 intitulada *‘Uma breve amostra de exemplos que exploram a confluência arte-ciência-filosofia’* nos referimos a experiências pregressas nesta direção com comentários panorâmicos a respeito; na seção 3 intitulada *‘O episódio em foco’* nos debruçamos sobre o conteúdo que constitui a medida do raio da Terra por Eratóstenes de Alexandria; na seção 4 intitulada *‘De um ponto de vista eminentemente lógico, a medida do raio da Terra por Eratóstenes não é compatível com a concepção geocêntrica’* mostramos que se levarmos a sério os pressupostos assumidos por Eratóstenes e o combinarmos com a recusa do infinito, então como conclusão, chegamos ao importante resultado segundo o qual o geocentrismo é logicamente impossível; na seção 5 intitulada *‘A ordem lógica não é equivalente à ordem histórica’* argumentamos que embora tenha sido intelectualmente possível recusar o geocentrismo nos tempos de Eratóstenes, a lógica não acarreta necessariamente a história; bem entendido, isso, evidentemente, não é equivalente a se considerar a história como algo ilógico; na seção 6 intitulada *‘Como o episódio escolhido inspira a articulação envolvendo a confluência arte-ciência-filosofia’* mostramos que o episódio escolhido transcende em muito uma simplória regra de três como às vezes o ensino de ciências é reduzido e empobrecido; contrapomos a essa atitude uma discussão conectando várias

manifestações culturais que podem ser ensejadas a partir do episódio em pauta; finalmente, na seção 7 apresentaremos as nossas conclusões.

Uma breve amostra de exemplos que exploram a confluência arte-ciência-filosofia

Trabalhos que exploram o caso abrangente e fascinante das relações da atividade científica enquanto manifestação da cultura, sob diversas perspectivas sejam em âmbitos interno e externo a ela, podem ser encontradas na literatura a um só tempo científica e didático-pedagógica. Como exemplo emblemático podemos citar a tese do Prof. João Zanetic defendida na USP em finais do século XX (Zanetic, 1989), tese essa que teve ampla repercussão na comunidade dos pesquisadores em Ensino de Física a ponto de suscitar uma comemoração quando do vigésimo aniversário de sua defesa em forma de publicação de um livro coletivo organizado pelo Professor André Ferrer P. Martins (Martins, 2009). Também, o livro do Prof. Luis Carlos de Menezes intitulado *‘A Matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento científico’* constitui uma abordagem original do pensamento científico enquanto situado como manifestação cultural (Menezes, 2005).

Nesta mesma linha de abordagem, ao explorar significados novos, e por essa razão plenos de potencialidades de aprendizagem criativa, é que também fazemos alusão ao livro de Parrilha da Silva e Danhoni Neves intitulado *O Codex Cigoli-Galileo: Ciência, Arte e Religião num Enigma Copernicano* (Parrilha da Silva; Danhoni Neves, 2015). Como comentário pontual sobre esse livro, diríamos que há uma expressiva passagem do autor do prefácio - o Prof. William R. Shea - acerca de como uma figura central da Revolução Científica do século XVII europeu como Galileu Galilei (1564-1642) está presente no quadro desse entrelaçamento arte-ciência-religião e, se estendermos as nossas conexões para mais além, isso também tem lugar para as complexas relações envolvendo arte-ciência-filosofia-religião. Seja a seguinte passagem: “Ela (Josie Agatha Parrilha da Silva) tem como foco o caso de Galileu Galilei, o homem que queria se tornar um pintor, mas que veio a se tornar o Pai da Revolução Científica, e Ludovico Cardi que foi uma figura monumental nesse episódio” (Shea, prefácio, 2015, p. 11, tradução nossa¹),².

¹ She (Josie Agatha Parrilha da Silva) focuses on the case of Galileo Galilei, the man who wanted to become a painter but became the Father of Scientific Revolution instead, and of Ludovico Cardi, who is a towering figure in this story. (Shea In: Parrilha da Silva; Danhoni Neves, prefácio, 2015, p. 11)

² Para termos uma ideia mais precisa acerca desta sutil inferência de Shea, torna-se necessário levar em conta que Ludovico Cardi (1559-1613), também chamado de Cigoli, e Galileu Galilei (1564-1642), desfrutaram de fértil amizade durante os tempos da *Accademia del Disegno* em Florença; a partir dessa e de outras circunstâncias; pode-

Podemos desta passagem de Shea imaginar as possibilidades de uma vocação para a pintura se relacionar tão enfaticamente com uma vocação para a ciência e tudo isso tendo lugar no caso de uma figura tão importante para a história da ciência como Galileu Galilei.

Reiteramos que ao longo da história cultural as relações entre esses campos são notáveis e de amplas possibilidades pedagógicas. De modo análogo, podemos também nos referir ao número especial da revista *Valore* no qual se comemorou em 2019 os 50 anos da importante efeméride da chegada do homem à Lua em 1969 com artigos escritos sob diversas óticas muitos dos quais elegendo as relações entre ciência, arte e filosofia como por exemplo (Leopardi Gonçalves; Bastos Filho, 2019).

