

## A ENGENHARIA DIDÁTICA NA CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ESFERAS ARMILARES: PERSPECTIVA HISTÓRICA NO ENSINO DE CONCEITOS DE ASTRONOMIA E DE MATEMÁTICA

## THE DIDACTIC ENGINEERING IN THE CONSTRUCTION AND USE OF ARMILLARY SPHERES: HISTORICAL PERSPECTIVE IN THE TEACHING OF CONCEPTS OF ASTRONOMY AND MATHEMATICS

Melina Silva de Lima<sup>1</sup>, Luiz Marcio Santos Farias<sup>2</sup>,  
Vera Aparecida Fernandes Martin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia SENAI CIMATEC, melinasl\_mel@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, lmsfarias@ufba.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil. Mestrado Profissional em Astronomia, vmartin@uefs.br

**Resumo:** *Embora muito mais antigo, a Esfera Armilar foi um instrumento muito utilizado durante a Renascença e tinha sua utilização na navegação, por meio de conhecimentos da Astronomia da época. Com uma esfera no centro que representava a Terra, por meio de cálculos trigonométricos, era possível determinar latitudes, a eclíptica e alguns movimentos. Este instrumento foi utilizado em um contexto histórico no ensino de conceitos de Matemática e de Astronomia, com alunos do primeiro trimestre de Engenharia, que construíram, a partir do processo descrito pela Engenharia Didática, esferas armilares, conduzidos em um processo de descoberta histórica, permeada pela filosofia e epistemologia adjacentes. A descrição sucinta da metodologia empregada encontra-se neste trabalho, no intuito de que sirva de estímulo para outros professores, em áreas diversas, que queiram ensinar conceitos de Astronomia em sala de aula. Espera-se, também, que o percurso teórico-metodológico possa ser apreendido e diversificado para este fim.*

**Palavras-chave:** Esfera armilar; Ensino de Matemática; História da Astronomia.

**Abstract:** *Although much older, the Armillary Sphere was an instrument widely used during the Renaissance and had its use in navigation, through knowledge of astronomy of the time. With a sphere in the center that represented the Earth, by means of trigonometric calculations, it was possible to determine latitudes, the ecliptic and some movements. This instrument was used in a historical context in the teaching of concepts of Mathematics and Astronomy, with students of the first quarter of Engineering, who constructed, from the process described by Didactic Engineering, armillary spheres, conducted in a process of historical discovery, permeated by the adjacent philosophy and epistemology. The succinct description of the methodology is found in this work, in order to serve as a stimulus for other teachers, in different areas, who want to teach concepts of Astronomy in the classroom. It is also hoped that the theoretical-methodological course can be apprehended and diversified for this purpose.*

**Keywords:** *Armillary sphere; Teaching of Mathematics; History of Astronomy.*

## INTRODUÇÃO

Segundo Krasilchick (2005), o ensino de ciências concentra-se em conteúdos complexos, com foco no professor, deixando de lado a observação e experiência dos alunos. Com o intuito de trabalhar conceitos de Matemática e de Astronomia, numa perspectiva histórica e epistemológica, com foco na construção do conhecimento pelo aluno, uma investigação foi realizada e nela foram construídos conceitos históricos da Cosmologia até a criação do Cálculo Diferencial e Integral. Em paralelo, os alunos construíram objetos antigos da Astronomia, a saber: Esfera Armilar, Astrolábio, Sextante, Luneta (de Galileu), Balestilha e Relógio de Sol.

Os objetos foram confeccionados pelos alunos a partir das discussões e da prática da sala de aula, contextualizada pela história e tendo como base teórica preliminar, a Engenharia Didática, de Michele Artigue (1996). Este trabalho relata, de maneira resumida, o desenvolvimento deste processo e foca na esfera armilar.

