



MATERIAL DE APOIO PARA ABORDAGEM DAS TRÊS LEIS DE KEPLER NO ENSINO MÉDIO

MACEDO¹, Gabriel Luiz Nalon

*Licenciado em Física
Pós-graduando em Educação para Ciência e Matemática*

RESUMO

Pesquisas educacionais no ensino de ciência têm discutido durante as últimas décadas como alguns acontecimentos na história da ciência podem ser abordados durante a educação científica. Nessa perspectiva, a presente pesquisa assume que a utilização da história da ciência pode trazer benefícios para o Ensino de Física. O estudo buscou apresentar uma perspectiva histórica para as três leis de Kepler, a fim de construir o pensamento científico, desfazer concepções alternativas e de proporcionar discussões com os alunos, tornando assim o Ensino de Física não dogmático, no qual, apenas o professor é detentor do conhecimento. Nesse contexto, considerando a relevância que a física kepleriana tem para a Física e o seu ensino, desejou-se na presente pesquisa elaborar textos históricos, elucidando o processo de desenvolvimento das três leis do movimento planetário e, posteriormente, a organizar propostas de aulas, com base nesses textos. A pesquisa foi dividida em duas etapas principais, a primeira foi a elaboração dos textos históricos, realizando uma retomada de conceitos e pensamentos sobre alguns fenômenos físicos ao longo da história, partindo da concepção de Universo na Grécia Antiga até a elaboração das três leis do movimento planetário por Johannes Kepler, a fim de compreender como se deu a sua formulação do movimento dos astros. A segunda etapa foi organizar propostas de aulas, com base nesses textos, para serem utilizadas por licenciandos e professores de Física do Ensino Médio. Para auxiliar nesse estudo de cunho qualitativo, utilizou-se alguns procedimentos metodológicos elencados na Análise

¹ Universidade Estadual de Maringá – UEM – Maringá-PR, gabrielnalonmacedo@hotmail.com



Documental. Com base nessa análise, os resultados obtidos foram a construção de seis textos históricos e a elaboração de sete propostas de aulas. Com a elaboração desses seis textos e sete propostas de aulas, foi possível construir o caminho histórico até as três leis do movimento planetário de Kepler, de forma concisa, instigadora, problematizada e contextualizada para serem utilizados no Ensino Médio.

Palavras-chave: Movimento planetário; História da Física; Kepler; Ensino de Física;

INTRODUÇÃO

O Universo sempre fascinou e encantou os seres humanos, diversas sociedades como a grega, a babilônia, entre outras, buscavam entender, por exemplo, alguns mecanismos do funcionamento de nosso Sistema Solar. Como consequência, dessa observação atenta e questionadora, temos a divisão do dia terrestre em 24 horas; o ano formado por aproximadamente 365 dias e o detalhamento das especificidades de cada estação do ano, que é de suma importância para a agricultura.

Entre os filósofos gregos que se preocupavam em teorizar sobre o funcionamento do Universo, destaca-se Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.). O seu modelo cosmológico dividia o Universo em dois mundos (o “supralunar” e o “sublunar”), “[...] regrados por diferentes qualidades, no que concerne à natureza dos objetos e de seus movimentos” (ALBANESE; NEVES; VICENTINI, 2005, p. 66). Os corpos sublunares eram compostos de terra, água, ar e fogo, e os supralunares pelo éter. Para o estagirita, enquanto os movimentos dos corpos que habitam o mundo supralunar eram circulares e uniformes, pois eram perfeitos e incorruptíveis, os que se encontram no mundo sublunar dependiam da presença de terra, água, ar e fogo que compunham os objetos, havendo, desse modo, dois tipos de movimentos: o natural e o forçado ou violento (ÉVORA, 2005; ROCHA, 2015).