Em outro livro coletivo, composto por contribuições de autores de diversas lavras culturais e de múltiplas formações intelectuais, e organizado por Parrilha da Silva e Danhoni Neves, intitulado *Imagens: Diálogos e Interfaces Interdisciplinares* (Parrilha da Silva; Danhoni Neves, 2021), autores diversos argumentam cada um dos quais segundo as suas próprias concepções acerca da polissemia ensejada pelo conceito de *Imagem* à luz precipuamente de suas origens culturais e práticas profissionais. No prefácio do livro, (Bastos Filho, 2021) podemos ler uma discussão sobre a reivindicação do grande teórico dos quanta Paul Dirac que consiste no abandono dos recursos imagéticos no campo da física microscópica, reivindicação essa que é antitética às contribuições dos capítulos que ressaltam valores, quer sejam eles estéticos, cognitivos, simbólicos e epistemológicos das imagens tanto no contexto do ensino de ciências quanto em outros contextos. Inspirados nessa ideia, Damasceno et al. (Damasceno et al., 2023) procederam a uma confrontação entre as ideias de Dirac, por um lado, com as ideias de duas botânicas brilhantes Graziela Barroso e Maria Merian ao analisar as potencialidades dos recursos imagético verbais para o ensino de ciências.

Ainda podemos nos referir ao livro de Francisco Caruso e Roberto Moreira Xavier de Araújo (Caruso; Xavier de Araújo, 2017; 2020) intitulado *O Livro, o Espaço e a Natureza: Ensaio sobre a Leitura do Mundo, as Mutações da Cultura e do Sujeito* que constitui um ensaio sobre o *Livro* e sua relação com o conceito de *Espaço* e de *Natureza*. Ainda outro exemplo, é o do livro de

Se refere acerca da proximidade, por um lado, da representação pictórica de Cigoli da *Assunção da Virgem Maria* encontrada na Igreja de Santa Maria Maggiore em Roma na qual a Virgem repousa seus pés sobre uma lua craterada, e por outro lado, com os desenhos da lua de Galileu encontrados em seu livro *O Mensageiro das Estrelas*. É também relevante que nos atenhamos à desconstrução que Galileu realiza da lua lisa e perfeita, composta da quinta essência (éter) de lavra aristotélica. Um exemplo emblemático da confluência arte-ciência no âmbito da história cultural.

Wilmo Ernesto Francisco Junior intitulado *Ciência em Verso e Prosa: Acepipes para quem ousa gostar (ou ensinar)* desta feita na confluência Química-Literatura (Francisco Jr., 2018).

As possibilidades de um ensino criativo envolvendo as mais variadas formas de articulação nos campos da arte, ciência e filosofia certamente contribuem para o envolvimento e o despertar de múltiplos interesses e especial entusiasmo dos sujeitos da educação, notadamente de estudantes e professores, mas não apenas desses dois grupos de pessoas. Podemos notar também que recentemente na revista REDE foram publicadas pesquisas educacionais nessa direção o que pode ser notado dos artigos de Caruso (Caruso, 2024), Tsutsui et al. (Tsutsui et al., 2024) e Francisco Jr. (Francisco Jr., 2024).

Em vista desta amostra que constitui tão somente um recorte de muitas outras contribuições segundo vieses diversos, concluímos esta seção.

O episódio em foco

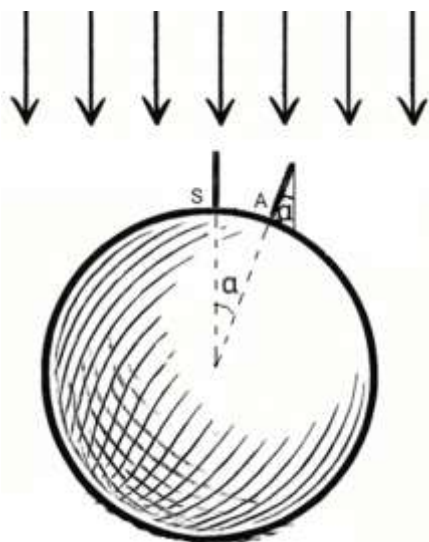
Nesta seção colocaremos de maneira breve para discussão o famoso episódio da medida do raio da Terra por Eratóstenes de Alexandria no século III a. C. Quanto ao seu teor, no sentido estrito do termo, e tendo em vista objetivos precipuamente de ensino, constatamos que ele pode ser encontrado em muitos livros, como por exemplo (Kemble, 1966; Selleri, 1989); pode ainda ser encontrado, inclusive em um conhecido livro de astronomia geocêntrica de Johannes de Sacrobosco (1991) utilizado pelos antigos navegadores e mesmo em vídeos como os daquela famosa série de divulgação científica de Carl Sagan (Documentários Carl Sagan, 2019). Ademais, o episódio em foco foi explorado em um viés cognitivo/epistemológico também ligado ao ensino de Física (Barbosa Freire; Bastos Filho, 1995) e em um contexto relacionado, sobre a benfazeja eficácia da matemática no contexto das ciências físicas (Bastos Filho; Pereira; Barros, 2017).