A esfera armilar foi um instrumento de Astronomia muito utilizado na antiguidade para auxiliar as navegações e consiste basicamente em um modelo reduzido do Cosmos. Tal instrumento foi criado usando os conhecimentos de Álgebra e Trigonometria da época e foi aperfeiçoado de modo a permitir verificar como se dava o movimento aparente das estrelas. Sua estrutura é um complexo sistema de transferência de graus, devido a marcações e estudos sobre a posição dos astros, como, por exemplo, a constelação da Ursa Menor.

A esfera armilar é um dos três tipos de modelos celestes tridimensionais que também incluem astrolábios esféricos e os globos celestes. O primeiro globo foi construído por Tales de Mileto (século VI aC). Não existem informações detalhadas sobre como precursores dos globos celestes foram usados pelos primeiros astrônomos, mas sabemos que eles fizeram grandes contribuições e melhorias na Astronomia. Seguindo uma ordem cronológica, segundo Chang (2004), tem-se o que evidencia-se no Quadro 1, a seguir:

**Quadro 1:** Evolução das construções das Esferas Armilares

Construtor	Principal Contribuição
1 - Eudoxo	Documentou os primeiros trabalhos sobre constelações e seu movimento;
2 - Aratus de Soli	Usando o trabalho de Eudoxo, escreveu um influente poema astronômico chamado 'Phaenomena' (Φαινόμενα), onde ele descreveu as posições de constelações.
3 - Hiparco	Compilou as primeiras informações sobre o tempo de vida de algumas estrelas e a posição exata de muitas delas. Ele também descobriu a precessão dos equinócios;
4 - Geminus of Rhodes	Descobriu que os círculos (Ártico/Antártico) dependiam da posição dos observadores.
5 - Arquimedes	Descrito por Cícero como tendo construído dois globos celestes no século III aC, um globo circundado e um globo sólido.
6 - Ptolomeu de Alexandria	Catalogou as estrelas, 3 séculos após Hiparco, com muito mais detalhes e considerou todas as estrelas bem como estabeleceu parâmetros para brilho e coordenadas.

O desenvolvimento das esferas armilares atingiu um nível avançado de sofisticação durante o século 10. Modelos distintos foram utilizados, mas um bastante comum era composto por uma esfera central que representava a Terra e círculos, denominados armilas, que as circundavam. Eles representavam os círculos da eclíptica, do equador, dos trópicos e dos círculos. Um segundo tipo bastante

comum diferenciava-se pela ausência do globo terrestre em seu centro e com dispositivos de observação montados nos anéis (KHAN, 2007).

A Matemática utilizada para criação e construção da esfera armilar foi um sistema de transferência de graus que atualmente não é mais utilizado, devido ao surgimento do Cálculo Diferencial e Integral criado por Newton e Leibniz no século XVII, que possibilitou a utilização de métodos mais práticos, e que surgiu justamente por meio dos estudos e observações astronômicas relacionadas aos movimentos aparentes dos astros e cálculo das órbitas de objetos celestes. Embora instrumentos astronômicos com esse objetivo, como o astrolábio e a própria esfera armilar, já não sejam mais utilizados na Astronomia moderna, eles servem de elemento de construção de conhecimento histórico, matemático, de conceitos das ciências como Física, entre outros, permitindo a utilização de sequências didáticas para este fim.

### ***A Engenharia Didática e o Ensino de Matemática***

Até décadas de 60 e 70 o ensino da matemática, em diferentes países, recebeu influências do movimento conhecido como “matemática moderna”; cujo enfoque central era o ensino voltado para o desenvolvimento excessivo da abstração, enfatizando muito mais a teoria do que a prática. Posteriormente foi percebida a inadequação dessa visão e a partir de discussões acerca do currículo, promoveram reformas em nível mundial. Com essas reformas, evidenciam-se a ênfase na resolução de problemas, a exploração da matemática a partir dos problemas vividos no cotidiano, a compreensão da importância do uso da tecnologia, o direcionamento para a aquisição de competências básicas ao cidadão e a ação do aluno no processo da construção do conhecimento.