Apesar do esforço de muitos outros importantes personagens, durante séculos, em contrapor essas ideias aristotélicas, a primeira grande unificação, bem-sucedida, da Física terrestre e celeste é atribuída à Isaac Newton (1642 – 1727). Cento e quarenta e quatro anos depois da publicação do *Das Revoluções dos Corpos Celestes* (Copérnico); cinquenta e cinco anos depois da publicação do *Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo, o Ptolomaico e o Copernicano* (Galileu); sessenta e seis anos depois da duplicação do *Epítome da Astronomia Copernicana* (Kepler) e quarenta e três anos depois da publicação dos *Princípios da Filosofia* (Descartes), Isaac Newton publicou, em 1687, a primeira edição dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, mais conhecido como os *Principia* de Isaac Newton. Nessa obra, o britânico demonstrou, por exemplo, que a Lua está em um movimento de queda livre constante em torno da Terra. Em suas palavras:

Que a Lua gravita em direção à Terra e que é desviada continuamente de um movimento retilíneo e mantida em sua órbita pela força da gravidade (NEWTON, 2012, p. 197).

Apoiando-se sobre os ombros de seus antecessores, Newton teve o caminho aberto para dar a sua contribuição para o desenvolvimento da Física, formulando assim a Lei da Gravitação Universal. Para Newton chegar a este grande feito no estudo da dinâmica, ele recorreu à Lei dos períodos, também conhecida como a 3ª Lei de Kepler. Os estudos de Kepler foram de suma importância para Newton concluir a Lei da Gravitação Universal.

Desta forma, o presente trabalho traz a elaboração de textos históricos e propostas de aulas para iniciar o conteúdo de Gravitação no Ensino Médio, com base nas três leis do movimento planetário formulada por Kepler no século XVII. Pois, devido ao pouco tempo de hora-atividade que os professores têm nos dias de hoje, é difícil para os educadores terem que buscar materiais em diferentes meios para prepararem aulas que envolva um desenvolvimento das ideias a serem estudadas de forma ampla e



contextualizada. Tornando, assim, as aulas lecionadas tradicionalistas.

Ao longo dos últimos anos, o ensino tradicional tem recebido críticas de diversos pesquisadores (CARVALHO, 1989; CARVALHO, 2010; MATTHEWS, 1995). Nesse modelo de ensino, “[...] a atividade de ensinar está centrada no professor, que expõe e interpreta a matéria [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 64), expressando a ideia de que o conhecimento é algo a ser transmitido, sendo o aluno um agente passivo do processo. Dessa forma, os alunos são sobrecarregados de conhecimentos que são apenas decorados sem questionamento. O ensino tem como objetivo somente a execução de exercícios repetitivos, que não passam de mera manipulação de equações, reduzindo-se a pura memorização.

Essa prática é reforçada pelos livros didáticos, que trazem uma ciência fragmentada, criada por “mentes brilhantes”, não havendo mais nada para ser inventado ou descoberto, pois se encontra pronta e acabada. Essa visão leva os alunos a concluir que são incapazes de fazer ciência, aumentando seu desinteresse pelas aulas. Faz-se então necessário que o aluno compreenda que a ciência não é algo linear e fragmentado, da forma como é abordada tradicionalmente. Pelo contrário, sendo resultado da construção humana, não é imune a erros e está marcada por contradições e dúvidas (CARVALHO, 2016).

A utilização de forma adequada da história da ciência possibilita tornar o aluno um agente mais ativo e consciente da verdadeira natureza da ciência. Por consequência, aumentam as chances de um maior e mais eficaz desenvolvimento do pensamento crítico, tornando possível um entendimento mais integral e significativo dos conceitos estudados (MATTHEWS, 1995). Além disso, os textos históricos auxiliam o professor na compreensão da estrutura e desenvolvimento dos conteúdos que leciona, o que o capacita a compreender com mais profundidade as dificuldades e resistências dos discentes, pois o aluno precisa passar por um processo semelhante ao processo ocorrido no desenvolvimento histórico da ciência.



Assim, a pesquisa se justifica por propor a elaboração de textos históricos sobre as três leis do movimento planetário de Johannes Kepler (1571 – 1630) e propostas de aulas, com base nesses textos. O estudo construído servirá como um material didático adequado para abordar historicamente os conceitos keplerianos do movimento planetário, sendo muito útil para licenciandos e professores de Física do Ensino Médio.

