

SISTEMA SOLAR EM ESCALA REALISTA COM DISPLAY GRÁFICO E ARDUINO UNO

THE SOLAR SYSTEM ON A REALISTIC SCALE WITH GRAPHIC DISPLAY AND ARDUINO UNO

Camila Muniz Oliveira¹ 

Edson Ribeiro de Britto Almeida Junior² 

Neryla Vayne Alves Dias³ 

Ronaldo Celso Viscovini⁴ 

Ana Claudia Sabino 

Resumo

O documento da Base Nacional Comum Curricular sinaliza que a maioria dos estudantes se interessa por objetos celestes. A importância desse assunto, para contribuir com as aprendizagens essenciais, comunga com as orientações da educação básica, que concebe o tema da Astronomia para o desenvolvimento de competências específicas. Em contraposição à importância dada ao assunto, pesquisas demonstram certa fragilidade de encaminhamento metodológico do ensino de Astronomia no contexto educacional brasileiro. Nesse sentido, o presente estudo intenta contribuir com o desenvolvimento de uma prática alternativa para o ensino de conceitos inerentes à Astronomia, especificamente no que diz respeito à compreensão das escalas de distância astronômicas entre os elementos existentes no Sistema Solar. Para isso, desenvolveu-se um Modelo do Sistema Solar em Escala Realista com o display Gráfico conectado a um Arduino Uno. O propósito é simular uma viagem pelo sistema solar, visitando seus astros (Sol e Planetas) numa escala realísticas, a fim de proporcionar explicações e previsões a respeito das dimensões e características dos corpos do Sistema Solar com o uso de dispositivos digitais.

Palavras-Chaves: Sistema Solar. Ensino de Astronomia. Produto Educacional.

Abstract

The National Curriculum Base document indicates that most students are interested in celestial objects. The importance of this discipline, to contribute to essential learning, is common to the guidelines contained in basic education, which conceives the Astronomy discipline essential for the development of specific learnings. In contrast to the importance given to the subject, researches show a certain weakness in the methodological approach of teaching Astronomy in the Brazilian educational context. In this sense, this study intends to contribute to the development of an alternative practice for teaching concepts inherent to Astronomy, specifically with regard to understanding the scales of astronomical distances between the elements existing in the Solar System. For this, a Realistic Scale Model of the Solar System was developed with the graphic display connected to an Arduino Uno. The objective is to simulate a journey through the solar system, visiting its stars (Sun and Planets) in a realistic scales, in order to provide explanations and adjust the dimensions and characteristics of the Solar System bodies through digital devices.

Keywords: Solar system. Astronomy Teaching. Educational Product.

¹ Universidade Estadual de Maringá

² Universidade Estadual de Maringá

³ Universidade Estadual de Maringá

⁴ Universidade Estadual de Maringá

Introdução

A Astronomia é uma área do conhecimento que possui familiaridade com profusos ramos da ciência, favorecendo a compreensão dos paradigmas vigentes no decorrer da história, responsáveis pelas explicações do funcionamento do Universo e as implicações no desenvolvimento da ciência moderna (CANIATO, 1973; QUEIROZ, 2008). Em se tratando dos avanços teóricos, que subsidiam os conteúdos específicos da Astronomia, Siemsen e Lorenzetti (2017) consideram que há uma crescente sistematização de atividades direcionadas à compreensão do processo de aprendizagem, nessa área. Para eles, existem muitas pesquisas que priorizam as interações que ocorrem em sala de aula.

A Base Nacional Comum Curricular aponta que no estudo das Ciências da Natureza para o Ensino Fundamental, a unidade temática Terra e Universo, busca “a compreensão de características da Terra, do Sol, da Lua e de outros corpos celestes – suas dimensões, composição, localizações, movimentos e forças que atuam entre eles” (BRASIL, 2016, p. 328).

Vechi et al. (2013) corroboram que o “Sistema Solar” é uma área de conhecimentos astronômicos que, em geral, desperta a atenção e curiosidade dos estudantes para compreendê-lo. Porém, os referidos autores ressaltam que “é difícil comparar as dimensões relativas do Sistema Solar, pois os planetas são dezenas a centenas de vezes menores que o Sol e são milhares de vezes menores que as suas órbitas planetárias” (VECHI et al., 2013, p. 2).