Assim nasceu a Didática da Matemática, da tensão existente entre visões distintas do ensinar Matemática e da *práxis* pedagógica, viabilizando pesquisas sobre a maneira como ela é ensinada. Isto permitiu que pesquisas em Educação Matemática (ED) se desenvolvessem e alcançassem perspectivas tanto quantitativas quanto qualitativas. No que tange às últimas, várias abordagens são vistas em sequências e materiais didáticos em contextos específicos, desde o estudo de sua aplicabilidade até o diagnóstico, passando pelas concepções, obstáculos ou níveis de desenvolvimento do raciocínio envolvido, entre outros (POMMER, 2013).

Esta pesquisa apoia-se nas pesquisas em Engenharia Didática (ED), partindo das contribuições de Michéle Artigue (1996), que defende a utilização de situações de aprendizagem onde os alunos são colocados em ação, diante de jogos e situações-problema, de modo a mobilizar estratégias de base e conhecimentos anteriores para que sejam capazes de realizar as operações de seleção, organização e interpretação de informações, representando as diferentes formas e tomando decisões. O objetivo dessas estratégias está no processo de construção do conhecimento, a partir da perspectiva evolutiva histórica dos conteúdos em estudo, para que este efetivamente ocorra e, como consequência, haja formação de sentido para o aprendiz (POMMER, 2013).

Segundo Brousseau (1996), as situações didáticas são elaboradas com o intuito de fazer com que o aluno perceba que o novo conhecimento almejado é o meio mais eficaz para encaminhar e resolver uma determinada situação, quer seja uma situação contextualizada na sala de aula ou não. Dessa forma, elas permitem a construção do conhecimento, o que equivale à formação de sentido para o aluno.

A ED, nesse contexto, e segundo Michèle Artigue (1996), é uma metodologia de caráter empírico, cujos objetivos são a concepção, realização, observação e análise das situações didáticas. Artigue afirma ainda que a ED tem duas vertentes: produção para o ensino e também cumpre o papel de ser uma metodologia de pesquisa qualitativa. A ED se caracteriza por propor uma sequência de aulas concebidas, organizadas e articuladas no tempo, de forma constante por um(a) professor(a) para realizar um projeto de aprendizagem para certa população de alunos (POMMER, 2013).

Almouloud (2004) afirma que esta metodologia nos permite prever, numa análise *a priori*, as possibilidades de ocorrência no contexto da aprendizagem, a partir da escolha adequada das variáveis didáticas, o que norteia o desenvolvimento das estratégias escolhidas pelos aprendizes. Segundo Pommer (2013), as hipóteses assumidas podem ser validadas na análise *a posteriori*, pela confrontação dos objetivos propostos, com as manifestações dos alunos.

No âmbito da sala de aula, as tarefas propostas devem ser projetadas de forma a tornarem-se situações de aprendizagem. Essa ação requer do(a) professor(a) menos intervenções e mais encorajamento à ação independente dos alunos na busca das soluções, fomentando-os a utilizar os conhecimentos prévios como ferramentas (ARTIGUE, 1996).

A ED como metodologia compreende quatro fases: análise preliminar; concepção e a análise *a priori*; experimentação e, por fim, análise *a posteriori* e validação do que foi mais aceito e aprendido pelos alunos (POMMER, 2013). A ED, portanto, tem uma característica marcante, que é a necessária revisão bibliográfica com relação à dimensão epistemológica. Essa busca pelas origens dos conhecimentos de Matemática possibilita que o professor aprimore sua relação com o saber. Além disso, o domínio dos aspectos metodológicos fomenta uma rotina criativa e autônoma para o estudante.

Neste sentido, a pesquisa teve como objetivo geral promover a aprendizagem de conceitos de Matemática e de Astronomia, numa perspectiva histórica e epistemológica, com foco na construção do conhecimento pelo aluno. Isto leva a objetivos adjacentes, a saber: A utilização da ED como percurso metodológico na construção da aprendizagem destes conceitos; Nessa perspectiva, os alunos foram solicitados a compreender e traçar os aspectos históricos e matemáticos de objetos de navegação antigos, especificamente a Esfera Armilar.

## **O CONTEXTO HISTÓRICO E FILOSÓFICO SUBJACENTE AO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DO CÁLCULO E A CONSTRUÇÃO DOS OBJETOS DE NAVEGAÇÃO: AS ASSERÇÕES DE VALOR HISTÓRICO CONSTRUÍDAS EM SALA DE AULA**

Ptolomeu é muitas vezes acusado de adesão servil aos preceitos da Filosofia aristotélica, em detrimento geral de seu modelo. No entanto, apesar do geocentrismo convencional de Ptolomeu, seu modelo do sistema solar se desvia do aristotelismo ortodoxo em uma série de aspectos de importância crucial. Em primeiro lugar, Aristóteles argumentou - do ponto de vista puramente filosófico - que os corpos celestes se moviam em círculos uniformes. No entanto, no sistema ptolemaico o movimento dos planetas é uma combinação de dois movimentos circulares. Além disso, pelo menos um desses movimentos não é uniforme (FITZPATRICK, 2010). Ainda segundo Fitzpatrick (2010), Aristóteles também

argumentou - novamente por motivos puramente filosóficos - que a Terra está localizada no centro exato do universo, sobre o qual todos os corpos celestes orbitam em círculos concêntricos. No entanto, no sistema Ptolemaico, a Terra está ligeiramente deslocada do centro do universo.

Considerando-se que o modelo geocêntrico do sistema solar Ptolomaico (86 - 165 dC) foi construído com o conhecimento dos movimentos verdadeiros dos planetas ao redor do Sol. Não surpreendentemente, o modelo realmente descrito no *Almagesto*<sup>1</sup> desvia-se um pouco dessa forma ideal. O primeiro erro de Ptolomeu reside no modelo do movimento aparente do Sol ao redor da Terra, que ele herdou de Hiparco. Assim, a sistemática proposta por Ptolomeu foi apresentada em *Hè Mathèmatikè Syntaxis (A Compilação Matemática)*, para poder explicar o movimento dos planetas e suas irregularidades. Tal obra, composta por treze livros, foi traduzida por volta do século IX, pelos árabes, que lhe nomearam de *Almagest*, que, segundo BASSALO (1990), é uma corruptela do nome hispano-árabe *Al-Magisti (O Grande Tratado)*.

Hiparco foi o primeiro a aplicar a ideia de epiciclos na descrição do movimento dos corpos celestes que orbitavam a Terra e neste sistema o Sol, a Lua e todos os outros planetas orbitariam a Terra, centro do Universo (ZANARDI, 2006). A mudança dessa concepção começou com o polonês Copérnico, que utilizou a teoria heliocêntrica, que só foi aceita depois das observações de Tycho Brahe e as descobertas de Galileu (ZANARDI, 2006) e (FARHAT, 2003). Registra-se também que Kepler, que foi um astrônomo alemão, estabeleceu as leis que regem o movimento planetário e hoje sabe-se que são genéricas a corpos celestes bem como a satélites artificiais, satélites naturais e estrelas binárias.

Galileu Galilei foi contemporâneo de Kepler e Tycho entre os séculos XVI e XVII, sendo considerado o “pai” do método científico por ter desenvolvido formas de checar teorias científicas de forma experimental. Foi o primeiro a apontar uma luneta para o céu, enquanto esta era utilizada com outros propósitos. Construiu alguns telescópios aprimorando os que já existiam e observou crateras e montanhas da Lua, a miríade de estrelas que forma a Via Láctea, os satélites de Júpiter e as manchas solares.

Galileu escreveu diversas obras, tais como “*O Ensaaiador*” e “*Diálogo sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo*” e por meio delas divulgou suas ideias, experiências e experimentações, tendo sido obrigado a retratar-se e admitir a ciência aristotélica como única fonte de verdade. Por ser protagonista em um dos maiores conflitos entre a ciência e a religião, teve suas publicações proibidas de serem difundidas (PESSI, 2010).