Nesse contexto, considerando a relevância que a física kepleriana tem para a Ciência e o seu ensino, o *objetivo principal* da pesquisa foi *elaborar textos históricos apresentando o desenvolvimento das três leis do movimento planetário de Kepler e, com base nesses textos, organizar propostas de aulas.*

METODOLOGIA

A pesquisa de cunho qualitativo, buscou alcançar de forma significativa o objetivo formulado, a partir do estudo de livros e artigos de especialistas em Kepler.

O trabalho foi dividido em duas etapas principais, na primeira fez-se uso de alguns procedimentos metodológicos elencados na Análise Documental, pois nesse tipo de pesquisa, busca-se em documentos as informações que se necessitam (ROSA, 2013). A Análise Documental é utilizada como técnica de coleta de registros para um trabalho de pesquisa baseado na interpretação de documentos, segundo Rosa (2013), “[...] a análise documental é utilizada para que o pesquisador tenha noção do estado da arte no seu campo de pesquisa: o que já foi realizado? Quais os principais resultados que já foram obtidos por outros pesquisadores? Que metodologias já foram utilizadas para estudar este assunto? [...]”.

Dessa forma, a primeira etapa elencou as seguintes fontes secundárias para serem utilizadas como documentos na análise: *O homem e o Universo* (Arthur Koestler), *Astronomia Nova: a história da guerra contra Marte como exposição do método astronômico de Kepler* (Anastasia Itokazu), *A Força que Move os Planetas: Da noção de Species Immaterialia na Astronomia de Johannes Kepler* (Anastasia Itokazu), A



descoberta das Leis do Movimento Planetário (Ronaldo Mourão), The Music of Heavens: Kepler's Harmonic Astronomy (Bruce Stepheson), O método da Astronomia segundo Kepler (Roque Tossato), Apenas um lado do jogo: Kepler condicionado por seu tempo? (Roque Tossato), Carta de Tycho Brahe a Johannes Kepler em Graz (Roque Tossato), Copernicanismo e realismo: rumo à unificação entre astronomia e cosmologia (Roque Tossato), Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler (Roque Tossato) e Mysterium Cosmographicum: Os Antecedentes das Duas Primeiras Leis Keplerianas dos Movimentos Planetários (Roque Tossato).

A partir da análise desses documentos, foram elaborados textos históricos, realizando uma retomada de conceitos e pensamentos sobre alguns fenômenos físicos ao longo da história, partindo da concepção de Universo na Grécia Antiga até a elaboração das três leis do movimento planetário por Johannes Kepler, a fim de compreender como se deu a sua formulação do movimento dos astros.

Por fim, na segunda etapa, foram construídas propostas de aulas, embasadas nos textos históricos elaborados. As propostas de aulas foram estruturadas a fim de englobar a participação ativa do estudante e a utilização de temas geradores, simuladores, construção de maquete e júri/simulado para o desenvolvimento das aulas, visando romper com o ensino tradicional e dogmático.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com a pesquisa na primeira etapa foram a construção de seis textos históricos e, na segunda etapa, a elaboração de sete propostas de aulas embasadas nos textos históricos.

Os textos históricos elencam as principais ideias e conceitos que antecederam as três leis do movimento planetário e o desenvolvimento das três leis propriamente dito. Os



seis escritos construídos foram intitulados da seguinte forma: *As influências milenares, O começo da mudança, O pai da Astronomia moderna: Johannes Kepler, A precisão nos dados de Tycho Brahe: Caminho às leis do movimento planetário, A reinterpretação das órbitas dos planetas e A música kepleriana.*

O primeiro texto, *As influências milenares*, aborda os principais pensamentos e conceitos físicos e astronômicos elaborados por Pitágoras, Platão e Aristóteles e traz as principais ideias do modelo ptolomaico. As principais características desse texto são: apresentar o pensamento pitagórico sobre a matemática ser a base de tudo o que existe e a harmonia dos astros; expor a ideia platônica sobre o mundo sensível e o mundo inteligível, a fim de alcançar o dogma da circularidade de Platão; mostrar a concepção de universo aristotélica e enunciar os mecanismos do modelo geostático de Ptolomeu.