Contribuindo com o debate, Da Rosa, Giacomelli e Da Rosa (2016) acentuam outro aspecto significativo, que sinaliza fragilidades no ensino dos conceitos de Astronomia. Para os autores a dificuldade está na necessidade de abstração, por parte dos alunos, já que é um sistema conceitual que envolve distâncias, com elevada ordem de grandeza. Os autores ainda ressaltam que a escala astronômica é um conceito tão delicado de ser abordado que, em geral, apresenta-se como grande dificuldade para a compreensão do nosso universo, especialmente do Sistema Solar.

Nesse sentido, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) podem ser aliadas daqueles professores que desejam aprimorar suas práticas de ensino. Corroborando, Brown (2011, p. 432) complementa que a “visualização, proporcionada pelo uso das tecnologias, pode favorecer a criação de modelos e o seu uso para a compreensão das relações entre estes e o mundo real”. Nesse sentido, os recursos digitais podem proporcionar condições para vivenciarmos virtualmente situações que se aproximam dos reais.

Diante de tais reflexões e, em atenção às produções teóricas relacionadas aos aspectos da Astronomia e de seu significado para a vida dos homens, comungamos com Darroz et al. (2014) de que a exploração desse tema ainda é um desafio para os profissionais da educação. Nesse sentido, dentre os inúmeros conceitos inerentes à Astronomia, optamos, no presente trabalho, por

explorar as escalas de distâncias astronômicas por meio do desenvolvimento de um Modelo do Sistema Solar em Escala Realista, com o display gráfico conectado a um Arduino Uno.

Modelo do Sistema Solar em Escala Realista – MSSER

O produto educacional MSSER é composto por 11 displays Gráficos com Arduino Uno e LCD – para os oito planetas, alguns planetoides⁵ (Plutão, Ceres) e o Sol. Essa divisão de representar cada astro supracitado por um display gráfico unitário, justifica-se tendo em vista que para montar um sistema multimídia que contenha todo o Sistema Solar, em escala realista, seria virtualmente inviável, pois requeria uma tela de dezenas de metros.

O Arduino Uno é uma placa micro controladora baseada no ATmega328P. Possui 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de energia, um conector ICSP e um botão de Reset. A placa de Arduino UNO foi ligada a um LCD de 2,5 polegadas e a um botão de pressão de contato momentâneo (*push pull*), no pino A5, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Arduino UNO com display LCD mostrando a imagem de Saturno, com ampliação aparente de 10x.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a construção do MSSER é necessário explicitar escalas de tamanhos e distâncias para posicionar, adequadamente, os dispositivos gráficos ao longo do estabelecimento de ensino. Tal escolha depende do ambiente em pretende-se realizar a montagem. No caso do modelo construído, cada display foi posicionado a uma distância em escala de 1m para 100.000.000km (1:10¹¹), conforme indicado no Quadro 1.

⁵ Planeta anão

Quadro 1 – Planetas e alguns Planetoides, do Sistema Solar com a distância até o Sol (semieixo maior).

Planeta (*Planetoide)	Distância do Sol	
	Real (km)	Escala (m)
Mercúrio	57.909.050	0,58
Vênus	108.208.930	1,08
Terra	149.598.261	1,50
Marte	227.939.100	2,28
*Ceres	414.010.000	4,14
Júpiter	778 547 200	7,79
Saturno	1.433.449.370	14,33
Urano	2.876.679.082	28,77
Netuno	4.503.443.661	45,03
*Plutão	5.906.376.272	59,06

Fonte: Elaborado pelos autores.

Utilizando a escala (1mm para 100.000 Km), no Quadro 2 é apresentado o diâmetro (real e em escala) do Sol e dos Planetas (e alguns planetoides). Note que a maioria dos diâmetros, em escala, são frações de milímetros. Porém, como cada pixel do LCD tem tamanho de aproximadamente 150 μ m, eles serão representados graficamente como um único pixel (~150 μ m) de cor branca, para qualquer apresentação.