Depois de Galileu, outro nome de peso nas descobertas e desenvolvimento da Física foi Isaac Newton. Ele nasceu na Inglaterra, em 25 de dezembro de 1642. Dono de uma personalidade introvertida, Newton era um filósofo, cientista e religioso. Não só acreditava num único e eterno Criador, como tentava explicar a ciência com base nesta prerrogativa.

Newton inventou os *métodos direto e indireto das fluxões*, entre novembro de 1665 e maio de 1666. Ele pensava na hipótese de uma lei universal regendo o

---

<sup>1</sup> O *Almagesto* foi escrito por Ptolomeu entre os anos de 127 a 141 d.C e foi um dos primeiros e principais textos da cultura ocidental a ser utilizado nos estudos astronômicos.

movimento dos planetas em torno do Sol e usou a *Lei dos Períodos* de Kepler para chegar à Lei da Gravitação Universal. Nesta mesma época um grupo de renomados físicos, os ingleses Jeremiah Horrocks (1619-1641), Robert Hooke (1635-1703), Sir Christopher Wren (1632-1723), Edmund Halley (1656-1742) e o holandês Christiaan Huygens (1629-1695), dentre os problemas que discutiam, um chamava bastante a atenção: - *Que tipo de força leva um planeta a descrever uma órbita elíptica em torno do Sol?* (BASSALO, 1990).

Em uma de suas obras mais conhecidas, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de 1687, Newton estendeu o princípio da gravitação universal a todos os corpos celestes e usou alguns resultados obtidos, especialmente a Lei da Gravitação Universal, para demonstrar a *estrutura do sistema do mundo*. O trabalho de Newton representa o ápice da Revolução Científica, uma solução magnífica do problema do movimento dos corpos celestes que desafiava filósofos desde os tempos pré-socráticos. Ao apresentar sua solução, Newton criou uma estrutura conceitual que iria dominar a física, mudando a visão coletiva do mundo até o início do século XX (ZANARDI, 2006).

