



Pós-Graduação em **Astronomia**
MESTRADO PROFISSIONAL
UEFS



Atividade Prática: “Simulador de Órbitas Planetárias do NAAP Labs”

(Baseado no Student Guide do NAAP Labs)
NAAP – The Nebraska Astronomy Applet Project

Maria Amanda Guimarães Santos
Paulo César da Rocha Poppe

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Santos, Maria Amanda Guimarães
S236a Atividade prática: Simulador de órbitas planetárias do NAAP Labs/
Maria Amanda Guimarães Santos, Paulo César da Rocha Poppe . – Feira de
Santana: UEFS, 2023.
20p. : il.

Produto educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em
Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

1. Simulador orbital. 2. Movimento planetário. I. Poppe, Paulo César
da Rocha. II. Título.

CDU: 523.4

Rejane Maria Rosa Ribeiro CRB-5/695

Apresentação

Esta proposta de atividade prática no simulador de órbitas planetárias, representa o produto educacional desenvolvido por intermédio da Dissertação “De Platão À Kepler: Um Recorte Sobre O Movimento Dos Planetas No Sistema Solar”, desenvolvido dentro do Programa de Mestrado em Ensino de Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana – MPASTRO (UEFS).

Ao longo da pesquisa abordamos o problema do movimento retrógrado dos planetas, apresentado pelo filósofo grego Platão no século IV a.C., procuramos responder que importância teve as duas teorias apresentadas como solução do problema, Geocêntrica e Heliocêntrica, para a História da Ciência? Como estes assuntos são tratados nos livros didáticos, e pelos professores em sala de aula? Constatando que ainda existe uma grande carência de informações sobre esta temática na Educação Básica, um tema pouco explorado nos livros didáticos.

A proposta deste instrumento didático objetiva contribuir com o trabalho docente, servindo de apoio das bases teóricas de cunho histórico, com atividades que estimulam o processo de ensino-aprendizagem, e métodos que incentivam a assimilação do conteúdo por parte dos alunos. Além do resgate histórico, esta proposta de atividade revela ao estudante a evolução do pensamento científico, visando o estímulo ao interesse científico e tecnológico.

Nesta proposta vamos apresentamos uma contextualização das Leis de Kepler e Newton relativas ao movimento planetário e situações problemas em formato de experimentos a serem realizados no software de simulação de Órbitas Planetárias, permitindo o estudante realize simulação de observações e classificações, facilitando a assimilação dos conteúdos.

Um material que estimula o interesse científico dos estudantes e contribui para um melhor aprendizado, a partir de um diálogo entre teoria e experimentação (observação). Aproximando o estudante da importância histórica das teorias para a evolução científica da Astronomia, sendo indispensável na compreensão acerca do seu contexto histórico, facilitando a assimilação dos conteúdos referentes ao movimento planetário, um conceito repleto de riquezas históricas, esta atividade estreita o diálogo entre os estudantes e o conhecimento científico, transformando a aprendizagem das teorias significativas.

Nesta atividade prática vamos evidenciar as leis relativas ao movimento planetário, com situações-problemas para serem realizadas no software de simulação de órbitas planetárias, demonstrados no passo a passo de cada simulação

Bom trabalho!

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 1.1. Base Nacional Comum Curricular (BNCC)..... | 5 |
| 2. Leis de Kepler do Movimento Planetário | 6 |
| 2.1. 1ª Lei: Lei das Órbitas Elípticas (1609) | 6 |
| 2.2. 2ª Lei: Lei das Áreas (1609) | 7 |
| 2.3. 3ª Lei: Lei dos Períodos (Lei Harmônica – 1618) | 7 |
| 3. Newton e o Movimento Planetário..... | 8 |
| 3.1. 1ª Lei do Movimento: Lei da Inércia. | 8 |
| 3.2. 2ª Lei do Movimento: Princípio Fundamental da Dinâmica | 8 |
| 3.3. 3ª Lei do Movimento: Lei da Ação e Reação | 8 |
| 3.4. Lei da Gravitação Universal | 9 |
| 4. Simulador De Órbitas Planetárias..... | 10 |
| 5. Atividade: 1ª Lei de Kepler..... | 11 |
| 5.1. Questões: 1ª Lei de Kepler..... | 12 |
| 6. Atividade: 2ª Lei de Kepler..... | 13 |
| 6.1. Questões: 1ª Lei de Kepler..... | 14 |
| 7. Atividade: 3ª Lei de Kepler..... | 15 |
| 7.1. Questões: 1ª Lei de Kepler..... | 16 |
| 8. Atividade: Elementos Newtonianos | 17 |
| 8.1. Questões: 1ª Lei de Kepler..... | 18 |
| 9. Referências. | 19 |
| 10. Termo de Validação do PTE..... | 20 |

1. INTRODUÇÃO.

1.1. Base Nacional Comum Curricular (BNCC)

Na BNCC, está entre as finalidades do Ensino Médio, “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina” (Brasil, 2018), as diferentes áreas do conhecimento deve agir em articulação, possibilitando os estudantes “compreender e utilizar os conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico-tecnológico, bem como os procedimentos metodológicos e suas lógicas” (Brasil, 2018).

De acordo com a BNCC a área de Matemática e suas Tecnologias, no Ensino Médio os estudantes devem fortalecer conceitos e conhecimentos desenvolvidos na etapa do Ensino Fundamental. A sistematização de leis e teorias ocorre na área de Ciências da Natureza, elaborar, interpretar e aplicar modelos explicativos para fenômenos são aspectos do fazer científico, portanto, é na etapa do Ensino Médio que o estudante desenvolve o pensamento científico envolvendo aprendizagens específicas. Em “Vida, Terra e Cosmos” prevê a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia, em seus “Objetivo de Conhecimento” conteúdos relacionados, direta ou indiretamente, com as órbitas planetárias do Sistema Solar. Nas habilidades, destacamos: “(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).”