Quadro 2 - Diâmetro do Sol, dos Planetas e alguns Planetoides do Sistema Solar.

Sol / Planeta (*Planetoide)	Diâmetro Equatorial	
	Real (km)	Escala (mm)
Sol	1.391.400	13,91
Mercúrio	4.879	0,05
Vênus	12.103	0,12
Terra	12.756	0,13
Marte	6.792	0,08
*Ceres	945	0,01
Júpiter	142.984	1,43
Saturno	120.536	1,21
Urano	51.118	0,51
Netuno	49.528	0,50
*Plutão	2.374	0,02

Fonte: Elaborado pelos autores.

Outros corpos solares relevantes são os satélites (luas), que algumas vezes são até maiores que alguns Planetas e Planetoides. Esses corpos orbitam astros celestes diferentes do Sol. No Quadro 3 é apresentado os principais satélites do Sistema Solar (com diâmetro maior que 1.000km), com seus diâmetros (reais) e raios orbitais (reais e em escala). Os diâmetros em escala, não mostrado no Quadro, são muito pequenos, variam entre 0,01mm e 0,05mm.

Quadro 3 - Principais Satélites do Sistema Solar (diâmetro maior que 1.000km).

Satélite (Planeta)	Diâmetro Real (km)	Raio Orbital	
		Real (km)	Escala (mm)
Planeta Terra			
Lua	3.474	384.399	3,84
Planeta Júpiter			
Io	3.630	421.700	4,22
Europa	3.121	671.034	6,71
Ganimedes	5.262	1.070.412	10,70
Calisto	4.820	1.882.709	18,83
Planeta Saturno			
Tétis	1,062	294.619	2,95
Dione	1.123	377.396	3,77
Reia	1,527	527.108	5,27
Titã	5,150	1.221.870	12,22
Jápeto	1,470	3.560.820	35,60
Planeta Urano			
Ariel	1.353	191.020	1,91
Umbriel	1.169	266.300	2,66
Titânia	1.576	435.910	4,36
Oberon	1.522	583.520	5,84
Planeta Netuno			
Tritão	2.705	354.759	3,55
Planetoide Plutão			
Caronte	1.207	19.571	0,20

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cada dispositivo foi programado com características específicas dos corpos celestes do Sistema Solar, por exemplo: raio da órbita; composição; período de rotação e translação; informações de seus satélites (caso possua), entre outros. A Figura 2 agrupa imagens de tela contendo informações que foram utilizadas em alguns displays.

Figura 2 –Imagem bmp das informações sobre a estrutura de Júpiter (à esquerda). Imagem bmp das Informações sobre a superfície de Europa, satélite natural de Júpiter (à direita).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para que isso seja possível, um cartão de memória contendo as imagens das informações de cada astro, assim como a programação que será descrita adiante, deverá ser inserido na case da placa LCD. Cada imagem deverá ser salva no cartão de memória no formato *Windows Bitmap* (.bmp) e possuir tamanho fixo de 320 x 240 pixels. Para economizar espaço e reduzir o tempo de leitura, as imagens devem ser gravadas com matriz de 16 bits para cor, no formato R5G6B5, ou seja, 5 bits para o vermelho (*Red5*), 6 bits para o verde (*Green6*) e 5 bits para o azul (*Blue5*). Por fim, para disciplinar a apresentação das páginas, os arquivos *bmp* devem ser gravados no sentido de cima para baixo (*Top to Bottom*).

Para converter e adequar arquivos de imagem podem ser utilizados diversos programas, comprados ou gratuitos, instaláveis ou acessado pela internet (*online*). Para os testes apresentados, foi utilizado o *software online convert2bmp*^[x], que permite ajustar o tamanho, a matriz de cor e a direção de apresentação. A elaboração das informações foi fundamentada no livro “Sistema Solar: uma exploração visual dos planetas, das luas e de outros corpos celestes que orbitam nosso Sol” de Chown (2011) e conceitos do site oficial da NASA. Para facilitar a reprodução do MSSER em outras instituições de ensino, a pasta com as imagens de informações específicas de cada astro pode ser baixada gratuitamente pelo link: *link removido para garantir avaliação às cegas*.