Da constatação de que em um dia especial do ano (ao meio-dia do solstício de verão), uma estaca fincada na posição perpendicular ao solo na cidade de Siena não exhibe sombra enquanto nesse mesmo dia e nessa mesma hora uma análoga estaca fincada em uma posição perpendicular ao solo na cidade de Alexandria a exhibe (Figura 1), então Eratóstenes passa a lançar mão da geometria de Euclides (Euclides, 2009), enquanto referencial teórico, cujos pressupostos adotados são:

- (i) É a luz do Sol que produz sombras na estaca;

- (ii) Os raios solares se propagam em linha reta do Sol para a Terra;
- (iii) Se os raios solares incidem paralelamente à estaca fincada na posição perpendicular ao solo em Siena, isso significa, em vista da geometria euclidiana, que a fonte de luz se encontra no infinito (isso é, muito, muito longe para quaisquer propósitos práticos);
- (iv) a superfície da Terra não é plana, pois se assim fosse as situações de Siena e Alexandria seriam exatamente as mesmas.

Figura 1 – Medida do raio da Terra por Eratóstenes



Fonte: Elaborado pelos autores

Tendo em vista os pressupostos acima e ademais, conhecendo a distância entre Siena e Alexandria concebidas como alinhadas ao longo de um mesmo meridiano de nosso globo terrestre e ainda sabendo o ângulo que devemos “rodar” a estaca de Alexandria para eliminar a sombra produzida quando da posição inicial perpendicular ao solo, então Eratóstenes foi capaz de explicitar o valor numérico do raio da Terra com uma grande precisão, principalmente se nos ativermos à época.

Como, especificamente aqui, todo o raciocínio estritamente geométrico se reduz à comparação entre dois comprimentos, quais sejam, o comprimento da circunferência máxima da Terra e o comprimento do arco de circunferência que corresponde à distância entre as cidades de Siena e Alexandria, então vale a simples e linear regra de três segundo a qual: o comprimento da circunferência está para o ângulo de 360 graus assim como a distância entre Siena e Alexandria está para o ângulo formado no centro da Terra pelos prolongamentos das estacas a partir de suas respectivas posições perpendiculares ao solo em Siena e em Alexandria.

Enquanto teor *stricto sensu*, o episódio constitui um exercício que pode ser veiculado em um exame do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio). Não obstante, isso não nos basta, pois ele oferece imensas potencialidades de exploração nos três níveis aqui vislumbrados de integração curricular, a saber, no nível interdisciplinar, no nível da integração intradisciplinar e ainda no nível da exploração transdisciplinar, ver (Bittencourt, 2006). Lembremo-nos de que o episódio constitui um feito histórico de mais de dois mil anos de afirmação de um relevante feito cognitivo/epistemológico que refuta enfaticamente o obscurantismo que hoje constitui a concepção equivocada da forma da Terra concebida como um plano, que no fundo representa a metáfora de um retrocesso civilizatório.

De um ponto de vista eminentemente lógico, a medida do raio da Terra por Eratóstenes não é compatível com a concepção geocêntrica

De um ponto de vista eminentemente lógico, a medida do raio da Terra por Eratóstenes pressupõe que a luz seja representada por raios solares que se propagam em linha reta e são provenientes de uma fonte que se encontra no infinito^{3,4}. A simples constatação de que em um dia especial e numa hora especial uma estaca fincada na cidade de Siena na posição perpendicular ao solo não exhibe sombra, necessariamente pressupõe, à luz da geometria de Euclides, que a fonte de luz que produz a sombra esteja no infinito. Este infinito, no entanto, é o equivalente a dizer que a fonte luminosa -no caso, o Sol- se encontra muito distante de Siena para quaisquer que sejam os propósitos práticos de uma medida do gênero.

Por outro lado, a concepção geocêntrica, a fim de explicar o porquê de, em cada período de 24h, dia e noite se alternam, necessariamente pressupõe a Terra parada e o Sol perfazendo uma rotação completa em torno da Terra ao cabo dessas mesmas 24 horas. Essa velocidade é para todos os propósitos práticos algo infinito; no entanto, se quisermos representá-la com um valor finito, em que pese enorme, então ao lançar mão da fórmula que expressa essa velocidade

³ O referencial teórico que sustenta esta afirmação é a geometria de Euclides; se os raios solares incidem em um certo dia paralelamente a uma estaca em posição perpendicular ao solo em Siena e não produzem sombra, então isso significa que a fonte de luz (o Sol) se encontra no infinito; em termos menos sóbrios se pode dizer que as paralelas se encontram no infinito. A própria categoria conceitual acerca do que significa *infinito* é central nessa discussão.

