

DETERMINANDO A FORMA DA ÓRBITA DE MARTE NO ENSINO MÉDIO

*Carlos Maximiliano Dutra*¹
*Andressa Rossini Goulart*²

Resumo: No presente trabalho, visando suprir a deficiência de atividades práticas relacionadas ao conteúdo de Leis de Kepler nos livros-textos de Física do 1º ano do Ensino Médio, apresentamos uma atividade prática de determinação da órbita de Marte. O aluno, combinando conceitos físicos com a geometria poderá vivenciar a experiência da descoberta da forma da órbita de Marte de modo similar ao realizado por Johannes Kepler. Aplicamos a metodologia proposta junto a dezoito professores do Curso de Especialização em Educação em Ciências e obtivemos em um trabalho de duas horas de duração o traçado da órbita de Marte com resultados numéricos médios que reproduzem com erro inferior a 14% os parâmetros orbitais de referência da órbita de Marte.

Palavras-chave: Órbita; Planeta; Marte; Kepler; Gravitação.

DETERMINACIÓN DE LA FORMA DE LA ÓRBITA DE MARTE EN LA ESCUELA SECUNDARIA

Resumen: En el presente trabajo y con el objetivo de reducir la escasez de actividades prácticas relacionadas con el contenido de las leyes de Kepler en libros de texto de física de la escuela secundaria, se presenta una actividad práctica para determinar la forma de la órbita de Marte. En esta actividad el estudiante puede vivir la experiencia de descubrir la forma de la órbita de Marte de una manera similar a la realizada por Johannes Kepler combinando los conceptos físicos con la geometría. Aplicamos la actividad a dieciocho maestros de escuelas secundarias en un Curso de Especialización en Enseñanza de las Ciencias. Después de dos horas de trabajo el grupo obtuvo la forma de la órbita de Marte con error inferior al 14% en los parámetros orbitales.

Palabras clave: Órbita; Planeta; Marte; Kepler; Gravitación.

DETERMINING THE SHAPE OF THE ORBIT OF MARS IN THE HIGH SCHOOL

Abstract: In the present work, in order to supply the lacks of practical activities related to the content of Kepler's Laws in high school physics textbooks, we present a practical activity to determine the shape of the orbit of Mars. In this activity the student can experience the discovery the shape of the orbit of Mars in a way similar to that realized by Johannes Kepler combining the physical concepts with geometry. We applied the activity to eighteen high school teachers participating in a Postgraduate Course in Science Education. After two hours of work the group obtained the shape of the orbit of Mars and estimated its orbital parameters with a relative error less than 14%.

Keywords: Orbit; Planet; Mars; Kepler; Gravitation.

¹ Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA. Uruguaiiana. Brasil.
Email: <carlosmaxdutra@gmail.com >

² Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA. Uruguaiiana. Brasil.
Email:<andressarossinigoulart@gmail.com>

1. Introdução

A evolução da compreensão da humanidade acerca do movimento dos planetas valeu-se da filosofia, religião, geometria e do empirismo através da observação sistemática do céu; Neves (2000) faz uma excelente revisão do tema abordando o Geocentrismo e Geostatismo até as concepções de Heliocentrismo e Heliostatismo.

Conforme Neves (2000) os modelos de esferas concêntricas para explicar o movimento planetário tiveram sua origem com Eudoxo de Cnido (408-355 a.C.) utilizando 27 esferas, sendo aperfeiçoado por Aristóteles (384-322 a.C.), que descreveu o movimento dos céus utilizando 55 esferas tendo a Terra como centro do Universo. Naquela época o “Universo” era composto pela Terra (no Centro), Sol, Lua, estrelas fixas, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Os modelos de “Universo” tornaram-se gradativamente mais complexos para dar conta com maior fidedignidade às observações dos astros. Ptolomeu (2 d.C.) sintetizou através da obra *Almagesto* o pensamento grego sobre o movimento dos astros com a Terra numa posição geostática, mas não mais geocêntrica.

Ptolomeu introduziu um sistema geométrico complexo compreendendo sistemas de epiciclos, deferentes, excêntricos e equantes, totalizando 13 círculos.

Nicolau Copérnico (1473-1543) retoma a ideia de Aristarco de Samos (310-230 a.C) concebendo o Sol como o centro dos movimentos planetários. Em sua obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, Copérnico descreve um sistema que necessitava de 34 círculos para explicar todos os movimentos planetários e da esfera celeste.

Segundo a Bíblia, a Terra deveria ser imóvel; 60 anos depois a Igreja Católica coloca a obra de Copérnico como literatura proibida pelo *Index Librorum Prohibitorum*.

Tycho Brahe (1546-1601) resgatou o modelo de Heráclides do Ponto, que combinava o Geocentrismo (Terra como centro do “Universo”) e o heliocentrismo dos planetas Mercúrio e Vênus, que giravam em torno do Sol. Tycho Brahe compilou dados de posições de 777 estrelas e dos planetas com precisão de cerca de 2 minutos de arco, aproximadamente cinco vezes mais precisas do que a de seus antecessores.

O modelo de Copérnico apresentava incoerências, sobretudo para calcular posições de Marte. Tycho acreditava que suas observações mais criteriosas e precisas, aliadas aos seus modelos, poderiam resultar em melhores previsões para a órbita de Marte, superando o modelo Copernicano.

Segundo Damasio (2011), em 1597 Johannes Kepler publicou a obra *Mysterium Cosmographicum*, que se valia das idéias de Platão para a explicação do “Universo” através dos sólidos platônicos. As habilidades matemáticas de Kepler chamaram a atenção de Tycho Brahe que, em 1600, convidou Kepler para trabalhar com ele na realização do estudo da órbita de Marte. Ainda conforme Damasio (2011), Kepler havia se comprometido em resolver o problema da órbita de Marte em oito dias, mas acabou levando oito anos.