Dando continuidade à linha histórica, o segundo texto, *O começo da mudança*, apresenta os principais mecanismos e fundamentos do modelo heliostático de Copérnico. Em seguida, o terceiro escrito elaborado, *O pai da Astronomia moderna: Johannes Kepler*, traz um pouco sobre a vida de Kepler e apresenta a sua primeira obra *Mysterium Cosmographicum* de 1596, elencando os pensamentos essenciais da obra, como o modelo planetário kepleriano embasado nos sólidos platônicos.

O quarto texto, *A precisão nos dados de Tycho Brahe: Caminho às leis do movimento planetário*, traz a importância dos dados de Tycho Brahe, o maior astrônomo observacional da era pré-telescópica, para Kepler construir as três leis. Em seguida, no mesmo texto, é abordado a obra *Astronomia Nova* de 1609 e o desenvolvimento da lei das áreas ou, como é conhecida atualmente, a Segunda Lei de Kepler, elaborada três anos antes da Primeira Lei, conforme consta nos registros da *Astronomia Nova*.

O quinto escrito, *A reinterpretação das órbitas dos planetas*, mostra, ainda no livro *Astronomia Nova*, o dificultoso trabalho de Kepler para chegar à lei das órbitas, em que estabelece que as órbitas dos planetas são elípticas em torno do Sol. Por fim, o sexto texto, *A música kepleriana*, apresenta a obra *Harmonice Mundi* de 1619 e a construção



da terceira lei do movimento planetário de Kepler, destacando a forte influência pitagórica sobre a harmonia dos astros.

As sete propostas de aulas elaboradas, proveniente dos textos, são estruturadas da seguinte forma. Para a contextualização dos alunos, a proposta de aula para o primeiro texto deve ser uma aula de introdução às ideias que influenciaram Kepler no desenvolvimento das três leis do movimento planetário. O tema da aula deve abordar os pensamentos de concepção de Universo desenvolvidos por alguns dos grandes estudiosos antigos. O objetivo principal dessa primeira aula é construir com os alunos as ideias e concepções que predominaram antes de Kepler para contextualizar o aluno, deixando claro a ideia da harmonia dos astros de Pitágoras, o dogma da circularidade de Platão, a divisão de mundo de Aristóteles e a essência do modelo geostático de Ptolomeu.

A proposta de aula para o segundo texto, caracteriza-se por ter a possibilidade de ser abordada de duas maneiras distintas. A primeira de forma expositiva, debatendo com os alunos o conteúdo para atingir o objetivo da aula que é apresentar o modelo heliostático de Copérnico e deixar evidente a rejeição por parte da comunidade da época. Para o auxílio dessas discussões sobre os fenômenos questionáveis do modelo copernicano, o professor pode utilizar simuladores do modelo geostático e heliostático que mostram, por exemplo, a explicação do movimento retrógrado dos planetas. A segunda opção seria o professor organizar uma espécie de tribunal para julgar o modelo heliostático e geostático.

A proposta de aula para o terceiro texto apresenta o seguinte objetivo geral: introduzir aos alunos o modelo dos sólidos platônicos apresentado por Kepler na obra *Mysterium Cosmographicum*. Para que os alunos não fiquem passivos na aula, propomos que para iniciá-la o professor faça uma pergunta aos alunos na qual a mesma servirá como um tema gerador da aula. Assim como Kepler se perguntou o porquê o Universo era formado por precisamente seis planetas, a pergunta a ser feita aos alunos seria o porquê nosso sistema solar é formado por oito planetas e não mais ou menos do que isso.



Conforme as respostas dos alunos é papel do professor construir a dinâmica da aula com base nas respostas, a fim de direcionar o caminho da aula aos objetivos.

O texto quatro apresenta duas propostas de aula. A primeira proposta é apresentar aos alunos a história de Tycho Brahe, a fim de justificar a sua devoção à astronomia e de como obteve dados observacionais excelentes antes mesmo da invenção do telescópio. E descrever a relação entre Kepler e Tycho Brahe, que levará Kepler a ter acesso aos dados de Brahe e assim desenvolver as leis do movimento planetário. A segunda proposta é mostrar o caminho e as ideias que levaram Kepler a determinar a lei das áreas. Optou-se por apresentar a Segunda Lei de Kepler antes da Primeira Lei para respeitar a ordem cronológica de desenvolvimento e mostrar aos alunos que o desenvolvimento científico não acontece de forma linear como é mostrado geralmente. O professor poderá utilizar o simulador Planetary Orbit Simulator, para desenvolver os conceitos da lei com os alunos e avaliá-los de forma formativa.