⁴ A discussão desenvolvida nesta seção do presente artigo segue a trilha argumentativa de Euclides (2009), Copérnico (1984; originalmente publicado em latim em 1543) e Galileu (2004; originalmente publicado em italiano em 1632) diretamente de seus textos originais.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

obtemos, se r for a distância da Terra ao Sol e $T=24$ horas, uma velocidade com a qual o Sol giraria em torno da Terra (concepção geocêntrica) como algo da ordem de 11 milhões de metros por segundo.

Lembremos que até mesmo Aristóteles já havia recusado o infinito pois o infinito contradiz o seu conceito de ordem cosmológica. Somos chegados à conclusão segundo a qual, se concebermos o argumento de um ponto de vista estritamente lógico, então os pressupostos teóricos assumidos para a medida do raio da Terra por Eratóstenes não se coadunam com o geocentrismo pois isso seria equivalente a introduzir uma velocidade infinita. Em outras palavras, seria muitíssimo mais razoável, de um ponto de vista lógico, admitir uma velocidade de rotação da Terra em algum ponto da linha do equador da ordem de 465 metros por segundo e não de uma velocidade do Sol em torno de nós de absurdos 11 milhões de metros por segundo, ou seja, aproximadamente, 3,63% do que hoje em dia conhecemos acerca do valor da velocidade da luz no vácuo. Aliás, Copérnico, no Capítulo VIII do Livro 1 de *As Revoluções dos Orbes Celestes* argumentou brilhantemente nesta exata direção contra a opinião de Ptolomeu. Vejamos uma expressiva passagem deste argumento:

Mas porque não se levanta a mesma questão ainda com mais intensidade acerca do Universo cujo movimento tem que ser tanto mais rápido quanto o Céu é maior do que a Terra? Ou tornou-se o Céu imenso porque foi desviado do centro por um movimento de força indescritível e acabará por se precipitar também, se parar? Certamente se este raciocínio fosse razoável também a grandeza do Céu subiria até o infinito. Com efeito, quanto mais alto ele for elevado pela força de seu movimento, tanto mais rápido esse movimento será devido ao aumento contínuo da circunferência que ele tem de percorrer no período de 24 horas. Por outro lado, crescendo o movimento crescerá também a imensidade do Céu. **Assim a velocidade aumentaria o movimento e o movimento aumentaria a velocidade até o infinito. Mas segundo aquele axioma da Física - o infinito não pode ser percorrido nem movido de forma alguma - o Céu terá necessariamente de permanecer imóvel** (Copérnico, Livro 1, Cap. VIII, p. 39-40, 1984; ênfases em negrito são acréscimos nossos [originalmente publicado em latim em 1543]).

Prestemos atenção ao texto precedentemente disposto em caracteres em negrito. Ênfase especial deverá ser enfocada na parte em que Copérnico se refere “*àquele axioma da Física*” segundo o qual “*o infinito não pode ser percorrido de forma alguma*” e consequentemente, “*o Céu terá necessariamente que permanecer imóvel*” (inclusive evidentemente o Sol). Ora, Copérnico escreve em 1543 e assim a tal Física a qual Copérnico se

refere é definitivamente a Física de Aristóteles pois a Física Galileana sequer existia, até mesmo porque Galileu ainda não tinha nascido.

A ordem lógica não é equivalente à ordem histórica

Surge então uma questão muito importante para ser trazida à baila. Ora, se de um ponto de vista estritamente lógico, a medida do raio da Terra por Eratóstenes de Alexandria está em contradição com a concepção geocêntrica que implicaria numa velocidade de translação infinita do Sol em torno da Terra, então por quais razões a concepção geocêntrica permaneceu como dominante (*mainstream conception*) durante vários séculos?

Uma resposta imediata a essa pergunta, é que a ordem histórica é diferente da ordem lógica. Além da intuição mais imediata da *experiência primeira*⁵, havia outros elementos muito influentes que os partidários do geocentrismo alegavam como “corroboração” de que a Terra “não” poderia girar em torno de si própria ao longo de 24 horas. Talvez o argumento mais importante tenha sido o assim chamado argumento da torre. Para dar uma ideia desse argumento, diziam os adeptos do geocentrismo, que um objeto que cai de uma torre, na medida em que leva um certo tempo para cair, então, devido ao movimento de rotação da Terra tal objeto deveria cair a alguns metros a oeste do pé da torre e não no pé da torre tal como é o que de fato ocorre. Vemos, portanto, que Galileu teve que desenvolver ainda uma teoria inteira dos movimentos locais para mostrar que o objeto cadente e a torre compartilham tal movimento de rotação e que, portanto, o argumento da torre dos partidários do geocentrismo estava equivocado. Além de argumentos internos à própria argumentação, também havia aqueles de teor externo: para a Igreja somente teria sentido um conhecimento compatível com uma Terra parada tal como o relato das Sagradas Escrituras.

A história não é linear e está sujeita a marchas e contramarchas. Em uma abordagem para o ensino de ciências que adote uma metodologia baseada em reconstruções racionais didáticas sob o viés epistemológico essa circunstância é por demais importante. Lembremo-nos de Lakatos quando assevera:

Ao redigir o estudo de um caso histórico, deve-se, creio eu, adotar o seguinte procedimento: (1) faz-se uma reconstrução racional; (2) tenta-se cotejar essa reconstrução racional com a história real e criticar tanto a reconstrução racional pela

⁵ Lançarmos mão, aqui no curso de nossos argumentos, de uma concepção bachelardiana de obstáculos epistemológicos, ver (Bachelard, 1967; Bachelard, 1996, publicado originalmente em francês em 1934).

falta de historicidade quanto a história real por falta de racionalidade. Dessa maneira, todo estudo histórico deve ser precedido de um estudo heurístico: a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega (Lakatos, 1979, p. 169).

Parafraseando Lakatos, diríamos que a Reconstrução Racional consiste na interpretação de episódios da história da ciência por meio da aplicação de metodologias normativas, provenientes da filosofia da ciência. Nesse processo, o historiador busca reconstruir a história interna do conhecimento científico, oferecendo uma explicação racional para o seu desenvolvimento (Lakatos, 1989). Pela metodologia dos programas de pesquisa científica proposta por Lakatos, o historiador da ciência procura identificar programas (teorias científicas) que possam ser analisados quanto à sua dinâmica de desenvolvimento, marcada por mudanças progressivas ou degenerativas de problemas (Silva, 2008). Um programa de pesquisa é considerado progressivo quando gera novos problemas teóricos e avanços empíricos; por outro lado, é visto como degenerativo quando suas respostas deixam de explicar fatos novos. Nesse contexto, as revoluções científicas ocorrem quando um programa progressivo substitui um rival que entrou em degeneração. Assim, cada reconstrução racional delineia um modelo característico de desenvolvimento racional do conhecimento científico, destacando os critérios que justificam a permanência, superação ou abandono dos programas em disputa (Lakatos, 1989).

Vejamos que um empirismo ingênuo e sensualista, ou seja, um tal meramente apoiado nos sentidos, pode nos levar a erros. Como se diz habitualmente, *as aparências nos enganam* e a Revolução Científica do século XVII nos ensina precipuamente que temos necessariamente de transcender o nível das impressões sensoriais imediatas, ainda que sem elas sequer viveríamos. Deste modo, vejamos uma citação primorosa de Galileu a respeito:

Que as razões contra a revolução diurna da Terra, já examinadas por vós, tenham grandíssima aparência, já ouvimos, e terem sido consideradas como concludentíssimas pelos ptolomaicos, aristotélicos e todos os seus seguidores, 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** (Galilei, 2004, p. 413; os grifos em negrito são acréscimos nossos).

A interpretação do excerto precedente é um enfático manifesto de preferência da **razão** em detrimento dos **sentidos**. Efetivamente, aquilo que vemos, ou seja, o Sol se movendo perante

nós, constitui-se em mera aparência pois a razão nos ensina que essa aparência nos conduz ao infinito e, portanto, nos conduz a um resultado inaceitável pelos critérios da razão.

Neste presente estágio de argumentação, é interessante que comparemos a época de Eratóstenes (aproximadamente 250 anos antes de Cristo) com a época de Galileu ao escrever *Os Diálogos* em 1632. Ora, como vimos, de um ponto de vista estritamente lógico, a medida do raio da Terra por Eratóstenes somente é compatível com a adoção do movimento diurno da Terra com o Sol parado, pois do contrário se incorporaria uma velocidade infinita. Isso significa que de um ponto de vista meramente intelectual, enquanto uma solução *stricto sensu* racional, uma adoção heliocêntrica era perfeitamente possível. O fato dela não ter se constituído em corrente dominante (*mainstream*) durante vários séculos é devido a um conjunto de fatores de lavras tanto internas quanto externas. Se nos ativermos aos aspectos sensoriais, eles podem ser pensados como obstáculos em nível interno; uma análise compreensiva requererá a consideração também de aspectos externos.

No contexto do ensino, os professores estão constantemente realizando reconstruções dos conteúdos científicos, a partir de diferentes abordagens didáticas. Um professor de Física, por exemplo, ao introduzir um tema, costuma organizar sua reconstrução didática com base nos modelos matemáticos que estruturam o conhecimento físico. Esse é, de fato, um aspecto fundamental na construção e no desenvolvimento da Física. No entanto, acaba se tornando, muitas vezes, a única dimensão enfatizada nessas reconstruções. Essa limitação é perceptível quando os alunos afirmam que Física e Matemática são áreas idênticas, revelando uma visão restrita do conhecimento físico.