Para controlar o display foi utilizada a biblioteca Adafruit e, para controlar o conteúdo e a sequência da apresentação das imagens, deve existir no cartão de memória um arquivo nominado: *PAGES.cfg*. É um arquivo de texto simples que pode ser criado e editado por um bloco de nota (*notepad*). Cada linha do arquivo deve conter no mínimo um número da página (n) seguido pelo símbolo igual (=) e pelo nome do arquivo de imagem: n = image.bmp.

Quando se pretende apresentar satélites (até o número de cinco) na imagem, são necessários informar seus raios orbitais (R1,R2,R3,...) em unidades de pixels, e seus períodos orbitais (T1,T2,T3,...): n = image.bmp; R1,T1; R2,T2; R3,T3.

A programação do MSSER foi desenvolvida no *software* Arduino, que é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software*, que não exigem conhecimentos exímios em linguagens de programação. A listagem da programação do MSSER é apresentada a seguir, na íntegra, possibilitando que pessoas interessadas possam replicar esses dispositivos.

```
#include "Adafruit_GFX.h"
#include "Adafruit_TFTLCD.h"
#include <SD.h>
#include <SPI.h>

String const
  cfgFILE="PAGES.CFG";

#define WHITE  0xFFFF
#define BLACK  0x0000
#define KEY    A5
```

```

#define CENTER_X 160
#define CENTER_Y 120

#define MAX_LUNES 5
struct strLune {
    boolean Active;
    int Radius;
    long Period;
    int LastX;
    int LastY;
    int LastColor;
};
strLune Lunes[MAX_LUNES];
strLune newLunes[MAX_LUNES];

struct {
    uint16_t ID;
    uint32_t Size;
    uint32_t Reserved;
    uint32_t Step;
} bmpHead;

Adafruit_TFTLCD
tft(A3, A2, A1, A0, A4);

File cfgFile;
File bmpFile;

void setup() {
    //Serial.begin(9600);
    pinMode(KEY,INPUT_PULLUP);
    tft.reset();
    delay(500);
    tft.begin(tft.readID());
    tft.fillScreen(BLACK);
    tft.setRotation(1);
    // Testa SD Card
    if (!SD.begin(10)) {
        tft.setTextSize(4);
        tft.setCursor(12,100);
        tft.print("ERRO SD CARD");
        while(1); } // Erro SD Card
    // Testa Arquivo Configuração
    cfgFile =
        SD.open(cfgFILE,FILE_READ);
    if (!cfgFile) {
        tft.setTextSize(4);
        tft.setCursor(12,80);
        tft.print("ERRO ARQUIVO");
        tft.setCursor(12,120);
        tft.print(cfgFILE);
        while(1); } // Erro Arquivo
    }

    int nowPage = 0;
    int nextPage = 1;
    boolean keyDown = false;
    unsigned long timeKey = 0;
    void loop() {
        unsigned long nowTime=millis();
        if (nowPage!=nextPage) {

```

```

tft.drawPixel(0,0,BLACK);
if (bmpDraw(getLunes(
  cfgPage(nextPage)))) {
  nowPage = nextPage;
  memcpy(Lunes,newLunes,
    sizeof(Lunes)); } }
if (keyDown) {
  if (digitalRead(A5)) {
    keyDown = false;
    int tmp=nowTime-timeKey;
    if (tmp<1000)
      nextPage = nowPage+1;
    else if (tmp<3000)
      nextPage = nowPage-1;
    else
      nextPage = 1; } }
else {
  if (!digitalRead(A5)) {
    keyDown = true;
    timeKey = nowTime; } }
for (byte b=0;b<MAX_LUNES;++b){
  if ((Lunes[b].Radius!=0)&
    (Lunes[b].Period!=0)){
    long iAngle = nowTime %
      Lunes[b].Period;
    float fAngle=6.28*iAngle /
      Lunes[b].Period;
    tft.drawPixel(
      Lunes[b].LastX,
      Lunes[b].LastY,
      Lunes[b].LastColor);
    Lunes[b].LastX=CENTER_X+
      Lunes[b].Radius*
      cos(fAngle);
    Lunes[b].LastY=CENTER_Y+
      Lunes[b].Radius*
      sin(fAngle);
    Lunes[b].LastColor=
      tft.readPixel(
        Lunes[b].LastX,
        Lunes[b].LastY);
    tft.drawPixel(
      Lunes[b].LastX,
      Lunes[b].LastY,
      WHITE); } }
// Espera para Atualizar
delay(25);
}

String cfgPage(int page) {
  cfgFile.seek(0);
  while (cfgFile.available()) {
    String sTemp =
      cfgFile.readStringUntil
        ('\r');
    sTemp.replace(" ", "");
    int8_t bPos=
      sTemp.indexOf('=');
    if (bPos>0) {
      if (page==sTemp.
        substring(0,bPos).
        toInt())