Kepler primeiramente procurou ajustar o modelo de Copérnico com uma órbita circular para Marte; e segundo Damasio (2011), Kepler pode ter sido influenciado por uma anotação no seu exemplar da obra de Copérnico, onde estava escrita em grego a palavra *ελλειψις* (elipse) com a caligrafia de Schreiber (ex-professor de Kepler).

Tossato (2003) analisou os primórdios da primeira lei dos movimentos planetários (lei das órbitas) contidos em uma carta que Kepler escreveu em 1604 para Michael Mastlin, principal mestre que iniciou Kepler acerca das propostas copernicanas. Nesse documento, Kepler detalha seu procedimento para o estudo da

órbita de Marte e também as dúvidas que possuía em relação à forma da órbita. Já em outra carta dirigida a Fabrício em 1605, Kepler parece estar convencido de que a forma adequada para a órbita de Marte, e por consequência dos demais planetas, seria uma elipse.

Tossato (2003) destaca que a obra de Kepler *Astronomia Nova* (1609) vai além de enunciar as leis, constituindo-se quase num diário que descreve os passos realizados na formulação das leis do movimento planetário.

Tossato e Mariconda (2010) abordam os procedimentos metodológicos realizados por Kepler no processo de elaboração das duas primeiras leis dos movimentos planetários (lei das órbitas e lei das áreas), destacando a preocupação de Kepler em explicar a causa do movimento planetário estabelecendo as bases para a astronomia físico-matemática.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 2002), devem ser desenvolvidas as competências e habilidades relacionadas com: (I) representação e comunicação; (II) investigação e compreensão; e (III) contextualização sociocultural.

Conforme Rodrigues, Zimmermann e Hartmann (2012) diversos autores tem apontado vantagens no uso da História e Filosofia da Ciência para a complementação do Ensino de Ciências, apresentando o desenvolvimento do conhecimento científico que culminou nos conteúdos do livro didático.

Através da história da Ciência percebemos a evolução do conhecimento científico, desenvolvendo no aluno o interesse pelo processo da descoberta nas diferentes áreas da Ciência. Em relação às competências e habilidades de investigação e compreensão, os PCNEM (BRASIL, 2002) destacam na área “Ciência e Tecnologia na História” a habilidade de compreender que os conhecimentos científicos e tecnológicos são frutos da construção humana, dentro de um contexto histórico-social.

Evidenciamos também nos PCNEM (BRASIL, 2002) a importância de se discutir a evolução das concepções de Universo, onde o estudo do movimento planetário serviu de base para as primeiras concepções, conforme discutido anteriormente.

Verificamos que nos livros didáticos o tema do movimento planetário sistematizado nas Leis de Kepler é discutido em conjunto com a Gravitação no primeiro ano do Ensino Médio. Os livros-textos de Física do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD-Física) de 2012 (BRASIL, 2011) enunciam as leis de Kepler com a proposição de atividades de fixação (KAZUITO; FUKU, 2010; XAVIER; BARRETO, 2010; MÁXIMO; ALVARENGA, 2009), mas sem a proposição de atividade prática para este tema.

Por exemplo, Kazuhito e Fuku (2010) apresentam no capítulo 17 o tema Gravitação abordando seus aspectos conceituais e históricos e destacando as Leis de Kepler e sua importância.

1ª Lei de Kepler: a Lei das Órbitas: A trajetória das órbitas dos planetas em torno do Sol é elíptica, estando ele posicionado em um dos focos da elipse.

2ª Lei de Kepler: a Lei das Áreas: O segmento imaginário ou raio vetor que liga o Sol a um planeta varre (percorre) áreas proporcionais aos intervalos de tempo gastos durante sua translação.

3ª Lei de Kepler: Lei dos Períodos: Para dois planetas que orbitam em torno do Sol, os quadrados dos períodos de translação são proporcionais aos cubos dos respectivos raios médios de suas órbitas. (KAZUHITO; FUKU, 2010, p.326).

Neste artigo apresentamos uma proposta de abordagem prática da primeira lei de movimento planetário de Kepler, onde o aluno poderá vivenciar o problema de determinação da órbita de Marte a partir de observações astronômicas de forma similar e mais simplificada do que o processo de descoberta experimentado por Kepler.

2. Alguns conceitos sobre posições de Planetas

Em torno de 1600, Tycho Brahe apresentou a Kepler um conjunto de 12 observações de posições de Marte, quando este planeta se encontrava numa configuração planetária de oposição à Terra.

Antes de propormos a atividade de determinação da órbita de Marte é conveniente explicitarmos alguns conceitos referentes aos sistemas de coordenadas de posições dos planetas, as configurações planetárias e os períodos característicos de órbita dos planetas.

As posições dos planetas no céu podem ser determinadas segundo dois principais sistemas de coordenadas: (I) sistema de coordenadas eclípticas geocêntricas (centro de referência Terra) - definido pelas coordenadas de longitude e latitude geocêntricas e (II) sistema de coordenadas eclípticas heliocêntricas (centro de referência Sol) – definido pelas coordenadas de longitude e latitude heliocêntricas (BOCZKO, 1984). Neste artigo consideramos que Marte tem sua órbita aproximadamente no mesmo plano da órbita da Terra em torno do Sol e por isso não exploraremos os conceitos de latitudes geocêntricas e heliocêntricas.

Na Figura 1, ilustramos diferentes posições de longitude eclíptica geocêntrica, ou simplesmente longitude geocêntrica do Sol. A origem da medida da longitude geocêntrica $l=0^\circ$ é o ponto vernal γ , que denota a posição de intersecção entre os círculos da Eclíptica e do Equador (celeste), (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

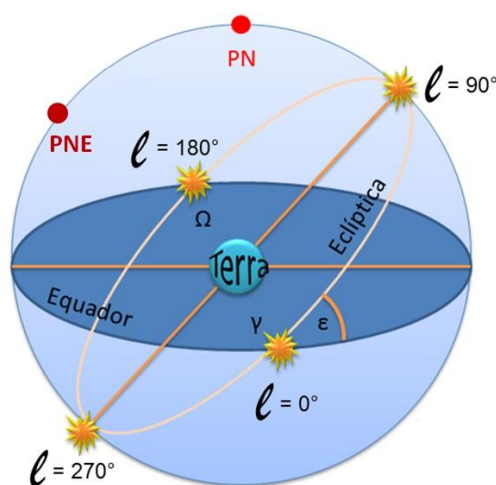


Figura 1 - Posições de longitude eclíptica geocêntrica do Sol. Representação não está em escala.

Com a observação sistemática do movimento dos planetas no céu noturno, os astrônomos convencionaram as configurações planetárias (Figura 2) que são posições relativas que os planetas do Sistema Solar assumem quando vistos da Terra. Para um planeta com órbita superior à da Terra como no caso de Marte, temos as seguintes configurações medidas quantitativamente pela distância angular do planeta ao Sol quando visto da Terra e que se denomina Elongação – E.

Conjunção: o planeta está junto ao Sol na linha de visada ($E=0^\circ$), por exemplo, o planeta nasce e se põe junto com o Sol.

Oposição: o planeta está na direção oposta ao Sol ($E=180^\circ$), por exemplo, quando o Sol está se pondo (na direção oeste) o planeta está nascendo (na direção leste).

Quadratura Ocidental: o planeta está 6h a oeste do Sol ($E=90^\circ$), por exemplo, quando o Sol está nascendo, o planeta está alto no céu só não sendo visível porque já é dia claro.

Quadratura Oriental: o planeta está a 6h a leste do Sol ($E=90^\circ$), por exemplo, quando o Sol está se pondo (na direção oeste) o planeta está alto no céu.

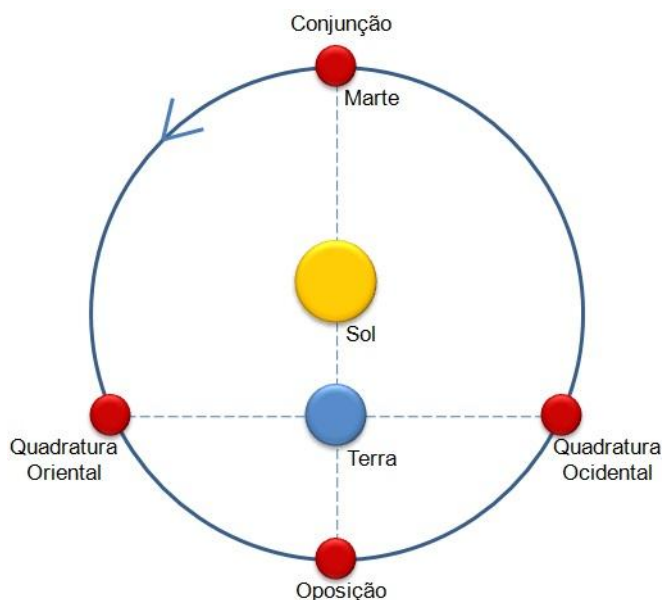


Figura 2 - Representação das Configurações planetárias entre Terra-Sol-Marte. Não está em escala.

O acompanhamento da repetição no tempo das configurações planetárias permitiu aos astrônomos da antiguidade determinar o período sinódico dos planetas conhecidos na época (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno). O período sinódico de um planeta é definido como o intervalo de tempo entre duas configurações idênticas deste planeta, por exemplo, o intervalo de tempo entre duas oposições. Outro ciclo de tempo de interesse astronômico é o período sideral que é definido como o intervalo de tempo para o planeta dar uma volta completa em torno do Sol.

Conforme Neves (2000), o astrônomo Nicolau Copérnico determinou com precisão os períodos siderais dos planetas, tendo como base observações precisas dos períodos sinódicos e adotando um modelo Heliocêntrico. Particularmente para Marte, temos um período sinódico de 779,04 dias e um período sideral de 1,88 anos ou 687 dias.

3. Método de determinação orbital

Em 1600 o astrônomo Tycho Brahe convidou Johannes Kepler para que através do uso dos seus dados observacionais determinasse a forma da órbita de Marte. Kepler prometeu realizar o trabalho em 8 dias, mas acabou levando 8 anos, segundo Damasio (2011). Para reviver esta experiência de forma simplificada, construímos a Tabela 1 para servir de fonte de dados observacionais:

Data	Dia Juliano	Longitude Heliocêntrica	Longitude Geocêntrica	Número Oposição
	2.400.000	Terra	Marte	
	+	λ_T	$\Theta(\text{graus})$	
27.08.2003	52879	334	334	1
14.07.2005	53566	292	22	
07.11.2005	53682	45	45	2
25.09.2007	54369	2	88	
24.12.2007	54459	92	92	3
10.11.2009	55146	48	131	
29.01.2010	55226	129	129	4
17.12.2011	55913	85	166	
03.03.2012	55990	163	163	5
19.01.2014	56677	119	199	
08.04.2014	56756	198	198	6
24.02.2016	57443	155	236	
22.05.2016	57531	242	242	7
09.04.2018	58218	199	283	
27.07.2018	58327	304	304	8
13.06.2020	59014	263	351	
13.10.2020	59136	20	20	9
31.08.2022	59823	338	66	

Tabela 1 - Posições de longitude heliocêntrica da Terra e geocêntrica de Marte.

Os dados da Tabela 1 são pares de observações de longitude heliocêntrica da Terra e longitude geocêntrica de Marte quando o sistema Sol-Terra-Marte encontra-se na configuração de Oposição (Sol de um lado, Terra no meio e planeta Marte no lado oposto ao Sol) e exatamente 687 dias após esta configuração.

Observa-se que transcorrido este período de tempo, Marte não estará na mesma posição em relação à Terra, por que o nosso período de translação (uma volta completa em torno do Sol) é de 365 dias.

O conjunto de posições da Terra e de Marte da Tabela 1 foram obtidos através da determinação das oposições do sistema Sol-Terra-Marte durante o período de 2003 a 2022, centrado no ano 2012, da seguinte forma: (I) utilizou-se o serviço de efemérides

ONLINE “Planetary and Lunar Elongation Calendar”³ para obter a data de oposição do Sistema Sol-Terra-Marte; (II) utilizou-se o software Swiss Ephemeris – SWEPH⁴, com licença pública GNU e desenvolvido por Dieter Koch & Alois Treindl (2008), para obter as coordenadas de longitude heliocêntrica da Terra e longitude geocêntrica de Marte nos períodos de oposição.

Adotando para a Terra uma órbita circular com o Sol no centro (a aproximação circular é bastante boa, dado que a excentricidade da Terra é $e \approx 0,0167$ para J2000), nós podemos determinar por triangulação, de cada par de dados, a posição de Marte em relação ao Sol ao longo das direções de oposição, conforme ilustrado na Figura 3, e estando determinadas as sucessivas posições de Marte podemos traçar a sua órbita.

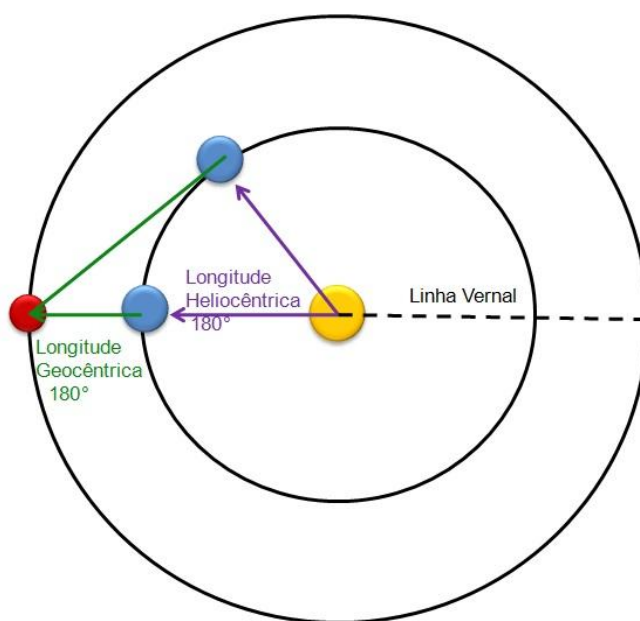


Figura 3 - Ilustração da triangulação de determinação de posições de Marte na sua órbita. Representação não está em escala.

Sistematizando passo a passo o procedimento da triangulação, ilustrados nas Figuras 4, 5 e 6, temos:

- (1) Com o auxílio de um compasso desenhe no centro de uma folha de papel tamanho A4, um círculo de raio igual a 4 cm, este representará a órbita da Terra.
- (2) Desenhe a partir da origem do círculo os dois eixos (horizontal e vertical, no referencial de quem faz o desenho) e marque os ângulos correspondentes aos arcos na circunferência (0° , 90° , 180° , 270° e 360°). Considere a posição 0° ou 360° como a origem do sistema de coordenadas eclípticas que corresponde ao Ponto Vernal, e temos a graduação para medir as longitudes heliocêntricas da Terra e longitudes geocêntricas de Marte.
- (3) Considerando os dados da Tabela 1, identifique com o transferidor o ângulo correspondente à longitude heliocêntrica da Terra (334°) do primeiro par de

³ Disponível em: <<http://www.astrohobby.com/crf.htm>>.

⁴ Disponível em: <<http://www.astro.com/ftp/swisseph/?lang=e>>.

pontos (Oposição) e marque esta posição sobre o círculo da órbita da Terra. A seguir indique esta direção desenhando uma reta da origem do círculo passando pelo ponto recém-marcado e indo até o fim da folha.

- (4) Identifique com o transferidor o ângulo correspondente à longitude heliocêntrica da Terra (292°) do segundo par de pontos (Oposição) e marque esta posição sobre o círculo da órbita da Terra.
- (5) A partir da posição marcada para a Terra no passo 4, desenhe uma reta com inclinação em relação a horizontal (representada por uma linha tracejada na Figura 4 e que está paralela a reta 0° - 180° da linha vernal) correspondente a longitude geocêntrica de Marte (22°) do segundo par prolongando-a até encontrar a reta desenhada no passo (3).
- (6) Na intersecção das linhas traçadas nos passos (3) e (5) marcamos o ponto 1, correspondente à primeira posição determinada para Marte.

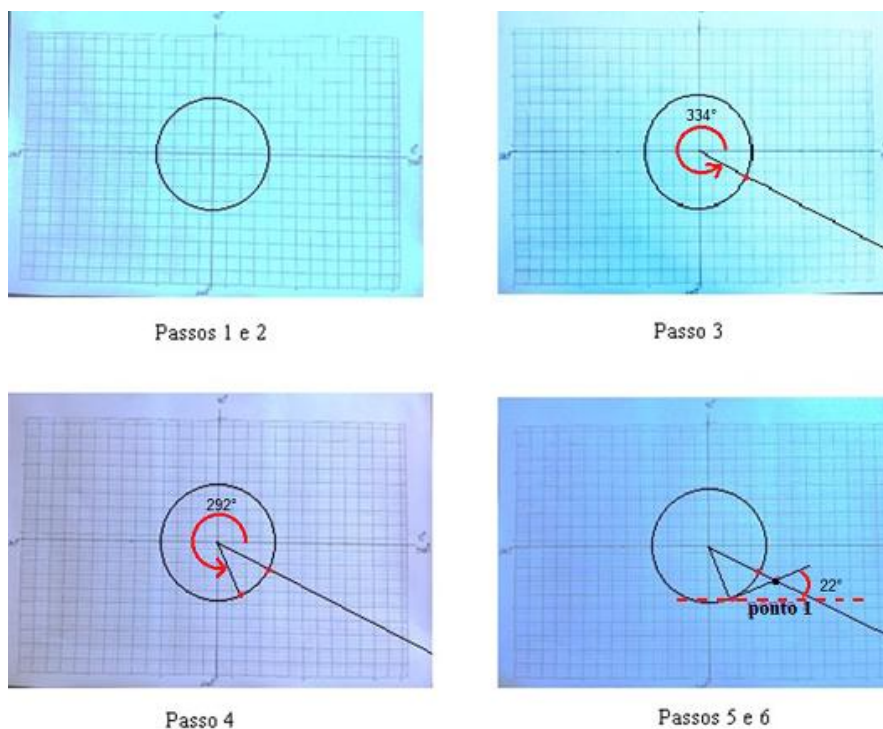


Figura 4 - Ilustração dos passos 1 a 6 de determinação da órbita de Marte.

Repetimos esse procedimento sucessivamente para os outros oito pares de posições da Tabela 1, determinando assim nove posições de Marte (ver Figura 5).

- (7) Desenhe suavemente curvas entre as posições de Marte traçando assim a sua órbita (ver Figura 5).

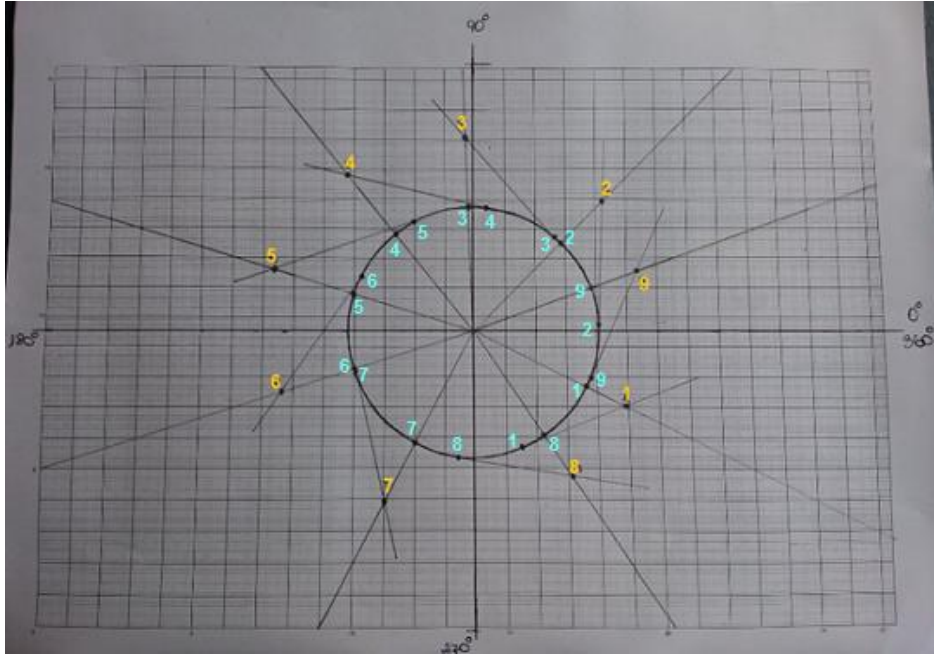


Figura 5 - Ilustração do passo 7 de determinação da órbita de Marte. Sendo indicados em azul os conjuntos de pares de pontos de longitude heliocêntrica da Terra utilizados para a determinação das respectivas posições de Marte, conforme indicado pela numeração.

Após desenhar a órbita de Marte, obtendo a representação gráfica similar a Figura 6 através dos passos acima, podemos questionar aos alunos se:

- (1) A órbita de Marte tem o mesmo centro geométrico que a do círculo que representa a órbita da Terra?
- (2) A forma da órbita de Marte é circular como a órbita da Terra?

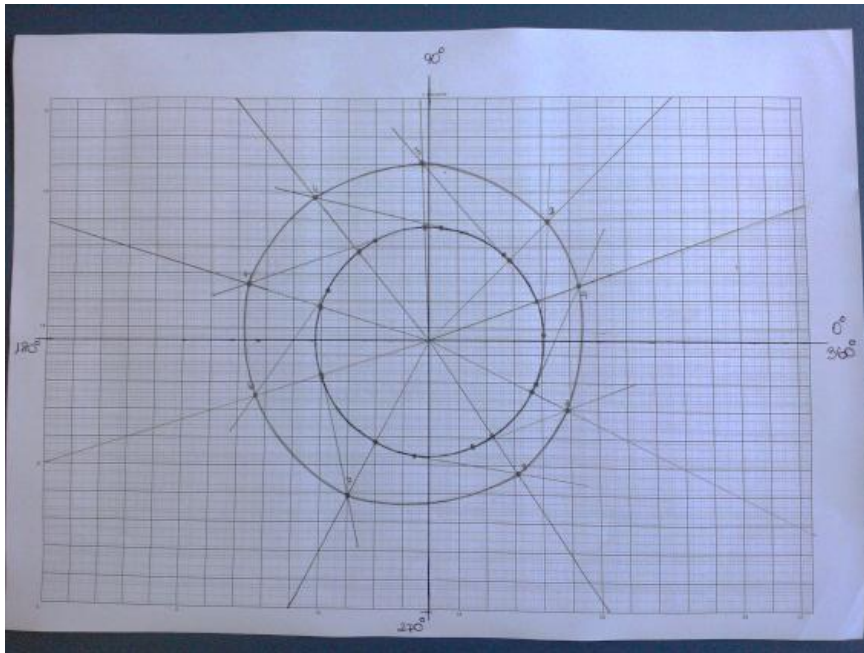


Figura 6 - Ilustração do resultado gráfico do procedimento de determinação da órbita de Marte. (ver também a Figura 9).

Ao concluírem uma resposta negativa para essas duas questões, podemos dizer que alcançaram as mesmas observações de Kepler, e a solução foi procurar uma forma geométrica que levasse em conta o formato das órbitas de Marte e da Terra, e ao mesmo tempo, colocasse o Sol em uma mesma posição para ambas.

Kepler encontrou na família geométrica das elipses a solução para as órbitas planetárias, tendo o Sol posicionado em um dos focos de acordo com a representação da Figura 7 onde temos: (I) r_1 – periélio, o ponto da órbita mais próximo do Sol; (II) r_2 – afélio, o ponto da órbita mais distante do Sol. Estas duas medidas definem a excentricidade “ e ” dada pela relação:

$$e = \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} \quad (\text{Equação 1})$$

A direção do periélio pode ser determinada a partir de duas perspectivas, pelas grandezas do argumento do periélio e da longitude heliocêntrica do periélio.

O argumento do periélio é definido como sendo o ângulo ω desde o nodo ascendente (intersecção dos planos da eclíptica – P2 e da órbita do planeta – P1) até o periélio medido no plano orbital do planeta P1.

Como a inclinação do plano da órbita de Marte em relação ao plano da Eclíptica é de $1,85^\circ$ (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>), podemos dizer que aproximadamente os planos P1 e P2 se confundem, de tal sorte que, a longitude heliocêntrica do periélio de Marte pode ser definida como o ângulo medido desde a direção do ponto vernal até a direção do periélio sob o plano da eclíptica.

Sendo exatamente coplanares as duas órbitas, teríamos a longitude heliocêntrica do periélio de Marte como sendo a soma do argumento do periélio ω com a longitude heliocêntrica do nodo ascendente Ω , conforme parâmetros definidos na Figura 7.

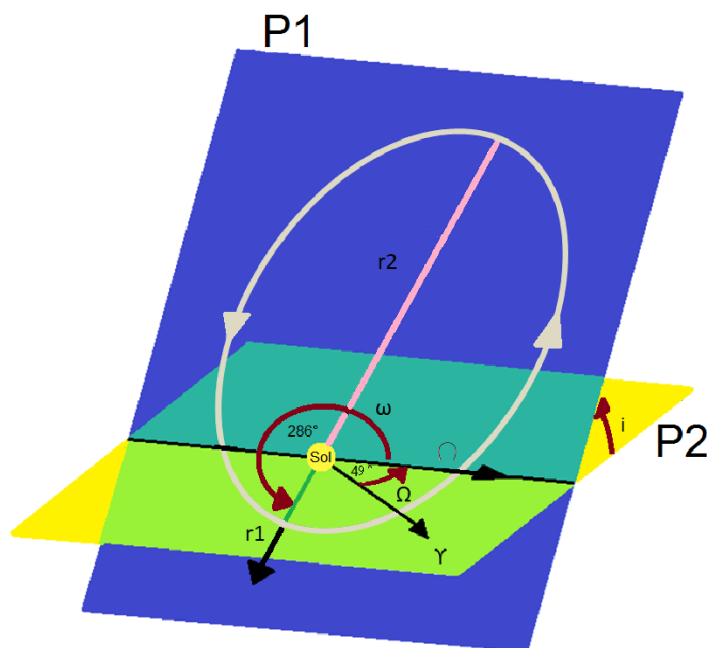
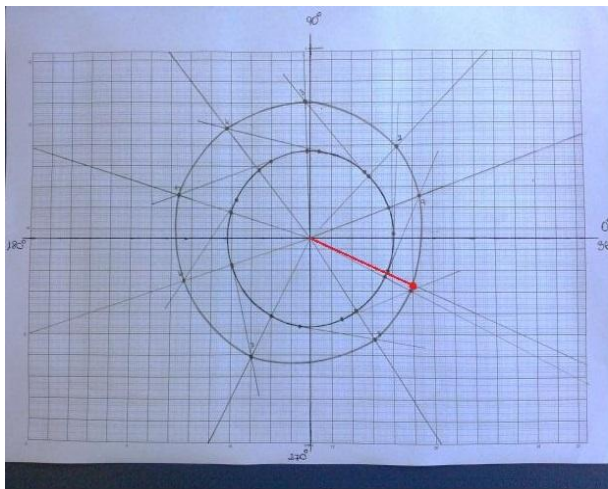


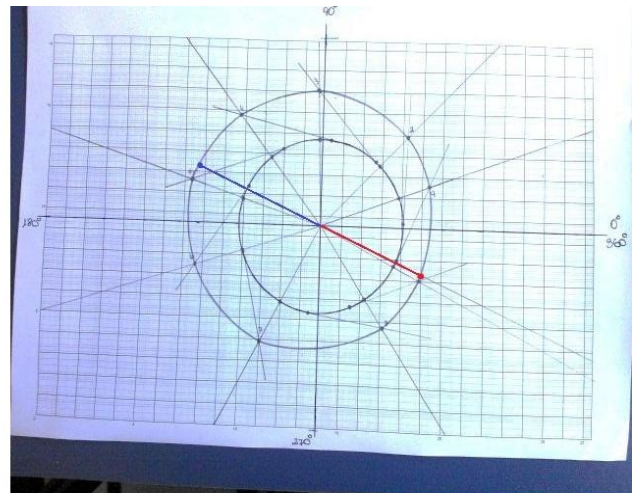
Figura 7 - Quadro esquemático representando os parâmetros da órbita elíptica de Marte. Os valores de $\omega \approx 286^\circ$ e $\Omega \approx 49^\circ$ tem como referência época J2000.

Vamos, a partir da órbita traçada de Marte, determinar a orientação e a excentricidade (grau de achatamento) da sua órbita pela determinação das longitudes heliocêntricas e distâncias dos pontos de periélio e afélio de Marte, através dos passos abaixo, ilustrados na Figura 8:

- (1) Determine a direção na qual Marte estaria mais próximo do Sol (ponto no centro da órbita da Terra), na direção do periélio, e marque com um ponto na órbita de Marte (ponto vermelho);
- (2) Desenhe uma linha entre o ponto de periélio, na órbita de Marte, até o centro do círculo para destacar a direção do Periélio.
- (3) Com o transferidor determine o ângulo entre a direção do periélio (determinada nos passos (1) e (2)) e a direção do ponto vernal (localizada na direção horizontal no sentido da posição 0 graus do círculo). Este ângulo será a longitude heliocêntrica do Periélio da Órbita de Marte (considerando por aproximação que a órbita de Marte está no mesmo plano da órbita da Terra em torno do Sol – Plano da Eclíptica).
- (4) Considerando a linha da direção do periélio encontrada no passo (2), prolongue esta linha no sentido contrário até tocar a órbita de Marte para definir o ponto de Afélio (ponto azul).



Passos 1,2 e 3



Passo 4

Figura 8 - Representação gráfica: Painel à esquerda: passos 1,2 e 3; Painel à direita: passo 4.

- (5) Medindo com uma régua a distância do ponto de periélio do passo (3) até o Sol, determine em cm a distância do periélio de Marte. Considerando o raio da órbita da Terra de 4 cm como equivalente a 1 Unidade Astronômica, calcule a distância do periélio em Unidades Astronômicas.
- (6) Medindo com uma régua a distância do ponto de afélio do passo (4) até o centro determine em cm a distância do afélio de Marte. Considerando o raio da órbita da Terra de 4 cm como equivalente a 1 Unidade Astronômica, calcule a distância do afélio em Unidades Astronômicas.

- (7) Determine a excentricidade da órbita de Marte através da Equação 1, onde r_1 a distância do Periélio e r_2 a distância do Afélio.
- (8) Verifique o erro de sua estimativa comparando com o valor de referência para a excentricidade da órbita de Marte é $e=0,093$,
- (9) Coloque aqui os seus resultados:

Afélio = _____ cm ==→ _____ UA

Periélio = _____ cm ==→ _____ UA

Longitude Heliocêntrica do Periélio = _____ °

Excentricidade da órbita de Marte = _____

Erro relativo da Excentricidade = _____ %

Ao realizarmos previamente a verificação dos passos da atividade de determinação da órbita de Marte, obtivemos os seguintes resultados:

Afélio = 6,6 cm ==→ 1,65 UA

Periélio = 5,4 cm ==→ 1,35 UA

Longitude Heliocêntrica do Periélio = 337°

Excentricidade da órbita de Marte = 0,10

Erro relativo da Excentricidade = 7,53%

4. Aplicação e considerações finais

Para validarmos a proposta didática de determinação da órbita de Marte, aplicamos a metodologia junto a 18 professores de diferentes áreas de formação que atuam na Rede de Educação Básica do município de Uruguaiiana e que são alunos do curso de Especialização em Educação em Ciências da UNIPAMPA edição 2012/1. Neste curso, dentro da componente curricular Ensino de Astronomia, após abordarmos conteúdos referentes às Leis de Kepler e Gravitação do Sistema Solar foi proposta a realização da prática de determinação da órbita de Marte.

A aplicação teve duração de aproximadamente 2 horas e os alunos evidenciaram visualmente que as órbitas de Marte e da Terra não tinham o mesmo centro geométrico e apresentam o formato bem distinto.

Ilustramos na Figura 9, exemplo de resultado gráfico obtido para forma da órbita de Marte por um dos alunos-professores do curso de Especialização em Educação em Ciências – UNIPAMPA:

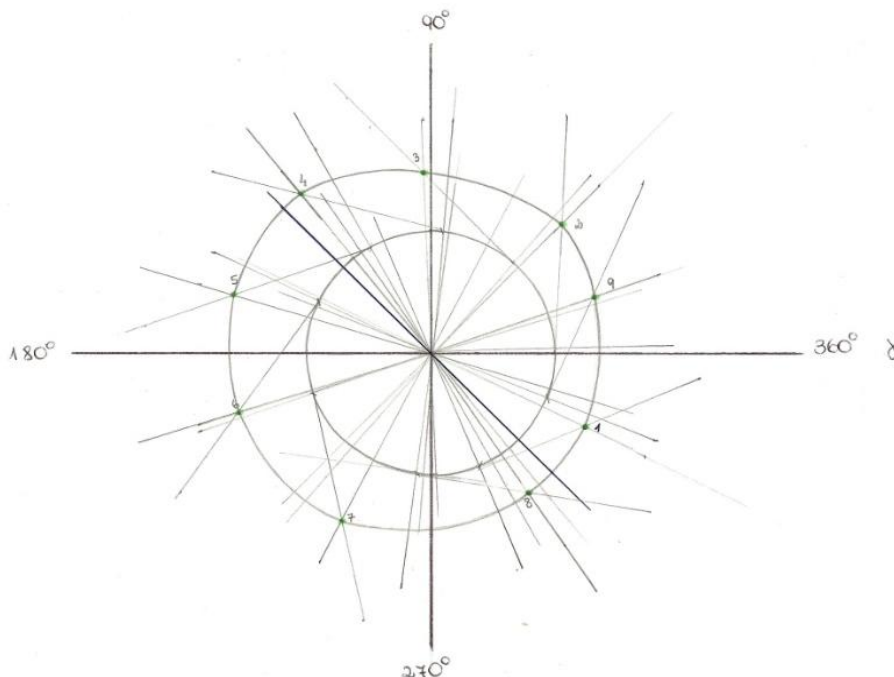


Figura 9 - Um resultado gráfico da determinação da órbita de Marte.

Em relação à determinação dos parâmetros da órbita de Marte, apresentamos na Tabela 2 a síntese dos resultados, verificando que os valores médios dos parâmetros orbitais obtidos pelos 18 professores reproduziram com erro máximo de aproximadamente 14% os valores orbitais de referência da órbita de Marte.

	Valor Referência*	Média	Desvio Padrão	Erro (%)
Afélio (UA)	1,639	1,698	0,085	3,59
Periélio (UA)	1,405	1,376	0,084	-2,06
Longitude Heliocêntrica do Periélio (°)	336,04	334,37	10,95	-0,50
Excentricidade	0,0934	0,1065	0,024	13,99

Tabela 2 - Resultado de aplicação da determinação da órbita de Marte.

*Fonte: (NASA, 2013).

Considerando que essa atividade aborda conhecimentos das Leis de Kepler, que geralmente são ensinados conjuntamente com o tema Gravitação na disciplina de Física do 1º ano do Ensino Médio, e que também nesta série em Matemática são trabalhados os conceitos de geometria, esta proposta pode ser desenvolvida através de um projeto interdisciplinar das duas disciplinas.

Santos e Curi (2012) verificaram através de dados do INEP/MEC de 2009 que no Brasil grande parte dos professores de Matemática atua também em Física. Explorando ainda mais a aplicação do conceito de elipses, poderá se trabalhar com o

desenho das elipses que representam as órbitas dos demais planetas do Sistema Solar tomando como referência os parâmetros orbitais de referência disponíveis na internet.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Astrofísica (INCT-Astrofísica, <http://www.astro.iag.usp.br/~incta/estrutura.htm>) pelo apoio financeiro através de bolsa de Iniciação Científica do CNPq.

Referências

BOCZKO, R. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1984.

BRASIL. Ministério da Educação e do desporto. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação e do desporto. Secretaria de Educação Básica. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012 - Física**. 90 p. Brasília: MEC, 2011.

DAMASIO, F. O início da revolução científica: questões acerca de Copérnico e os epiciclos, Kepler e as órbitas elípticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.33 n.3, p.3602, 2011.

KAZUHITO, Y.; FUKU, L. F. **Física para o Ensino Médio: volume 1 - Mecânica**. 1. cap.17, p.320-335. São Paulo: Saraiva, 2010.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física Ensino Médio: volume 1**. cap.6, p.208-211. São Paulo: Scipione, 2009.

NASA. **Mars Fact Sheet**. Disponível em: <<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>> Acesso em: 10 julho 2013.

NEVES, M. C. D. A Terra e sua Posição no Universo: Formas e Dimensões e Modelos Orbitais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.22, n.4, p.557-567, 2000.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F., **Astronomia e Astrofísica**. 2. Ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

RODRIGUES, E. V.; ZIMMERMANN, E.; HARTMANN, Â. M. Lei da Gravitação Universal e os satélites: Uma abordagem Histórico-temática usando Multimídia. **Ciência & Educação**, v.18, n.3, p.503-525, 2012.

SANTOS, C. A. B., CURI, E. A Formação dos professores que ensinam Física no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v.18, n.4, p. 837-849, 2012.

TOSSATO, C. R. Os primórdios da primeira lei dos movimentos planetários na carta de 14 de dezembro de 1604. **Scientiae Studia**, v.2, n.2, p.195-206, 2003.

TOSSATO, C. R.; MARICONDA, P. R. O método da astronomia segundo Kepler. **Scientiae Studia**, v.8, n.3, p.339-366, 2010.

XAVIER, C.; BARRETO, B. **Física Ensino Médio**: volume 1 - Mecânica. p.314-322. São Paulo: FTD, 2010. (Coleção Física Aula por Aula).