As Reconstruções Racionais Didáticas (Silva, 2008; Montöla; Koponen, 2007, Izquierdo-Aymerich; Adúriz-Bravo, 2003) de episódios da história da ciência, são reconstruções conduzidas a partir de epistemologias modernas, isto é, são de viés epistemológico (Bastos Filho, 2017), mas que diferentemente das reconstruções racionais, que possuem objetivos historiográficos, as didáticas não visam ensinar história, mas o conteúdo científico. Em outras palavras, em uma reconstrução racional com fins didáticos, além das escolhas epistemológicas e cognitivas, escolhas sobre como o aluno aprende, por exemplo, também guiam a elaboração desse texto. E neste ponto, enfatizamos que as reconstruções racionais didáticas estão em acordo com o espírito das discussões aqui apresentadas, de buscar conexões na confluência Arte- Ciência- Filosofia a partir do feito de Eratóstenes para auxiliar o ensino e aprendizagem de

ciências, o que permite outras possibilidades de racionalização do conhecimento e, consequentemente, facilitando a compreensão de conceitos e de processos científicos.

Como o episódio escolhido inspira a articulação envolvendo a confluência arte-ciência-filosofia: algumas considerações de teor externo

Embora se diga *urbi et orbi* que o episódio da história da ciência aqui considerado no presente ensaio seja emblemático quanto ao combate ao mito da “terra plana”, o que por si só já seria relevantíssimo, é também necessário afirmar que as potencialidades de exploração de suas conexões transcendem em muito tal aspecto. Mostramos que o episódio - de um ponto de vista lógico- favorece o heliocentrismo na medida em que requer a rotação diurna da Terra em torno de seu próprio eixo e que, portanto, desfavorece o geocentrismo, pois esta última opção levaria ao movimento infinito. Como a história da ciência não é linear, na medida em que sujeita a marchas e contramarchas, em largos períodos da Idade Média europeia houve retrocessos.

Para, de uma maneira breve, darmos ideia do esforço de lavra externa que seria necessário empreender para vencer obstáculos, vejamos alguns exemplos: Galileu argumentou na sua famosa Carta a Cristina de Lorena, inspirado em parecer de importante autoridade eclesiástica (tratava-se do cardeal Cesare Barônio (1538-1608)) que o céu da astronomia não é o mesmo céu da religião. “Eu direi aqui o que ouvi de uma pessoa eclesiástica constituída em grau eminentíssimo, isto é, que a intenção do Espírito Santo é ensinar-nos como se vai para o céu e não como vai o céu” (Galilei, 1988, p. 52 [escrita originalmente em italiano em 1615])⁶. Uma interpretação simples e direta para a passagem precedente é a de simplesmente dizer que o céu do qual se refere a astronomia é algo qualitativamente diverso do Céu da religião. O céu da astronomia é aquele do mundo natural enquanto o Céu da religião é aquele do mundo sobrenatural. Tal ponto fazia parte da argumentação enfática de Galilei a Cristina de Lorena em prol do movimento diurno da Terra em torno de seu eixo.

Vejamos um outro obstáculo a ser superado: para dar uma ideia da sacralidade do céu, os pintores que precederam o Renascimento o pintavam de dourado como na tradição da arte bizantina como nos mostra muito bem um quadro emblemático de Duccio di Buoninsegna pintado entre 1308 e 1311 intitulado *O Chamado dos Apóstolos Pedro e André*, ver (Caruso,

⁶ Io qui direi quello che intesi da persona ecclesiastica costituita in eminentissimo grado, cioè l'intenzione dello Spirito Santo essere d'insgnarci come si vadia al cielo, e non come vadia il Cielo. (GALILEI, 1993, p. 22).

2024). Para comparar o contraste, Caruso ilustra no seu artigo o quadro de Giotto intitulado *A Lamentação* no qual o Céu é pintado de azul, o que pode ser interpretado, a nosso ver, como um episódio importante de dessacralização do céu pois, como disse o Prof. Roberto Moreira Xavier de Araújo, “*uma sociedade que pinta o céu de dourado, não pode apontar uma luneta para o céu*”. O céu azul não é mais objeto de contemplação enquanto morada de Deus; ele é sujeito à investigação humana e é por esta e entre outras razões que o ano de 1609, quando Galileu apontou a luneta para os céus, se reveste de grande e decisiva importância.

Considerações finais

Somos chegados, a título de conclusão, aos nossos comentários finais. O que pode o estudo de um episódio bastante central da história da ciência -hoje diríamos um episódio que quando concebido *stricto sensu* é de fácil compreensão- oferecer tantas possibilidades de contextualização a ponto de ensejar significativas conexões com vários ramos envolvendo ciência, arte e filosofia? De fácil compreensão, na medida em que se pode depreender de conceitos auto evidentes de geometria euclidiana em associação ao caráter linear de uma regra de três igualmente elementar. No entanto, quando explorados os seus aspectos históricos e epistemológicos, nada disso é tão *prima facie* quanto parece. Lembremos o vídeo de Carl Sagan na parte em que ele sugere acerca do que poderia interessar a simples curiosos, entidades tomadas no seu conjunto como Sol, varetas, sombras, poços e coisas do gênero. Assim, para o curioso Eratóstenes, mais um ingrediente foi despertado: as possibilidades de seu próprio cérebro.

Além disso, o episódio, ainda que considerado em seu contexto geométrico *stricto sensu*, não se reduz apenas ao enaltecimento do caráter esférico da forma da Terra, enquanto importante conquista cognitiva da humanidade, o que por si só já seria um elemento educador importante contra o retrocesso de uma concepção metafórica de uma “terra plana” *lato sensu*. Quando analisado mais pormenorizadamente, a medida do raio da Terra por Eratóstenes já contém um embrião importante do heliocentrismo uma vez que a opção geocêntrica, enquanto opção explicativa da alternância de dia e noite ao cabo de cada 24h, implicaria na existência do infinito.

Julgamos que a nossa abordagem que consiste em articular conexões ensejadas pelo episódio histórico da medida do raio da Terra por Eratóstenes de Alexandria se aproxima da abordagem das reconstruções racionais didáticas. Concluimos aqui o nosso artigo.

Referências

BARBOSA FREIRE, M. I.; BASTOS FILHO, J. B. É possível pensar sem teoria? O que veria um suposto *tabula rasa teórico*?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 12, n. 2, p. 79-94, 1995. [antigo Cad. Cat. Ens. Fis.]. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7089/6560>. Acesso em: 01 de maio de 2025.

BASTOS FILHO, J. B. Reconstruções Racionais de Episódios da História da Ciência sob um viés epistemológico: Fundamentação. *In: Roberto, o amigo: Roberto Moreira e a história e filosofia da ciência* Livro em homenagem ao Prof. Roberto Moreira Xavier de Araújo por ocasião de seus 80 anos, Org. Francisco Caruso, São Paulo: Livraria da Física, p. 75 – 115, 2017.

BASTOS FILHO, J. B.; PEREIRA, A.; BARROS, A. S. Por que a Matemática é tão eficaz nas Ciências Físicas?. **Psicologia & Saberes** v. 6, n. 7, p. 44-69, 2017. Disponível em: <https://revistas.cesmac.edu.br/psicologia/article/view/750/619>. Acesso em: 01 de maio de 2025.

BASTOS FILHO, J. B. *In: PARRILHA DA SILVA, J. A.; DANHONI NEVES, M. C. (Orgs.). Imagem: Diálogos e Interfaces Interdisciplinares*, Maringá: EDUEM, 2021. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/dy7z7/pdf/silva-9786587626079.pdf>. Acesso em; 07 abr. 2025.

BACHELARD, G. **La Formation de l'Esprit Scientifique (Contribution à une Psychanalyse de la Connaissance Objective)**, Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 5a edição, Colletion: Bibliothèque des textes philosophiques, 1967 [originalmente publicado em francês em 1934]. Disponível em: <https://gastonbachelard.org/wp-content/uploads/2015/07/formationesprit.pdf>. Acesso em: 07 de agosto de 2025.

BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico (Contribuição para uma Psicanálise do Conhecimento)**, Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda., tradução de Estela dos Santos Abreu, 1ª edição maio de 1996, 5ª reimpressão, janeiro de 2005. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/fis2008/Bachelard1996.pdf>. Acesso em: 07 de agosto de 2025.

BITTENCOURT, J. Integração Curricular e Ensino de Matemática. *In: SABINO DIAS, M. F.; CASSIANI DE SOUZA, S.; SEARA, I. C. (Orgs.). Formação de Professores: Experiências e Reflexões*. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2006, p. 152-158.

CARUSO, F.; XAVIER DE ARAÚJO, R. M. **O Livro, o Espaço e a Natureza (Ensaio sobre a Leitura do Mudo, as Mutações da Cultura e do Sujeito)**. São Paulo: Livraria da Física; 1a. ed. 2017; 2a ed. 2020.

CARUSO, F. Arte e Ciência: Convergências Renascentistas a partir de Giotto. **Revista Ensino em Debate (REDE)**, v. 3, e2024018, p. 1-16, 2024. Disponível em: <https://revistarede.ifce.edu.br/ojs/index.php/rede/article/view/52/39> . Acesso em: 01 de maio de 2025.

COPÉRNICO, N. **As Revoluções dos Orbes Celestes**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues, introdução e notas de Luís Albuquerque, 1984 [originalmente publicado em latim em 1543].

DAMASCENO, D. M.; MONTEIRO, M. A.; BASTOS FILHO, J. B. O imagético-verbal como expediente pedagógico para as abordagens dos legados de Graziela Barroso e Maria Merian. **Ensino & Multidisciplinaridade**, São Luis, v.9, n. 2, p. 1-16, 2023. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ens-multidisciplinaridade/article/view/22077/12677> . Acesso em 02 de março de 2025.

DOCUMENTÁRIOS CARL SAGAN. Cosmos - episódio 1 - os limites do oceano cósmico. [S.l.]: YouTube, 23 jul. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=N1CQQLSJfwQ&list=PLWTsw1mh-VO-MONi88PiY6Kstvlxw0Hcj> . Acesso em: 17 abril de 2025.

EUCLIDES, **Os Elementos**, tradução e introdução de Irineu Bicudo, São Paulo: Editora Unesp, 2009.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. **Ciência em Verso e Prosa: Acepipes para quem ousa gostar (ou ensinar)**. São Carlos -SP: Pedro & João Editores, 2018.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. Por uma Ciência com mais Poesia: Possibilidades de uma Dualidade?. **Revista Ensino em Debate (REDE)**, Fortaleza-CE, v.2, e2024003, jan./dez., 2024. Disponível em: <https://revistarede.ifce.edu.br/ojs/index.php/rede/article/view/15/11>. Acesso em: 01 de maio de 2025.

GALILEI, G. Carta à Senhora Cristina de Lorena, Grã-Duquesa Mãe de Toscana (1616). *In*: **Ciência e Fé**, tradução de Carlos Arthur R. do Nascimento, Rio de Janeiro: Museu de Astronomia, Instituto Italiano di Cultura, Nova Stella, 1988, 1a. ed. p. 41-81.

GALILEI, G. **Diálogo Sobre os dos máximos sistemas do mundo Ptolomaico e Copernicano**. Tradução: Introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda. 2ª Ed. São Paulo: Discurso editorial/Imprensa Oficial, 2004.

IZQUIERIDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological Foundations of School Science. **Science & Education**, 12, p. 27-43, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022698205904>. Acesso em 02 de maio de 2025.

KEMBLE, E.C. **Physical Science, Its Structure and Development**. MIT Press,Cambridge, Massachusetts, Cap. 2, pp. 29-60, 1966.

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LAKATOS I.; MUSGRAVE, A. (Orgs.). **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo: Cultrix; Editora da Universidade de São Paulo, 1979. p. 109-243.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid: Alianza Editorial, 1989.

LEOPARDI GONÇALVES, M. G.; BASTOS FILHO, J. B. A Lua: o Etéreo, o Sagrado, o Poético e o Científico em Construção/Desconstrução. **Valore**, Volta Redonda, 4 (Edição Especial), p. 121-132, 2019. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/533/390>. Acesso em: 01 de maio de 2025.

MÄNTYLÄ, T.; KOPONEN, I. T. Understanding the Role of Measurements in Creating Physical Quantities: A Case Study of Learning to Quantify Temperature in Physics Teacher Education. **Science & Education**, 16, p. 291-311, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227088898_Understanding_the_Role_of_Measurements_in_Creating_Physical_Quantities_A_Case_Study_of_Learning_to_Quantify_Temperature_in_Physics_Teacher_Education. Acesso em: 02 de maio de 2025.

MARTINS, A. F. P. (Org), **Física ainda é Cultura?** São Paulo: Livraria da Física, 2009.

MENEZES, L. C. **A Matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

PARRILHA DA SILVA, J. A.; DANHONI NEVES, M. C. **O Codex Cigoli-Galileo (Ciência, Arte e Religião num Enigma Copernicano)**. Maringá: EDUEM, p. 11-13, 2015.

PARRILHA DA SILVA, J. A.; DANHONI NEVES, M. C. (Orgs.). **Imagem: Diálogos e Interfaces Interdisciplinares**. Maringá: EDUEM, 2021. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/dy7z7>. Acesso em: 02 maio de 2025.

SACROBOSCO, J. **Tratado da Esfera**. São Paulo: Unesp; Rio de Janeiro: Nova Stella; Rio de Janeiro: MAST, 1991, nas margens das páginas 35 a 37.

SELLERI, F. **Fisica senza Dogma (La Conoscenza Scientifica tra Sviluppo e Regression)**. Itália: Edizioni Dedalo Bari ,cap. 2, pp. 43-66, 1989.

SILVA, O. H. M. **Um Estudo sobre a Estruturação e Aplicação de uma Estratégia de Ensino de Física Inspirada em Lakatos com a Reconstrução Racional Didática para Auxiliar a Preparar os Estudantes para Debates Racionais entre Teorias e/ou Concepções Rivalis**. 2008. 280 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2008.

SHEA, William R., Galileo the Painter. In: PARRILHA DA SILVA, J. A.; DANHONI NEVES, M. C. **O Codex Cigoli-Galileo (Ciência, Arte e Religião num Enigma Copernicano)**. Maringá: EDUEM, p. 11-13, 2015.

TSUTSUI, T. T.; TOLEDO, T. ; MARTINS, M. R. “Céu: da Arte e da Ciência”, Uma Proposta Interdisciplinar à Luz da BNCC. **Revista Ensino em Debate (REDE)**, Fortaleza-CE, v. 3, e2024019, jan./dez., 2024. Disponível em: <https://revistarede.ifce.edu.br/ojs/index.php/rede/article/view/53/40>. Acesso em: 02 de maio de 2025

ZANETIC, J. **Física também é Cultura**. 1989. 252f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo-SP, 1989.

Submetido em 18 de maio de 2025.

Aceito em 23 de julho de 2025.

Publicado em 18 de agosto de 2025.