Historicamente, a principal tarefa foi explicar e prever os movimentos dos planetas e dos respectivos satélites naturais na Esfera Celeste. Modelos empíricos, como os epiciclos de Ptolomeu (85-165 d.C.) e as leis de Kepler (1571-1630) foram propostos para descrever os movimentos observados, mas nenhum dos modelos explicava porque os planetas se moviam daquela maneira. A resposta concisa veio posteriormente com o trabalho da gravitação universal com Isaac Newton (1643-1727).

Laboratório de Órbitas Planetárias do NAAP

Esta atividade, baseada no projeto do NAAP, facilita o entendimento das três leis de Kepler para o movimento planetário, envolvendo aspectos cinemáticos (velocidade) e dinâmicos (força) nas órbitas. Neste aplicativo, o usuário pode manipular as propriedades orbitais de um planeta fictício e extrair diversos parâmetros orbitais. Os planetas do Sistema Solar também podem ser investigados como um meio de comparação.

2. Leis de Kepler do Movimento Planetário.

As três leis do movimento planetário foram idealizadas e publicadas pelo astrônomo e matemático alemão Johannes Kepler, sendo, as duas primeiras em 1609 e a terceira em 1619. Contudo, é importante ressaltar que a elaboração das leis foi possível através dos dados planetários coletados pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), cujas observações apresentavam uma acurácia sem precedentes na época. As leis representam uma mudança radical em relação aos conceitos astronômicos elaborados até então. No entanto, Kepler ainda não sabia descrever, dentro de um contexto físico, como e porque as leis funcionam.

2.1. 1ª Lei: Lei das Órbitas Elípticas (1609)

A órbita de um planeta é uma elipse onde um dos focos da elipse é o Sol.

Uma consequência direta desta lei está associada ao fato da distância do planeta ao Sol variar ao longo do movimento orbital. A partir das propriedades das elipses, destacamos a presença de dois focos, lembrando que o círculo é um caso particular da elipse de excentricidade zero. Portanto, em qualquer ponto da curva que define uma elipse, a soma das distâncias de um dado ponto aos dois focos é sempre constante. Sendo F_1 e F_2 os respectivos focos e P um ponto qualquer sobre a curva, teremos:

$$F_1P + F_2P = \text{constante} = 2a,$$

sendo “a” o semieixo maior. Agora, quanto maior for a distância entre os dois focos, maior será a excentricidade “e” da elipse, ou seja, o quanto a mesma será “achatada”. A partir da Figura 1, caracterizando “b” como o semieixo

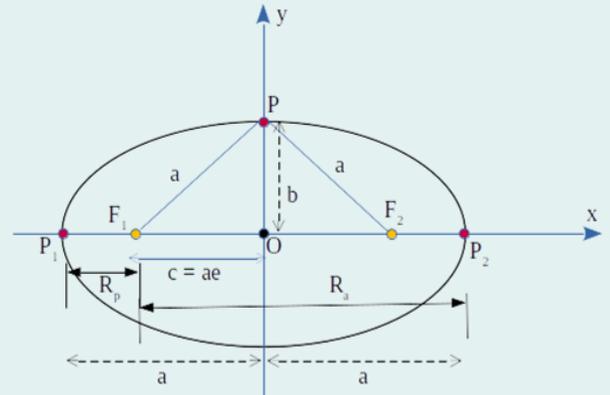


Figura 1. Representação de uma elipse com os principais parâmetros. No caso da Equação 2, considere o Sol ocupando um dos focos (F_1 ou F_2) e o planeta em estudo no ponto P . Imagem ilustrativa fora de escala.

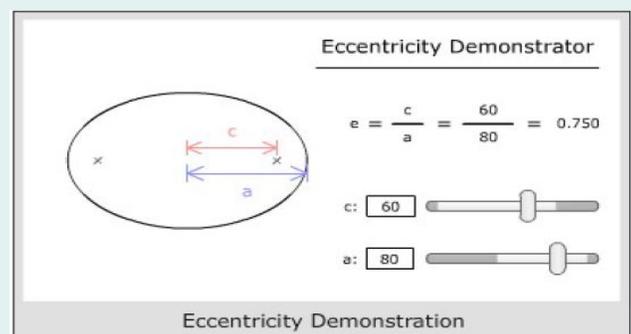


Figura 2. Ilustração do simulador do NAAP, no qual permite variar os parâmetros “a” e “c” e construir diferentes tipos de elipses.

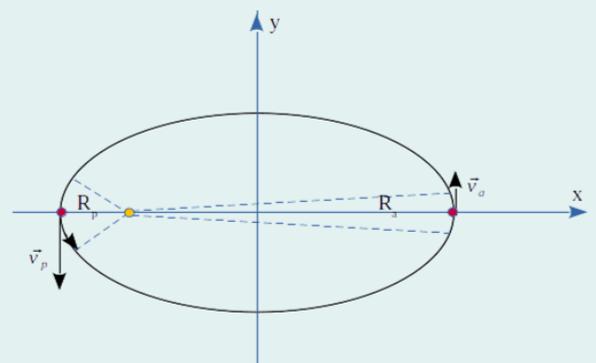


Figura 3. Representação fora de escala para ilustrar a 2ª Lei de Kepler.

menor e o triângulo retângulo POF_1 ou POF_2 formado, podemos escrever para a excentricidade:

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

Explorando ainda a Figura 1, se o Sol estiver no foco F_1 e o planeta avançar em sua órbita do ponto P para o ponto P_1 , isto é, o ponto mais próximo do Sol – periélio, e em seguida para o ponto P_2 , o mais distante, afélio, as respectivas distâncias, R_p e R_a , podem ser calculadas pelas Equações:

$$R_p = a - c = a - a.e = a(1 - e) \quad (3)$$

$$R_a = a + c = a + a.e = a(1 + e) \quad (4)$$

O **simulador de excentricidade do NAAP** (ilustrado na Figura 3) permite construir elipses com diferentes valores de a e c. Note que por definição c é sempre menor do que a.