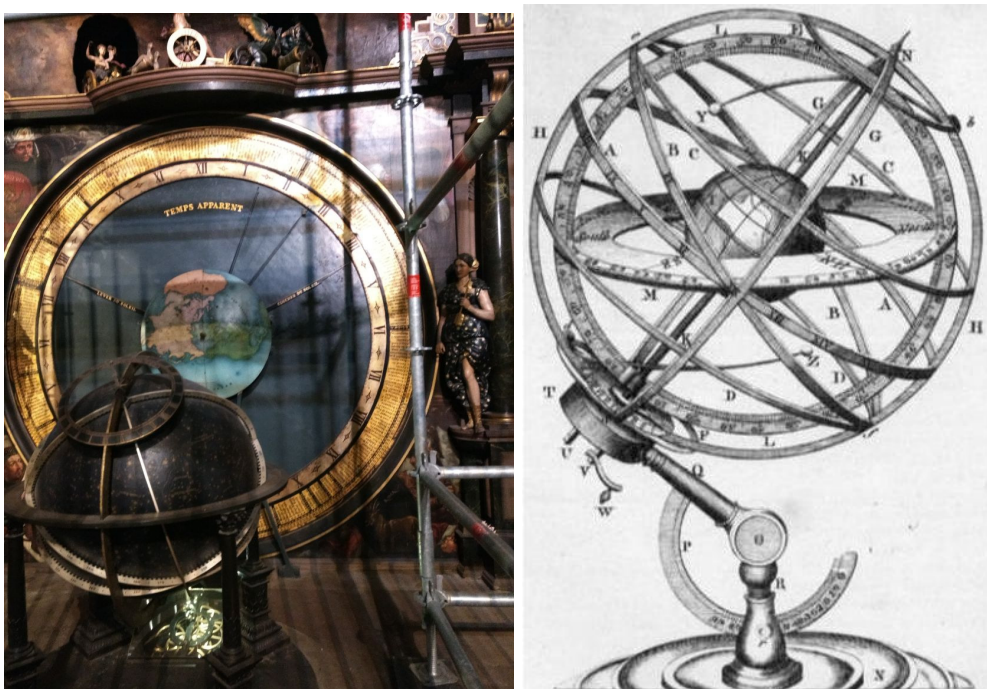
## MATERIAIS E MÉTODOS

Tais questões, que remontam à visão filosófica da época, podem ser aprendidas em diversos contextos. Neste trabalho, foram discutidos, a partir de pesquisas efetuadas pelos alunos e orientadas pelos pesquisadores, os modelos de órbita, partindo da visão Aristotélica, passando por Ptolomeu, o modelo copernicano de sistema solar, bem como o de Kepler, até chegar à idealização e criação do Cálculo Diferencial e Integral por Newton e Leibniz.

Deve-se considerar que o aprendizado de conceitos orientado pela ED, mas não somente neste contexto, requer um tempo para que se torne significativa. No entanto, os debates ocorridos na sala de aula, a partir de textos previamente selecionados e a construção paralela das Esferas Armilares, promoveram a modificação de esquemas nos alunos, uma vez que permitiram a aprendizagem do Cálculo sob uma ótica histórica e entremeada por questões filosóficas, ainda que de maneira introdutória. A verificação da aprendizagem se deu de forma qualitativa, na apresentação dos trabalhos pelas equipes, bem como durante os momentos de discussão, em que se podia verificar a participação efetiva dos alunos.

Os conceitos básicos da disciplina, tais como limites, derivadas e integrais foram sendo construídos, portanto, nessa perspectiva e revisitados ao final do trimestre, no momento da articulação dos grupos, montagem das apresentações, construção das Esferas e discussões finais para o fechamento das atividades.

A Figura 1 mostra duas esferas armilares: a primeira situada no Relógio Astronômico da Catedral de *Strasbourg*, e a segunda, o funcionamento de uma esfera armilar típica da época do Renascimento. O funcionamento deste objeto conforme ilustrado, encontra-se em Smith (2008).



**Figura 1:** Esfera Armilar localizada na Catedral de Notre Dame e modelo de esfera armilar.

A ideia e seu funcionamento são subjacente aos instrumentos meridianos modernos, podendo ser usado para medir declinação de estrelas, ou seja, suas latitudes equatoriais, e para “consertar” os momentos em que as estrelas passam pelo meridiano. Uma vez que podemos determinar o plano equatorial (a uma dada latitude de um ponto determinado, com uma precisão suficientemente alta. Consequentes, este instrumento nos permite medir declinações com uma precisão bastante alta. Medir longitudes requer momentos de fixação de estrelas que passam pelo meridiano, para o qual precisamos de um relógio suficientemente preciso ou um instrumento adicional para a medição rápida da distância longitudinal entre a estrela e o meridiano. Em qualquer caso, a medida das longitudes é uma operação muito mais complicada, por isso parece provável que os astrônomos medievais medissem ascensões retas com uma precisão muito menor do que as declinações (Fomenko; Kalashnikov; Nosovsky, 1999).

As equipes construíram duas esferas armilares, sendo descritos a seguir o material referente à cada equipe. A Equipe 1 utilizou: cano de PVC, Durepox, porcas e Arruelas, eixo rosqueado, madeira para suporte (base da esfera), um tubo de tinta spray dourada, bola de isopor, serra manual e tico-tico, furadeira, lixa, suporte.

O algoritmo de construção da primeira equipe foi desenhado conforme a Figura 2. Já a Figura 3 mostra o material utilizado e o passo a passo do desenvolvimento da esfera armilar deste grupo de alunos, enquanto que a Figura 4 mostra duas delas depois de concluídas e tal qual como foram apresentadas pelos alunos.





Figura 2: Algoritmo de construção da Esfera feito pelos alunos de uma das equipes.



Figura 3: Construção de uma Esfera Armilar por um dos grupos de alunos.



Figura 4: Duas Esferas Armilares construídas pelos alunos.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Esfera Armilar, assim como outros instrumentos antigos de navegação, pode ser incorporada às aulas para trabalhar conceitos de Matemática e Astronomia. Também pode ser utilizada nas aulas de Geografia, sem necessariamente utilizando-se do aporte matemático, e tendo como possível viés, o contexto histórico. Estes instrumentos podem ser parte de uma pesquisa conjunta entre disciplinas diversas, tais como Ciências, História, Geografia e Matemática, associados às Feiras de Ciências e eventos afins, entre outros.

A escolha pela ED promoveu uma aquisição de conceitos construídos no decorrer do processo, com intervenções mínimas e específicas dos pesquisadores, embora estes tenham acompanhado todo o processo. Isto também promoveu a iniciação científica dos alunos, com apresentação dos instrumentos construídos em palestras, com aquisição de certificados. Esta ação gerou um senso de responsabilidade maior, dito por eles mesmos após a conclusão dos trabalhos.

A ED foi proposta como a metodologia da *práxis* aplicada por promover uma construção muito mais baseada no aluno do que no professor, embora este seja um agente muito importante. Além disso, a sequência proposta por Artigue (1996) permite que haja o acompanhamento da proposta com um viés organizado, com início, meio e fim.

A história da Astronomia e da Matemática vêm somando-se ao trabalho, conduzindo o aprendiz no percurso teórico e promovendo a compreensão de questões filosóficas e epistemológicas, mesmo que estas não se esgotem (e nem devem, nem podem) no percurso da atividade.

As dificuldades encontradas, tanto num sentido matemático (geométrico, aritmético e algébrico), quanto nas questões que remetem à filosofia, epistemologia e Astronomia, conduziram, segundo relatos dos alunos, a dúvidas, questionamentos e a momentos de angústia. No entanto, também foram elementos chave na condução do aprender a fazer, do aprender a pesquisar e do aprender a aprender.

## REFERÊNCIAS

- ALMOULOU, S. A. **A Teoria das Situações Didáticas**. São Paulo: PUC-SP, 2004.
- ARTIGUE, M. **Engenharia Didática**. In: BRUN, J. Didática das Matemáticas. Tradução de: Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.
- BASSALO, José Maria Filardo. **A crônica da gravitação**. Parte II: da Grécia antiga à idade média. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.1-13, jun. 1990.
- BROUSSEAU, G. **Fundamentos e Métodos da Didáctica da Matemática**. In: BRUN, J. Didática das Matemáticas. Tradução de: Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.
- CHANG, Jonathan. **Celestial Globes Armillary Spheres**. FSTC: Manchester (United Kingdom), 2004.
- FITZPATRICK Richard. **A Modern Almagest: An Updated Version of Ptolemy's Model of the Solar System**. Editora da University of Texas: Austin, 2010.

FOMENKO, A. T., KALASHNIKOV V. V., NOSOVSKY, G. V. **Geometrical and statistical methods of analysis of star configurations: Dating Ptolemy's Almagest.** CRC Press: London, 1993.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. **A contribuição da física para um novo Ensino Médio.** Física na Escola, v.4, n. 2, 2003, p. 22-27.

KHAN, Samia. **The Armillary Sphere: a concentrate of knowledge in islamic astronomy.** FSTC Limited: Manchester (US), 2007.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia.** São Paulo: Edusp, 2005.

POMMER, Wagner Marcelo. **A Engenharia Didática em sala de aula: Elementos básicos e uma ilustração envolvendo as Equações Diofantinas Lineares.** Tese de Doutorado. USP. São Paulo, 2013.

SMITH, Stephen. **Armillary Spheres and Scientific Instruments in Renaissance life and Art.** The Material Renaissance Fall, 2008.