A proposta de aula para o quinto texto é caracterizada por demonstrar o processo kepleriano para a obtenção da órbita elíptica de Marte. Em seguida, é proposto para o professor trabalhar algumas propriedades matemáticas da elipse e explicar a ocorrência das estações do ano na Terra, visto que é uma concepção alternativa pensar que a órbita elíptica da Terra é a responsável por esse fenômeno. Sugere-se também, a utilização de simuladores para trabalhar com a questão das excentricidades das órbitas. Por fim, é proposto a elaboração de um trabalho em que os alunos deverão construir uma maquete que represente a órbita de alguns corpos celestes do sistema solar.

A última proposta de aula elaborada está relacionada com o sexto texto. O professor poderá iniciar a aula questionando os alunos sobre a possibilidade de relacionar o movimento dos planetas em torno do Sol com a música, de forma a elucidar a ideia metafísica que está por trás da terceira lei. Após promover o debate, é proposto enunciar o caminho que Kepler percorreu para elaborar a lei da harmonia. Ao fim, o professor poderá estar mostrando o vídeo Giovanni Keplero – Harmonices Mundi, em que, através



dos dados obtidos por Kepler, é composta a melodia de cada planeta devido ao seu movimento em torno do Sol.

Por meio dos textos históricos e das propostas de aulas apresentadas acredita-se que, o conteúdo das três leis de Kepler, pode ser abordado com a inserção da história da física. Porém, é claro que há diversas realidades dentro de uma sala de aula em todo o Brasil, portanto, essas propostas de aulas elaboradas podem ser adaptadas conforme a necessidade do professor, a fim de atingir o objetivo principal dessa obra que é a construção histórica das três leis do movimento planetário de Kepler.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das propostas de aulas apresentadas acredita-se que o conteúdo de Gravitação, que é deixado em segundo plano e muitas vezes não é trabalhado pelo professor no Ensino Médio, pode ser iniciado com os estudos de Kepler sobre o movimento planetário. Esses estudos foram significativos para Isaac Newton concluir seu trabalho sobre a Gravitação Universal.

Enfatizando o processo histórico de desenvolvimento das ideias keplerianas apresenta-se aos alunos que a ciência não é construída de forma linear como na maioria das vezes é passado devido a aulas tradicionais.

REFERÊNCIAS

ALBANESE, A.; NEVES, M. C. D.; VICENTINI, M. **Concepções de estudantes sobre equilíbrio, atrito e dissipação**. In: NEVES, M. C. D.; SAVI, A. A. (Orgs.). De Experimentos, Paradigmas e Diversidades no Ensino de Física. Maringá, PR: Massoni, 2005. p. 65-84.

CARVALHO, A. M. P. **Física: proposta para um ensino construtivista**. São Paulo: EPU, 1989.



CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. **Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas.** In: CARVALHO, A. M. P. de (Coord.). *Ensino de Física.* São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 107-139.

CARVALHO, B. C. de. **Análise histórica do conceito de calor nos trabalhos de Joule e a Transposição Didática do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de Física.** 2016. 176. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência e a Matemática), Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR.

ÉVORA, F. R. R. **Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas.** *Cad. Hist. Fil. Ci.*, v. 15, n. 1, p. 127-170, 2005.

LIBÂNEO, J. C. **Didática.** São Paulo: Cortez, 1994.

MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação.** Tradução: Claudia Mesquita de Andrade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

NEWTON, I. **Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural – Livro II e III.** 1 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

ROSA, P. R. da S. **Uma introdução à pesquisa qualitativa em ensino de ciências.** Campo Grande: UFMS, 2013.

ROCHA, J. M. **A descoberta da Teoria da Gravitação Universal: Uma análise desde Aristóteles aos Principia.** 2015. 52f. Monografia (Licenciatura em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ.