

“As coisas estão no mundo, só que eu preciso aprender”: a lição de Netuno

Jairo Rocha de Faria¹ UFPB, João Pessoa, PB
Marcela Zamboni² UFPB, João Pessoa, PB

Resumo. Neste trabalho, discutimos um importante capítulo da ciência do século XIX - a descoberta de Netuno. Inicialmente, introduzimos uma breve contextualização da Astronomia, seus usos sociais e seu predicado interdisciplinar. Em seguida, apresentamos o modelo geométrico de Kepler e as implicações para a Filosofia da Ciência da ascensão e queda da famosa Lei de Titius-Bode. Finalmente, indicamos certas aplicações no contexto do Ensino da Matemática.

Palavras-chave: Astronomia; Filosofia da Ciência; Ensino da Matemática.

1 Introdução

A escolha do nome Netuno - o equivalente de Poseidon da mitologia grega - para o novo planeta descoberto em 1846 demonstrou-se adequada por vários motivos: era compatível com o padrão de nomes de deuses romanos adotado em outros planetas, homenageava o “rei dos mares” para um planeta de cor azulada e encerrava a disputa entre os seus co-descobridores Johann Galle, John Couch Adams e Urbain Le Verrier [17].

O nome de um personagem mitológico, no entanto, deixa de revelar a quebra de paradigma representado pela nova descoberta, que foi ancorada em rigorosa metodologia científica e contrariou a até então prestigiosa Lei de Titius-Bode que consumava a ideia mística da existência de uma ordem nos espaços interplanetários, da qual se tem notícias desde a escola pitagórica.

Neste trabalho, analisamos a mudança epistemológica da ciência através de um recorte de 250 anos, que vai da publicação da obra *Mysterium Cosmographicum*, por Kepler em 1596 até a descoberta de Netuno em 1846. Em particular, examinamos a resignificação dos conceitos científicos e suas consequências para a Filosofia e para o ensino das ciências.

Iniciamos o debate com uma breve contextualização da Astronomia, enfatizando alguns significados e usos sociais produzidos. Em seguida, apresentamos o instigante episódio da Lei de Titius-Bode, acompanhado da propalada polêmica envolvendo o filósofo Hegel.

2 Breve contextualização da Astronomia

A Astronomia, reconhecida como a mais antiga das ciências, tem sua história imbricada com a história das civilizações desde os mais remotos registros encontrados, com consequências no registro do tempo, nas religiões, nas navegações, nas estratégias dos caçadores-coletores, na agricultura, nas artes e na Filosofia.

Credita-se aos antigos sumérios, que habitaram a região da Mesopotâmia há cerca de 5 mil anos, a identificação de 5 planetas que, diversamente das demais estrelas, moviam-se e, portanto,

¹jairo@ci.ufpb.br

²marcelazamboni@gmail.com

foram identificadas com suas deidades, posteriormente adaptadas pelo império romano. A adoção de nomes mitológicos para objetos celestes persiste até a atualidade [25].

Nos planetas reconhecidos pelos estoicos gregos, por exemplo, o Sol é a personificação da divindade Sol Invicto (Hélio, na concepção grega), o deus da onisciência. Por sua vez, o planeta mais próximo do Sol foi batizado de Mercúrio (Hermes, na mitologia grega), o mensageiro dos deuses. O segundo planeta em relação ao sol, pelo seu brilho visível a olho nu foi identificado com a deusa Vênus (Afrodite para os gregos), que simbolizava o amor, a paixão, a fertilidade e a beleza. O nome Terra deriva de *Tellus* (Gaia, na cultura grega), a deusa do solo fértil. A Lua foi personificada pela deusa Luna (Selene, para os gregos). Marte (Ares, na crença grega), o planeta vermelho, foi naturalmente associado ao deus da guerra. O maior dentre os planetas foi associado a Júpiter (equivalente a Zeus, na Grécia), o rei dos deuses. Finalmente, Saturno (equivalente ao deus grego Cronos) é o pai de Júpiter e o deus do tempo [12].

No campo das artes, a música ocupa um lugar relevante desde o conceito de “ressonância orbital” desenvolvido por Pitágoras de Samos, no século VI AEC, que relacionava os períodos planetários com os princípios da harmonia musical. Por sua vez, Johannes Kepler, em 1619, buscou demonstrar que os planetas, em seu movimento, executam uma espécie de música celeste [20]. A Divina Comédia, obra basilar no cânone ocidental escrita no início do século XIV por Dante Alighieri, busca reconciliar a teologia cristã com o paradigma aristotélico-ptolomaico [2] em sua descrição do paraíso. Em particular, a obra de Cláudio Ptolomeu, que sintetizava e adaptava os trabalhos de seus predecessores, como Aristóteles, Hiparco e Posidônio e que recebeu a alcunha de “*Almagesto*”, que em árabe significa a máxima coleção, é um dos mais longevos trabalhos científicos da humanidade, prevalecendo por cerca de 13 séculos até a teoria heliocêntrica de Nicolau Copérnico [4].

As grandes navegações do século XVI, no entanto, indicavam divergências na geografia de Ptolomeu. Copérnico, em sua obra “Sobre as Revoluções das Esferas Celestes”, publicada em 1543, apontava para a simplificação advinda do ponto de vista heliocêntrico, que já havia sido proposta por Aristarco de Samos no século 3 AEC [18]. A teoria heliocêntrica deu um novo impulso à Astronomia, com contribuições posteriores de Tycho Brahe e seu sucessor Kepler [18].

Embora Kepler tivesse forte motivação para encontrar uma ordem no universo, ele se destacou por apresentar contribuições à obra de Tycho Brahe, como a órbita elíptica com o sol ocupando um dos focos e pela formulação das três leis fundamentais da mecânica celeste que mais tarde constituíram as bases para a teoria da gravitação universal, de Isaac Newton [5].

Mas a observação dos céus também fora motivada pelos saberes práticos, como a contagem do tempo e a navegação, por exemplo. Já se observa relatos do conhecimento do navegador quando Homero, em a Odisseia (poema de tradição oral, impresso provavelmente no século VIII AEC [19]), se refere à constelação Ursa Maior como aquela que não experimenta o banho de mar, em virtude de sua posição próxima do Polo Norte que a mantém afastada do horizonte enquanto a Terra gira [21].

Ferris [4] cita os conhecimentos da civilização Maia que “inscreveram em monumentos de pedra as fórmulas úteis para a previsão de eclipses solares e para o nascer helíaco de Vênus”. Por outro lado, os Incas acreditavam na criação do mundo por seu deus Wiracocha - o pai do Sol e da Lua - e eram detentores de um complexo conhecimento astronômico, com um ano solar de 365 dias, divididos em 12 meses lunares [7].

Para mencionar estudos etnográficos recentes sobre os ameríndios, citamos o trabalho de Williamson [24] que contribui com um relato de um índio Cahuilla, da Califórnia, na década de 1920, sobre a contagem do tempo:

“Os antigos costumavam estudar as estrelas muito cuidadosamente e, dessa maneira, podiam dizer quando começava cada estação. Reuniam-se na casa cerimonial e discutiam sobre a época em que certas estrelas deviam aparecer, e com frequência faziam apostas sobre isso. Era um assunto muito importante, pois do aparecimento de certas

estrelas dependia a estação do plantio. Depois de várias noites de observação cuidadosa, quando uma determinada estrela finalmente aparecia, os antigos corriam para o ar livre, gritavam e com frequência dançavam. Na primavera, essa alegria era particularmente acentuada pois podiam agora encontrar certas plantas nas montanhas. Nunca iam às montanhas sem ter visto antes uma determinada estrela, pois sabiam que antes disso não encontrariam alimentos ali”.

Podemos ainda citar o trabalho de Hugh-Jones [10] para compreender o sistema astronômico dos ameríndios da região do noroeste amazônico e o dossiê de Lópeza et al. [14] para uma análise dos recentes estudos antropológicos da Astronomia de povos das Américas do Sul e do Norte.

3 Entre o “Mistério Sagrado do Cosmos” e a descoberta de Netuno: ascensão e queda de “Titius-Bode”

Neste trabalho, estamos interessados no período entre a publicação da obra “*Mysterium Cosmographicum*” (Mistério Sagrado do Cosmos), em 1596, até a descoberta de Netuno, em 1846, e as consequências dessa descoberta para a Filosofia da Ciência e para a Lei de Titius-Bode que ocupou papel proeminente no debate científico.

Na tentativa de estabelecer um ordenamento entre o número de planetas, suas distâncias e velocidades com uma lei divina “precisa e harmoniosa”, sem o qual “a vida seria absurda” [22], Kepler arranhou os sólidos platônicos entre as seis esferas planetárias (Fig. 1), convencendo-se que havia descoberto a lei que guiou Deus em sua criação. Embora de inegável beleza, esse modelo não estava em conformidade com os dados conhecidos, ao contrário da Lei de Titius-Bode, como discutido a seguir.

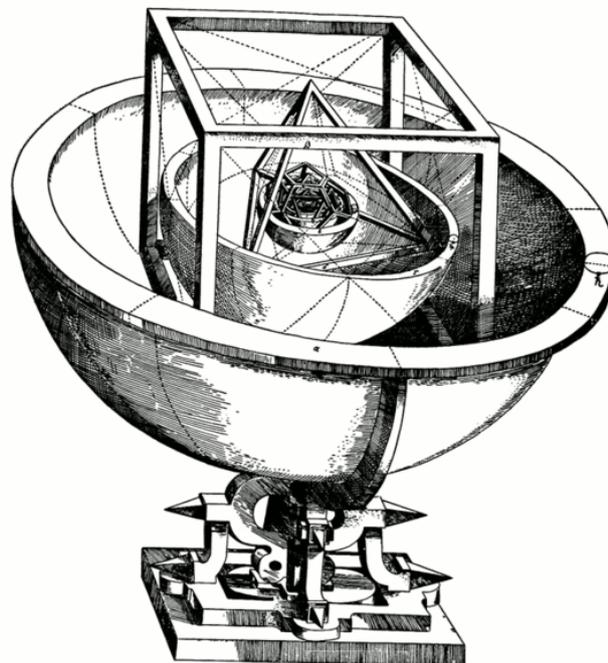


Figura 1: O modelo de Kepler.

No final do século XVII, a Lei de Titius-Bode notabilizou-se pela precisão com que modelava as distâncias ao Sol para cada um dos seis planetas até então conhecidos. Na realidade, a referida lei foi postulada originalmente por Freyherr von Wolf e, posteriormente, inserida por Johann Daniel Titius von Wittenberg em uma tradução da obra “Contemplação da Natureza”, de Charles Bonnet. Finalmente, foi apossada por Johann Elert Bode, em seu livro “Guia para o Conhecimento do Céu Estrelado” [6]. Apesar da controversa autoria, neste trabalho vamos utilizar o nome Titius-Bode, com a qual a referida lei tornou-se reputada. Titius inseriu de modo dissensual o seguinte trecho na tradução da obra de Bonnet, em 1776:

“Dada a distância do Sol a Saturno como 100 unidades, então Mercúrio está distante 4 dessas unidades do Sol; Vênus $4 + 3 = 7$ do mesmo; a Terra $4 + 6 = 10$; Marte $4 + 12 = 16$. Mas veja, de Marte a Júpiter surge um afastamento dessa progressão tão exata. De Marte segue um lugar de $4 + 24 = 28$ tais unidades, onde atualmente não se vê nem um chefe nem um planeta vizinho. E o Construtor deve ter deixado este lugar vazio? Nunca! Apostemos com confiança que, sem dúvida, este lugar pertence aos satélites de Marte ainda não descobertos; acrescentemos que talvez Júpiter também tenha vários ao seu redor que até agora não foram vistos com nenhum vidro. Acima disso, para nós não revelada, surge o domínio de Júpiter de $4 + 48 = 52$; e Saturno a $4 + 96 = 100$ unidades. Que relação louvável!” [17].

Matematicamente, a lei estabelece que os raios de todas as órbitas planetárias são dados por

$$r_n = 4 + 3 \times 2^n, \quad n = -\infty, 0, 1, 2, \dots, \tag{1}$$

considerando-se o raio da órbita de Saturno normalizado para 100, $n = -\infty$ para Mercúrio, $n = 0$ para Vênus, $n = 1$ para a Terra, $n = 2$ para Marte, e assim sucessivamente.

A Tab. 1 compara as distâncias reais, a Lei de Titius-Bode e as previsões do modelo geométrico de Kepler. Os “planetas” Ceres, Urano, Netuno e Plutão não eram conhecidos à época da divulgação da lei (1766). Inicialmente, Ceres foi considerado planeta e posteriormente enquadrado com asteroide. Finalmente, em 2006, foi classificado na categoria de planeta anão, juntamente com Plutão, que na oportunidade também deixou de ser considerado planeta.

Tabela 1: Comparação entre as distâncias reais, a Lei de Titius-Bode e as previsões de Kepler.

Planeta	n	distância real	Titius-Bode	Kepler
Mércúrio	$-\infty$	3.9	4	5.6
Vênus	0	7.2	7	7.9
Terra	1	10.0	10	10.0
Marte	2	15.2	16	12.6
Ceres*	3	27.7	28	—
Júpiter	4	52.0	52	37.7
Saturno	5	95.5	100	65.4
Urano*	6	192.0	196	—
Netuno*	7	300.9	388	—
Plutão*	8	395	772	—

Podemos observar que embora as previsões do modelo de Kepler não sejam condizentes com a realidade, a tão perquirida ordem divina fora, finalmente, estabelecida pela nova fórmula. Por outro lado, a Lei de Titius-Bode apresenta uma notável aproximação da posição orbital de Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, além de prever a existência de um planeta desconhecido ($n = 3$) entre Marte e Júpiter e as distâncias para novas descobertas.

Em particular, em 1781, William Herschel descobriu o sétimo planeta (para $n = 6$), batizado de Urano por sugestão de Bode. Pater Placidus Fixmillner, por sua vez, determinou a distância média para o novo planeta de 191,8254 unidades [11], que quando comparada com a previsão de Titius-Bode de $d_6 = 196$ unidades, apresenta um desvio de apenas 2%.

Bode ficou inteiramente convencido da validade da lei e, portanto, acreditava que deveria haver um planeta entre Marte e Júpiter, o qual foi descoberto em 1801 por Giuseppe Piazzi, recebendo o nome de Ceres. Sua distância do Sol foi estimada em 27.7 unidades, bastante próxima da previsão de Titius-Bode: $d_3 = 28$ unidades, um desvio de 1% [17]. A Lei de Titius-Bode se firmava, portanto, como um excelente modelo, tanto para explicar as distâncias entre os planetas existentes, quanto para fazer previsões e auxiliar na busca de novas descobertas.

No entanto, a descoberta de Netuno, em 1846, representou uma mudança de paradigma na Filosofia da Ciência. Inicialmente, a distância estimada de 300.9 unidades, contra a distância prevista de $d_7 = 388$ unidades, representando um inaceitável desvio superior a 29%, apontava para o descrédito da Lei de Titius-Bode, que fora instituída sem base científica.

Por outro lado, ao contrário dos descobrimentos recentes, a metodologia empregada na evidênciação de Netuno baseou-se na evidência científica (através da perturbação da rota de Urano) e na solução de um problema matemático complexo, denominado de problema inverso astrodinâmico, nos dias atuais. A solução deste problema, de modo independente por Urbain Jean Le Verrier e John Couch Adams, permitiu inferir a existência de (pelo menos) um corpo celeste não observado, bem como determinar precisamente sua órbita, possibilitando sua rápida observação por Johann Gottfried Galle [15].

Cumpramos sublinhar que a Lei de Titius-Bode, ainda que ancorada na crença da necessidade de uma ordem nos espaços interplanetários, contribuiu para derrubar a convicção de que só poderiam existir no máximo seis planetas, admitida por Kepler como consequência da existência de apenas cinco sólidos perfeitos, e que corroborava com a validade do sistema copernicano contra o de Ptolomeu que, contando com a Lua, depreendia a existência de sete planetas [22].

Nesta direção, evocamos a recorrente crítica ao filósofo alemão Georg Wilhelm Friedrich Hegel, que mesmo nos dias atuais ainda encontra respaldo na literatura científica. Por exemplo, nos livros de Grosser [6] e Nieto & Davis [17] encontramos a indicação de que Hegel “provou logicamente que o número de planetas não poderia exceder sete” e no notável livro didático de Nussenzweig [18] encontramos o suposto diálogo hegeliano “Só pode haver sete planetas. Mas isso contradiz os fatos! Tanto pior para os fatos!”. Tal atitude, de fato, representaria uma inequívoca postura anticência.

No entanto, como asseverado no trabalho de Craig e Hoskin [3], tais afirmações foram erroneamente atribuídas à Hegel e revelam que, mesmo autores experientes estão sujeitos a equívocos.

De fato, Hegel em sua tese de habilitação para integrar o corpo docente da Universidade de Jena “*Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum*” (Uma dissertação filosófica sobre as órbitas dos planetas) [9], apresentada em 1801 - coincidentemente, o mesmo ano da descoberta de Ceres - afirma

“Oferece um exemplo disso a relação das distâncias dos planetas de que falamos; como as distâncias dos planetas apresentam, de fato, uma certa relação de progressão aritmética, mas no quinto membro da progressão não corresponde um planeta na natureza, se julga - e se busca com cuidado - que exista verdadeiramente um planeta entre Marte e Júpiter e que, desconhecido por nós, vaga pelos espaços celestes” [8].

Ou seja, a divulgada “anedota” acerca do desprezo de Hegel pelos fatos é que não se esteia na realidade. Diversamente, sua tese corrobora com a possibilidade de um planeta ser descoberto entre Marte e Júpiter. Não se deve, no entanto, perder de vista o contexto do idealismo alemão com suas incongruências entre Filosofia (chamada de “Filosofia Verdadeira”) e ciência (denominada “Filosofia Experimental”), que podem ser exemplificadas por alguns trechos da tese do então jovem Hegel,

dentre os quais destacamos “Ora a Filosofia Experimental é somente a Filosofia que a mentalidade inglesa, e portanto, de Newton e Locke e os outros filósofos que em seus escritos expressaram tal mentalidade.” E também em “Deste exemplo, portanto, se entende que o que pretende a Filosofia Verdadeira é de todo ignorado pela Filosofia Experimental...” [8].

4 Considerações finais

No presente trabalho, indicamos que a observação dos céus desde a mais remota antiguidade, por diferentes civilizações e culturas demonstrou-se um importante fator de desenvolvimento humano. Platão chega a afirmar que vem daí a própria concepção da Filosofia. Em suas palavras,

“Se nunca tivéssemos visto as estrelas, o sol e o céu, nenhuma das palavras que pronunciamos sobre o universo teria sido dita. Mas a visão do dia e da noite, e dos meses, e as revoluções dos anos, criaram um número e nos deram uma concepção do tempo, e o poder de indagar sobre a natureza do universo. A partir daí deduzimos a Filosofia, e nenhum bem maior do que esse foi, nem será, jamais dado pelos Deuses ao homem mortal” [4].

Decerto que a Astronomia, como suscitado no presente debate, permeia distintas áreas do conhecimento humano, como a Poesia, a Música, a Literatura, a História, a Antropologia, a Ciência das Religiões, a Filosofia, a Matemática, a Física, etc. Além do mais, fez-se necessário o desenvolvimento de novas ciências, como a Astrofísica, Astroquímica e Astrobiologia. Uma de nossas motivações, portanto foi apontar para algumas dessas interdisciplinaridades.

Miley [16] fornece apropriadas sugestões para o ensino da Astronomia por faixa etária, desde a educação primária (4-10 anos) até o ensino superior e a divulgação científica. Seguindo a perspectiva do autor e sob a ótica da Educação Matemática, indicamos o estudo da correspondência entre as razões de números inteiros, ressonâncias orbitais e teoria musical, como estudada por Kepler [1]. Os engenhos mecânicos imaginados por Eudoxo de Cnido, discípulo de Platão ou por Ptolomeu, para descrever o movimento dos planetas [18], também fornecem uma excelente oportunidade para a construção de conceitos de matemática básica. O modelo geométrico de Kepler com os sólidos platônicos (Fig. 1), por sua vez, permite abordar de modo lúdico relevantes conceitos de geometria espacial. Por fim, a progressão geométrica fornecida pela Lei de Titius-Bode é uma aplicação evidente.

Finalmente, destacamos que denominamos por “lição de Netuno” ao novo arquétipo de Filosofia da Ciência, sem a falsa contraposição entre “Filosofia Verdadeira” e “Filosofia Experimental” evidenciada por Hegel. A racionalidade do pensamento científico foi transformada, consoante Laundan [13], neste caso abandonando um empirismo místico representado tanto pelo modelo de Kepler quanto pela Lei de Titius-Bode. Como revela o sambista Paulinho da Viola: “As coisas estão no mundo, só que eu preciso aprender” [23].

Referências

- [1] M. J. Bank e N. Scafetta. “Scaling, Mirror Symmetries and Musical Consonances Among the Distances of the Planets of the Solar System”. Em: **Frontiers in Astronomy and Space Sciences** 8 (2022). ISSN: 2296-987X. DOI: 10.3389/fspas.2021.758184.
- [2] M. Blair. “Points and Spheres: cosmological innovation in Dante’s Divine Comedy”. Tese de doutorado. 2015.
- [3] E. Craig e M. Hoskin. “Hegel and the Seven Planets”. Em: **Journal for the History of Astronomy** 23.3 (1992), pp. 208–210. DOI: 10.1177/002182869202300307.

- [4] T. Ferris. **O despertar na Via Lactea: uma historia da astronomia**. Campus, 1990. ISBN: 9788570016072.
- [5] E. Grant. **História da filosofia natural: Do Mundo Antigo Ao Século XIX**. Madras, 2009.
- [6] M. Grosser. **The discovery of Neptune**. Massachusetts: Cambridge, 1962.
- [7] S. R. Gullberg. **Astronomy of the inca empire: Use and significance of the sun and the Night Sky**. Springer, 2020.
- [8] G. W. F. Hegel. **As órbitas dos planetas**. Trad. por Paulo Meneses e Danilo Vaz-Curado R. M. Costa. Rio de Janeiro: Confraria do Vento, 2012.
- [9] G. W. F. Hegel. **Dissertatio philosophica de orbitis planetarum**. Leipzig: G. Lasson, 1801.
- [10] S. Hugh-Jones. “As Plêiades e Escorpião na Cosmologia Barasana”. Em: **Revista Antropológicas** 0.0 (2017). ISSN: 2525-5223. DOI: 10.51359/2525-5223.2017.231438.
- [11] W. Fryderyk II. **Allgemeine Hypotheken-Ordnung für die gesammten Königlichen Staaten : [Datum:] Berlin, den 20 Dec. 1783 / [Friedrich]**. ger. Berlin, 1784.
- [12] U. S. Koch e N. I. Carsten. **Mesopotamian Astrology: An Introduction to Babylonian and Assyrian Celestial Divination**. CNI Publications Series. Museum Tusculanum Press, University of Copenhagen, Carsten Niebuhr Institute of Near Eastern Studies, 1995. ISBN: 9788772892870.
- [13] L. Laudan. **Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth**. Campus (Berkeley). University of California Press, 1978. ISBN: 9780520037212.
- [14] A. M. Lópeza, P. Faulhaber e R. Athias. “Apresentação - Antropologia e Astronomia Cultural – Repensando teorias e análises etnograficamente enraizadas”. Em: **Revista Antropológicas** 0.0 (2017). ISSN: 2525-5223.
- [15] Y. Menshikov. “Inverse Problem of Astrodynamics”. Em: **World Journal of Mechanics** 05.12 (2015). ISSN: 2160-049X. DOI: 10.4236/wjm.2015.512023.
- [16] G. Miley. “Astronomy for international development”. Em: **Proceedings of the International Astronomical Union** 5.S260 (2009), pp. 539–546. DOI: 10.1017/S1743921311002821.
- [17] M. M. Nieto e M. S. Davis. “The Titius–Bode Law of Planetary Distances: Its History and Theory”. Em: **Physics Today** 27.3 (1974), pp. 54–57. DOI: doi:10.1063/1.3128596.
- [18] H. M. Nussenzveig. **Curso de Física Básica**. Vol. 1. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 2013.
- [19] J. de Romilly. **Homero: introdução aos poemas homéricos**. Edições 70 - BRASIL, 2001. ISBN: 9789724410869.
- [20] B. Stephenson. **Music of the heavens: Kepler’s harmonic astronomy**. Princeton Univ Press, 2014.
- [21] E. Theodossiou et al. “Astronomy and Constellations in the Iliad and Odyssey”. Em: **Journal of Astronomical History and Heritage** 14.1 (mar. de 2011), pp. 22–30.
- [22] J. M. Vigoureux e B. Vigoureux. **Les pommes de Newton**. Jardin des sciences. Diderot, 1997. ISBN: 9782843520518.
- [23] P. da Viola. **Coisas do Mundo, Minha Nega**. 1969.
- [24] R. A. Williamson. **Living the sky: The cosmos of the American Indian**. Boston: Houghton Mifflin Company, 1984.
- [25] J. E. Wright. **The Early History of Heaven**. Oxford University Press, 2002. ISBN: 9780195348491.