```

```

        return sTemp.
            substring(bPos+1); } }
return NULL; }

String getLunes(String sLine) {
    int8_t bImage =
        sLine.indexOf(';');
    if (bImage>0) {
        String sTemp =
            sLine.substring(bImage+1);
        for (byte b=0;
            b<MAX_LUNES; ++b){
            int8_t bMid =
                sTemp.indexOf(',');
            int8_t bEnd =
                sTemp.indexOf(';');
            newLunes[b].Radius=
                sTemp.substring(0,bMid)
                    .toInt();
            if (bEnd>0) {
                newLunes[b].Period =
                    long(1000*sTemp.
                        substring(bMid+1,bEnd).
                            toFloat());
                sTemp=sTemp.substring(
                    bEnd+1); }
            else {
                newLunes[b].Period =
                    long(1000*
                        sTemp.substring(bMid+1).
                            toFloat());
                sTemp=""; }
            newLunes[b].LastX=-1;
            newLunes[b].LastY=-1; }
        return sLine.substring(0,
            bImage); }
    else {
        newLunes[0].Radius=0;
        newLunes[1].Radius=0;
        newLunes[2].Radius=0;
        newLunes[3].Radius=0;
        newLunes[4].Radius=0;
        return sLine; } }

```

```

// ROTINA DE LEITURA DE IMAGEM
#define BUFFER_SIZE 160
uint16_t bufferData[BUFFER_SIZE];
boolean first;
boolean bmpDraw(String filename){
    if (bmpFile=SD.open(filename.
        c_str(),FILE_READ)){
        bmpFile.read(&bmpHead,
            sizeof(bmpHead));
        bmpFile.seek(bmpHead.Step);
        uint16_t NumBlock =
            (bmpHead.Size-bmpHead.Step)
                / (2*BUFFER_SIZE);
        first = true;
        for (int i=0;i<NumBlock;++i){
            bmpFile.read(bufferData,
                2*BUFFER_SIZE);
            tft.pushColors(bufferData,

```

```

        BUFFER_SIZE, first);
    first=false; }
    bmpFile.close();
    return true; }
    bmpFile.close();
    return false; }

```

A programação prevê que se o tempo de pressão do botão (*push pull*) for menor que um segundo, será passado para a próxima página/imagem. Se este tempo for entre um e três segundos, é selecionada a página/imagem anterior e, se o tempo for maior que três segundos, é selecionada a primeira página/imagem. Assim, à medida que o aluno for clicando no botão existente no dispositivo, as informações serão apresentadas, simultaneamente às imagens elaboradas em escala.

Como mencionado anteriormente, cada pixel do LCD tem tamanho de aproximadamente 150µm. Consequentemente, em ampliações maiores que 3X, nos maiores satélites (Ganimedes, Calisto e Titã) esta limitação pode causar uma distorção de tamanho relativo. Entretanto, conforme o Quadro 4, as órbitas destes satélites maiores não são visíveis no *display* LCD para ampliações iguais ou maiores ou iguais 5X.

Quadro 5 - Diâmetro (em pixels) dos principais astros do Sistema Solar, com quatro diferentes escalas de ampliação.