2.2. 2ª Lei: Lei das Áreas (1609)

Uma linha entre o planeta e o Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

De acordo com a 1ª Lei, como as órbitas são elípticas, um planeta encontra-se ora mais próximo (periélio), ora mais distante do Sol (afélio). Dentro de um contexto da Física, este aspecto implica que a velocidade orbital do planeta não transcorre de forma uniforme, ou seja, o mesmo move-se mais lentamente no afélio e mais rápido no periélio. Esta Lei permite o cálculo da velocidade orbital de um planeta em qualquer ponto da trajetória (Figura 4).

2.3. 3ª Lei: Lei dos Períodos (Lei Harmônica – 1618)

O quadrado do período da órbita de um planeta é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.

A distância média de um planeta ao Sol é igual ao seu semieixo maior “a”. Se o período “P” é medido em anos e o semieixo maior é em Unidades Astronômicas (UA), então, a 3ª Lei de Kepler pode ser escrita como:

$$P^2 = ka^3 \quad (5)$$

Porém, esta equação só vale para o no Sistema Solar. Isaac Newton foi capaz de derivar uma forma mais geral da equação, usando sua Lei da Gravitação.

3. Newton e o Movimento Planetário.

Em 1687, Isaac Newton publicou um trabalho de imenso impacto científico: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ou seja, “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, uma obra de três volumes, com as outras duas edições publicadas, respectivamente, em 1713 e 1726. Nesta obra, Newton enunciou as três leis do movimento e a Lei da Gravitação Universal, reunidas em um conjunto de princípios os quais se aplicavam não apenas os objetos celestes, mas também no planeta Terra de forma uniforme. Sua simplicidade e ampla aplicabilidade revolucionaram a Astronomia.

3.1. 1ª Lei do Movimento: Lei da Inércia.

Um corpo permanece em repouso ou se move em uma linha reta (a uma velocidade constante), a menos que nele atue uma força externa modificando o seu estado anterior.

Historicamente, esta Lei foi proposta por Galileu, mas ela é essencial para a fundamentação da Mecânica. Um objeto em movimento vai permanecer em movimento, a menos que alguma coisa atue sobre ele e mude o seu estado inicial. Como os planetas estão se movendo em uma elipse (e não em linha reta) esta lei diz que deve existir algum tipo de “força” agindo sobre o planeta.

3.2. 2ª Lei do Movimento: Princípio Fundamental da Dinâmica ($F = ma$)

A aceleração de um objeto é proporcional à força que atua sobre ele.

A 1ª Lei diz que se nenhuma força atuar sobre um objeto, ele irá permanecer em repouso ou em movimento uniforme. Por outro lado, a 2ª Lei nos diz como o movimento irá mudar quando uma força agir sobre o objeto. Velocidade é o quão rápido um objeto está se movendo e a direção em que está se movendo. Aceleração é entendida como uma taxa de mudança da velocidade no tempo. As forças são grandezas vetoriais e devem também ser pautadas, além da intensidade, em direção e sentido.

3.3. 3ª Lei do Movimento: Lei da Ação e Reação

Todas as forças surgem aos pares. Logo, para toda ação, existe uma reação igual em intensidade, na mesma direção, mas em sentidos opostos.

A lei pode ser descrita de forma mais completa como: “Quando um corpo exerce uma força sobre um segundo corpo, o segundo corpo exerce uma força igual e oposta sobre o

primeiro corpo”. Por exemplo: quando o Sol atrai um planeta com a força da gravidade, o planeta atrai o Sol com uma força de igual intensidade. Porém, como o Sol é muito mais massivo do que o planeta, de acordo com a 2ª Lei de Newton, o Sol vai sofrer uma aceleração muito menor.

3.4. Lei da Gravitação Universal

Duas partículas quaisquer no Universo se atraem por meio de uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa, ou seja:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (6)$$

Esta Lei não explica o que venha a ser a “gravidade”, mas ela diz como a força gravitacional funciona. A partir desta e das Leis do Movimento, Newton foi capaz de derivar todas as leis de Kepler do movimento planetário.

4. Simulador De Órbitas Planetárias.

O Simulador de Órbitas Planetárias é parte integrante do aplicativo “NAAP Labs”, disponível no Google Classroom para Download. <https://astro.unl.edu/nativeapps/>

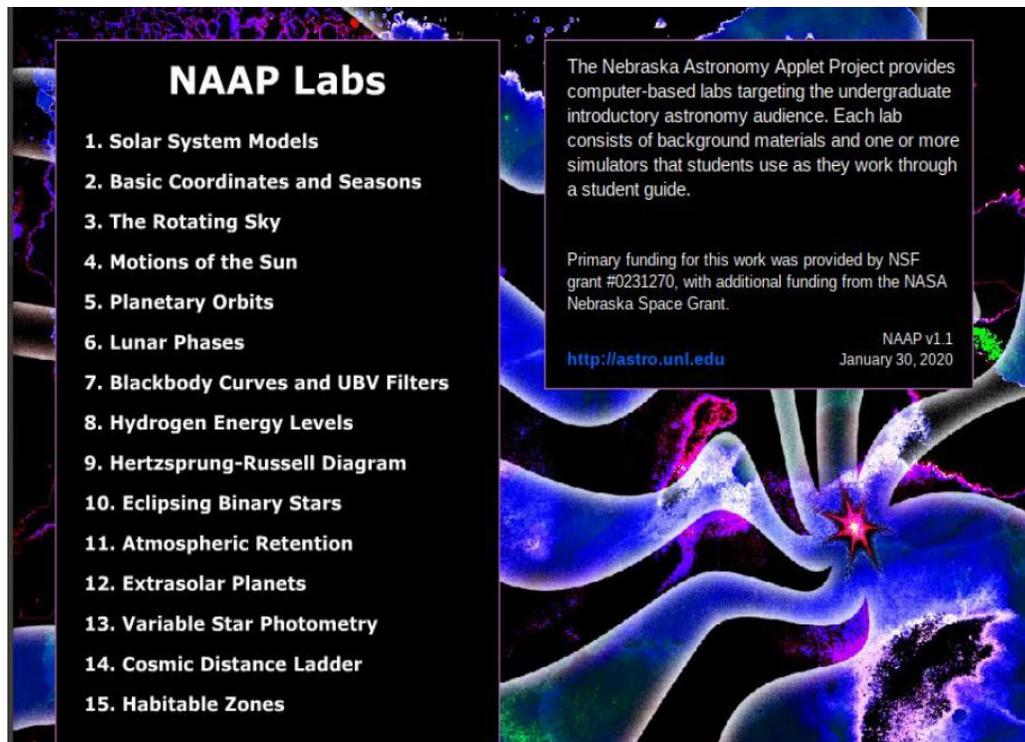


Figura 4. Layout do NAAP Labs com os vários aplicativos disponíveis.

NAAP Labs » Planetary Orbits

Planetary Orbits

Physics of Planetary Motion

Kepler's Laws of Planetary Motion

Newton and Planetary Motion

Planetary Orbit Simulator [↗](#)

Student Guide [↗](#)

The NAAP Planetary Orbits Lab is designed to facilitate understanding of Kepler's Three Laws of Motion as well as how velocity and force relate to the orbits. The user can manipulate the orbital properties of a fictional planet and read off various orbital parameters. Our solar system's planets can also be observed as a background for comparison.

Figura 5. Janela com os links de acesso e um sumário da descrição para a atividade de Órbitas Planetárias.

5. Atividade: 1ª Lei de Kepler.

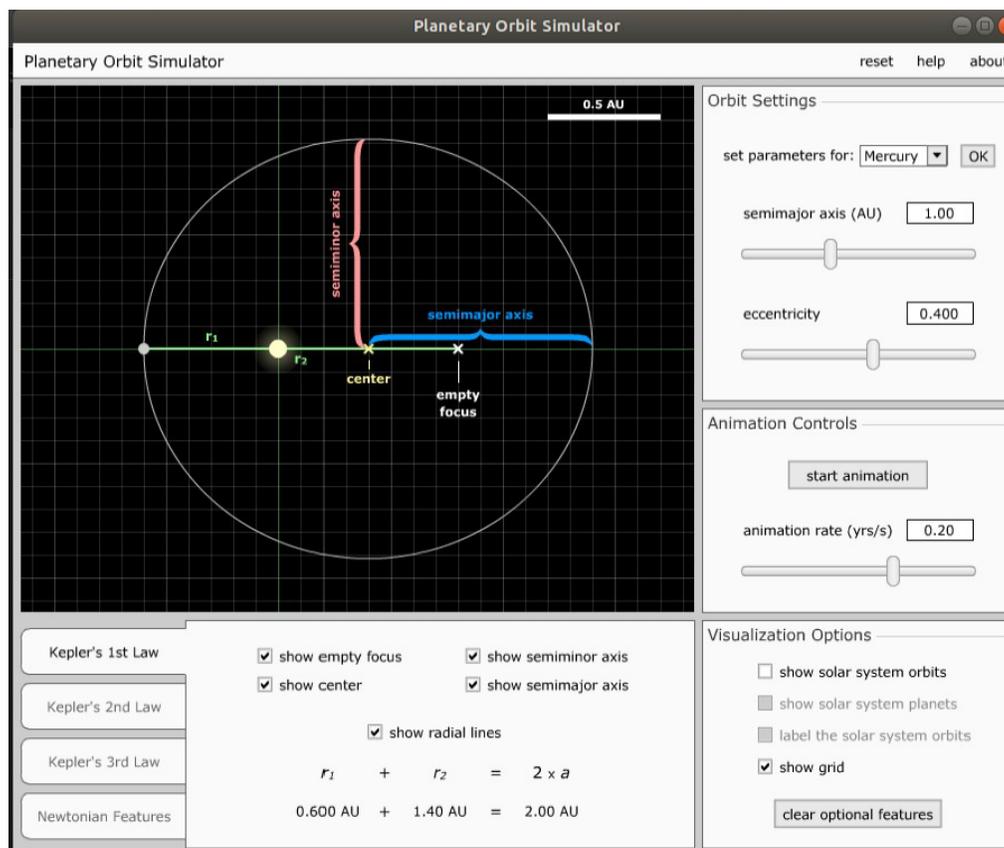


Figura 6. Display do Simulador para a atividade relacionada com a 1ª Lei de Kepler.

Tutorial

- Ao abrir o aplicativo, a aba para a 1ª Lei de Kepler (Kepler's 1st law) já estará acessível;
- Marque todos os cinco blocos nesta aba;
- A opção para a escolha do planeta (Mercury) está acessível no canto superior à direita;
- Na órbita, o ponto branco (esquerda) e o planeta simulado, neste caso Mercúrio; é possível arrastar o mesmo pela órbita;
- Podemos mudar o tamanho da órbita com o controle deslizante (*semimajor axis (UA)*);
- A excentricidade pode ser alterada no controle abaixo de (*eccentricity*); note como a excentricidade afeta a forma da órbita;
- Anime o planeta simulado (start animation); é possível aumentar a velocidade da animação para órbita maiores, em anos por segundo;
- O planetário tem opções pré setadas para os planetas do Sistema Solar, explore essas opções.

5.1. Questões: 1ª Lei de Kepler.

- 1) Crie uma órbita com os seguintes valores: semieixo maior, $a = 20$ UA e excentricidade, $e = 0$. Leve o planeta para os pontos mais distantes da órbita (à esquerda e à direita da elipse). Quais são os valores de r_1 e r_2 nesses pontos?

| | $r_1(\text{UA})$ | $r_2(\text{UA})$ |
|---------------|------------------|------------------|
| Lado esquerdo | | |
| Lado direito | | |

- 2) Crie agora uma órbita com $a = 20$ UA e $e=0,5$. Arraste para os mesmos pontos da questão anterior. Quais são os valores de r_1 e r_2 nesses pontos?

| | $r_1(\text{UA.})$ | $r_2(\text{UA})$ |
|---------------|-------------------|------------------|
| Lado esquerdo | | |
| Lado direito | | |

- 3) Para os mesmos valores da órbita da Questão 2, determine um ponto onde r_1 e r_2 são iguais? Desenhe na elipse, a localização deste ponto, r_1 e r_2 .
- 4) Qual o valor da soma de r_1 e r_2 ? E como isso se relaciona com a propriedade da soma das elipses? Isto é verdade para todas as elipses?
- 5) É fácil criar uma elipse usando um pedaço de linha, dois alfinetes de cabeça, régua, papel branco e um pedaço de folha de isopor (ver Figura 7). Assuma os seguintes valores: $a = 20$ cm, $e = 0,5$. Usando o que foi visto até agora, quais seriam as distâncias apropriadas para: (a) a separação entre os pregos e (b) o tamanho do cordão. Explique como determina esses valores.

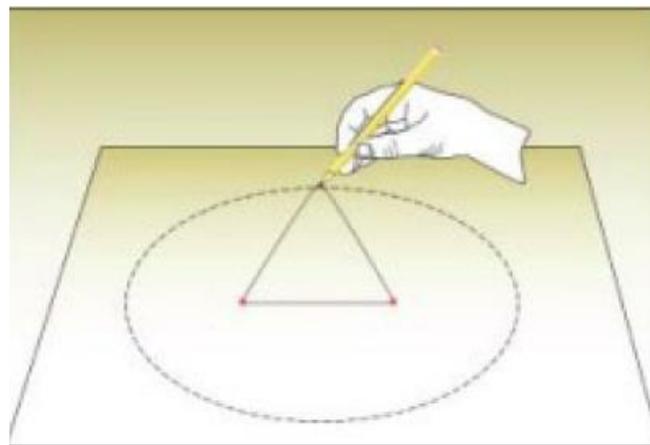


Figura 7. Ilustração para a representação de uma órbita (1ª Lei de Kepler).

6. Atividade: 2ª Lei de Kepler.

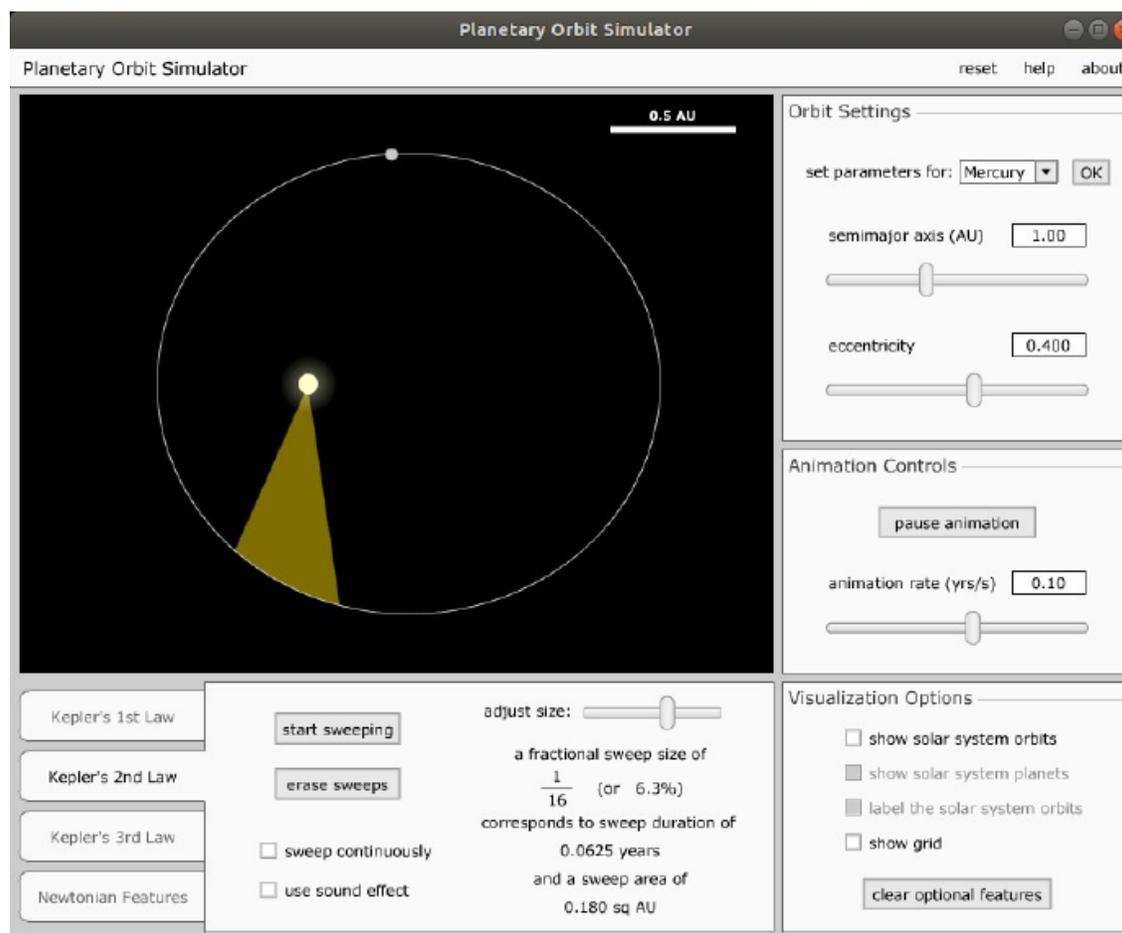


Figura 8. Display do simulador para a atividade sobre a 2ª lei de Kepler.

Tutorial

- Use a opção “clear optional features” para remover os parâmetros utilizados anteriormente e abra a aba “Kepler’s 2nd Law”;
- Pressione a opção “start sweeping”. Ajuste o semieixo maior e a velocidade da animação para que o planeta se mova a uma velocidade razoável;
- Ajuste o tamanho da área de varredura usando o controle deslizante em “adjust size”;
- Clique e arraste o segmento de varredura. Note que a forma da mesma muda, porém sua área não;
- Adicione mais varreduras. Apague todas as varreduras com o botão “erase sweeps”;
- A caixa “sweep continuously” vai criar varreduras continuamente; teste essa opção.

6.1. Questões: 2ª Lei de Kepler.

- 1) Apague todas as varreduras e crie uma elipse com $a = 1 \text{ UA}$ e $e = 0$. Ajuste o tamanho da fração da varredura como $1/12$ de período. Mexa com o seguimento de varredura sobre a elipse. O tamanho ou forma do mesmo mudou?
- 2) Deixe o semieixo maior em $a = 1 \text{ UA}$ e mude a excentricidade para $e = 0,5$. Leve o seguimento de varredura sobre a elipse e note que o tamanho e a forma mudam. Onde temos o seguimento de varredura mais estreito? E o mais largo? Onde o planeta se encontra em cada um destes segmentos?
- 3) Em qual excentricidade o simulador nos mostra a maior variação na forma dos segmentos de varredura?
- 4) A órbita do cometa Halley tem um semieixo maior de cerca de $18,5 \text{ UA}$, um período de 76 anos e uma excentricidade de cerca de $0,97$ (não podemos simular esta órbita no simulador). A órbita do cometa Halley, da Terra e do Sol são mostrados no diagrama da Figura 9. (fora de escala). Baseado no que você aprendeu da 2ª Lei de Kepler, explique por que o cometa só pode ser visto por cerca de 6 meses em cada órbita?



Figura 9. Ilustração, fora de escala, da órbita do cometa Halley.

7. Atividade: 3ª Lei de Kepler.

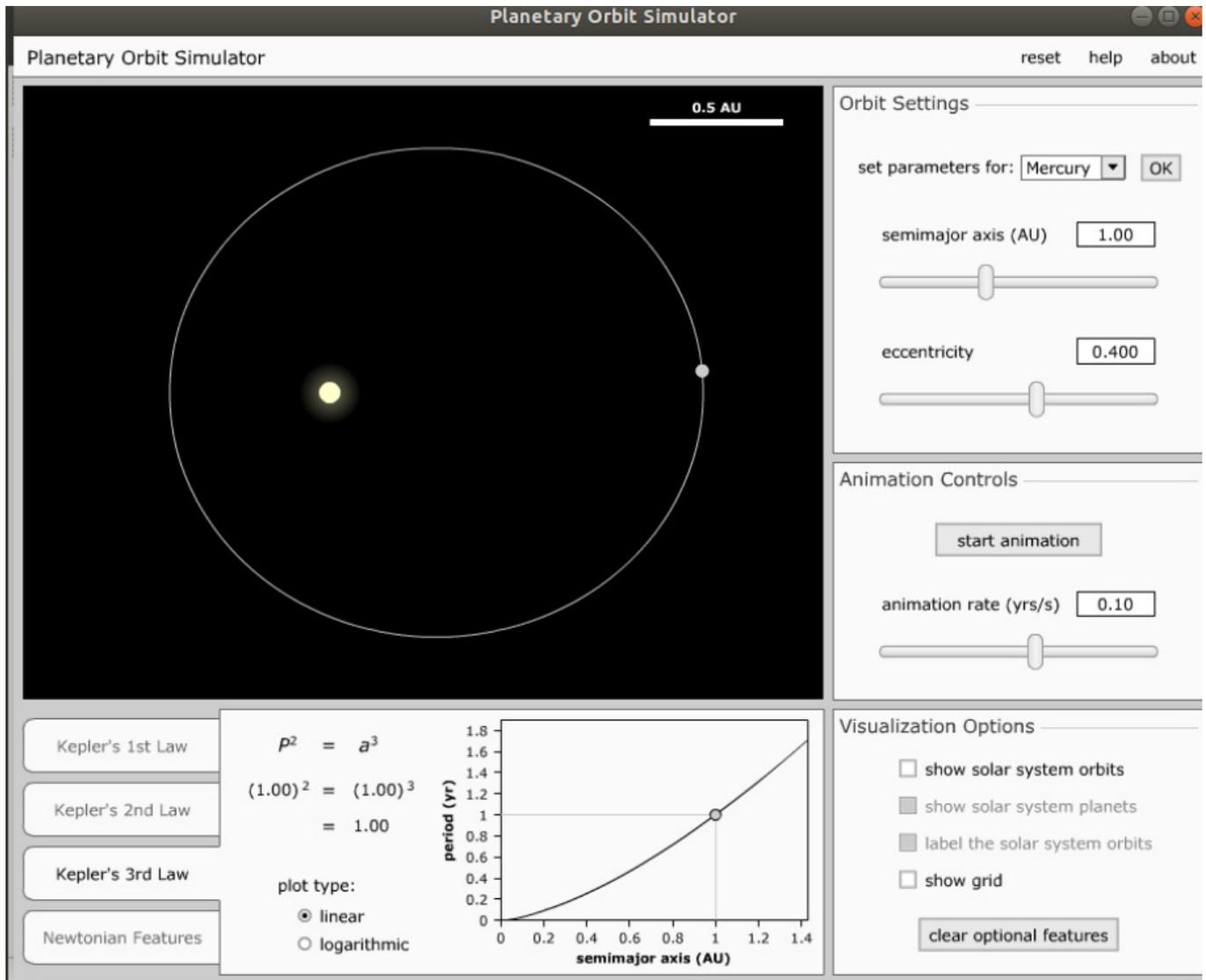


Figura 10. Display do simulador para a atividade sobre a 3ª lei de Kepler.

Tutorial

- Use a opção “clear optional features” para remover os parâmetros utilizados anteriormente e abra a aba “Kepler’s 3rd Law”.

7.1. Questões: 3ª Lei de Kepler

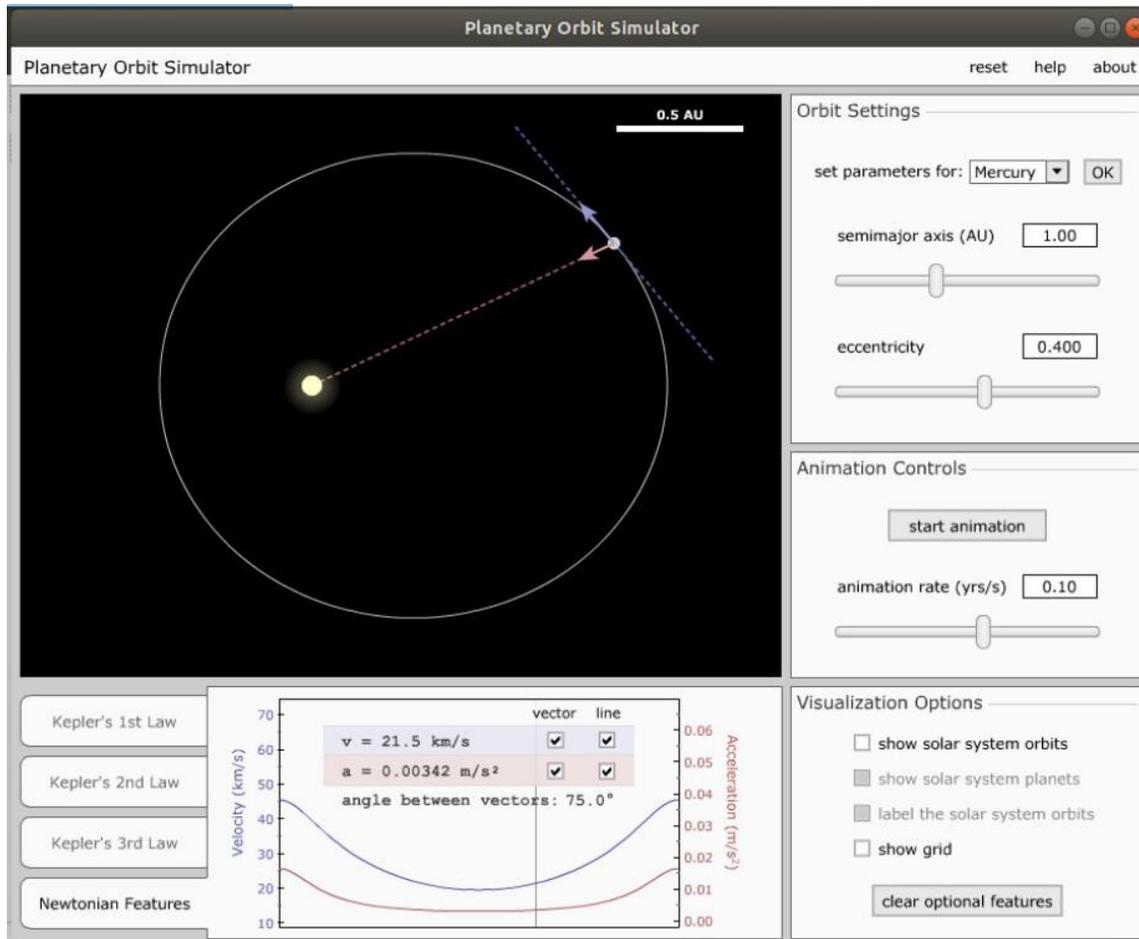
1) Use o simulador para completar a Tabela abaixo.

| Objeto | P(anos) | a(UA) | e | P ² | a ³ |
|--------|---------|-------|------|----------------|----------------|
| Terra | | 1,00 | | | |
| Marte | | 1,52 | | | |
| Ceres | | 2,77 | 0,08 | | |
| Quíron | 50,7 | | 0,38 | | |

2) Quando o tamanho da órbita do planeta aumenta, o que acontece com o período?

3) Comece com a órbita da Terra e mude a excentricidade para 0,6. Mudando a excentricidade o que acontece com o período?

8. Atividade: Elementos Newtonianos

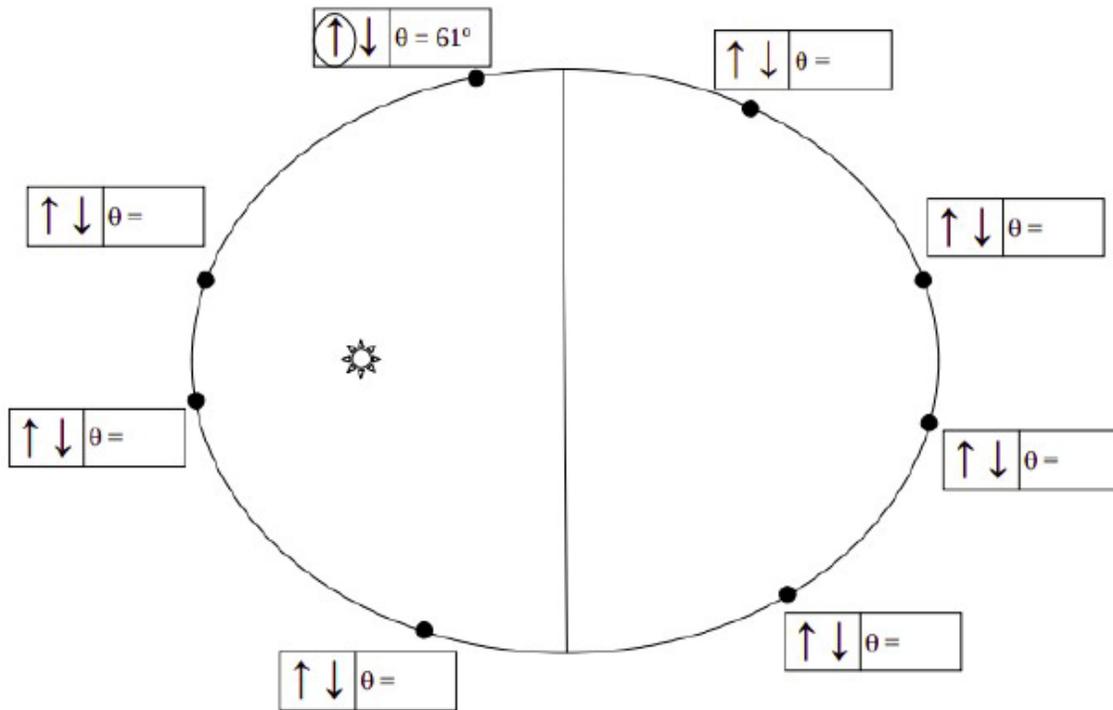


Tutorial

- Use a opção “clear optional features” para remover os parâmetros utilizados anteriormente e abra a aba “Newtonian Features”;
- Clique em todas as quatro caixas para mostrar os vetores da velocidade e da aceleração do planeta. Observe a direção e comprimento dos vetores, o tamanho é proporcional aos valores mostrados no gráfico.

8.1. Questões: Elementos Newtonianos

- 1) O vetor aceleração está sempre apontando na direção de qual objeto no simulador?
- 2) Crie uma elipse com $a = 5$ UA e $e = 0,5$. Para cada localização marcada no desenho abaixo, indique: (a) se a velocidade está aumentando ou diminuindo no ponto da órbita (circulando a flecha apropriada). (b) o ângulo θ entre a velocidade e a aceleração. Note que um dos campos já está completo.



- 3) Onde os valores de maior e menor velocidade ocorrem nessa órbita?
- 4) Você pode descrever uma regra geral que identifique onde a velocidade da órbita está aumentando e onde está diminuindo? Qual é o ângulo entre o vetor velocidade e o vetor aceleração nesta hora?

9. Referências.

BRASIL, M. d. E. Base nacional comum curricular. Brasília, 2018. Brasília: MEC, 2018. Acesso em: 18.09.2021.

NAAP LABS. The Nebraska Astronomy Applet Project: Simulador de Órbitas Planetárias. Página inicial. Disponível em: <<https://astro.unl.edu/nativeapps/>>. Acesso em: 11 de outubro de 2023.



TERMO DE VALIDAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Atestamos para os devidos fins que o produto educacional intitulado ATIVIDADE PRÁTICA: "SIMULADOR DE ÓRBITAS PLANETÁRIAS DO NAAP LABS" foi aplicado no Observatório Astronômico Antares, com 38 estudantes do Ensino Médio, em Feira de Santana - BA; e o produto educacional intitulado OFICINA PEDAGÓGICA: UMA PROPOSTA DE COMO O PROBLEMA DE PLATÃO PROVOCOU UM DEBATE CIENTÍFICO QUE PERDUROU POR QUASE DOIS MIL ANOS é aplicável com estudantes da Educação Básica.

Feira de Santana, 11 de agosto de 2023

Presidente da Banca de Avaliação:
Prof. Dr. Paulo César da Rocha Poppe (DFIS-UEFS)

Membro Interno do Mestrado Profissional em Astronomia:
Profa. Dra. Vera Aparecida Fernandes Martin (DFIS-UEFS)

Membro Externo – Convidado:
Prof. Dr. Nelson Vani Leister (IAG-USP)