Astro	Escala de Ampliação			
	1X	2X	5X	10X
Sol	93	186	>320	>320
Mercúrio	0*	1	2	3
Vênus	1	2	4	8
Terra	1	2	4	9
Marte	0*	1	2	5
Ceres	0*	0*	0*	1
Júpiter	10	19	48	95
Saturno	8	16	40	80
Urano	3	7	17	34
Netuno	3	7	17	33
Plutão	0*	0*	1	2

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base no quadro supracitado, quando o valor é zero, é apresentado um pixel único de cor escura. O mesmo ocorre com as imagens referentes aos principais satélites do Sistema Solar. No entanto, as escalas de ampliação são diferentes, conforme indica o Quadro 5.

Quadro 5 - Raios das órbitas (em pixels) dos principais satélites do Sistema Solar, com diferentes escalas de ampliação.

Satélite	Período (Dias)	Escala Ampliação		
		1X	2X	5X
Lua	27,32	26	51	128
Io	1,77	28	56	141
Europa	3,55	45	89	224*
Ganimedes	7,15	71	143	357*

Calisto	16,69	126	251*	628*
Tétis	1,89	20	39	98
Dione	2,74	25	50	126
Reia	4,52	35	70	176*
Titã	15,94	81	163*	407*
Jápeto	79,33	237*	475*	1187*
Ariel	2,52	13	25	64
Umbriel	4,14	18	36	89
Titânia	8,71	29	58	145
Oberon	13,46	39	78	195*
Tritão	5,88	24	47	118
Caronte	6,39	1	3	7

Fonte: Elaborado pelos autores.

As imagens de satélites são representadas por um único pixel girando em torno do seu planeta num determinado período. Para facilitar a visualização do movimento, o período de revolução dos satélites será apresentado em segundos, simbolizando períodos em dias, conforme ilustrado na Figura 3. Dessa forma, a Lua terrestre terá um período de apenas 27,32 s para representar os 27,32 dias reais.

Figura 3 – Imagem de Saturno e seus satélites naturais girando em um determinado período, ampliado 2X.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme o display apresentado na Figura anterior, os demais também foram colocados em caixas de PVC de 4" X 2" (FAME) próprias para uso com caneletas, essas são bastante utilizadas em instalações elétricas. As tampas foram usinadas, o material também foi PVC, para encaixar nos displays e botão. A alimentação da placa Arduino foi uma fonte de 5V por 2A. Os seis primeiros Arduinos (Figura 4) foram alimentados com uma única fonte e os cinco últimos, por estarem com maior distância entre si, foi utilizado uma fonte para cada placa.

Figura 4 – MSSER montado em um colégio privado de um município da mesorregião centro ocidental paranaense.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerações finais

Os recursos tecnológicos estão ganhando mais atenção na área da educação, segundo apresentado nos documentos oficiais. Nesse sentido, torna-se fundamental a compreensão das possibilidades e das limitações de cada recurso tecnológico educacional, com o intuito de refletir a respeito dos subsídios básicos para o desenvolvimento de atividades, sejam elas experimentais ou não, sobre as mais diversas práticas de ensino de Ciências.

Dentre as várias possibilidades de uso de recursos digitais, para ensino de Astronomia, optamos pelo desenvolvimento de um Modelo do Sistema Solar em Escala Realista (MSSER), com o display Gráfico conectado a um Arduino Uno. Tal escolha se justifica por acreditarmos que este recurso pode auxiliar o processo de divulgação e popularização da Astronomia, tendo em vista que a sua própria utilização e instalação nas escolas, não necessita de telescópios e outros instrumentos superequipados para o estudo do Sistema Solar.

As imagens com diferentes escalas de ampliação são elementos essenciais para que o estudante possa visualizar, virtualmente, a diferença das dimensões dos astros em escala real, o que não é possível a olho nu. Nesse sentido, o MSSER permite que os professores desenvolvam atividades de ensino que podem aproximar os estudantes do conhecimento científico, levando-os a vivenciar, virtualmente, situações que se aproximam da realidade. Com pequenas alterações nas imagens a serem apresentadas, o MSSER pode ser adaptado para outros assuntos/áreas do conhecimento tais como: Biologia (células, bactérias e vírus) e Química (átomos e moléculas).

Referências

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular - BNCC**, 2ª versão. Brasília, DF, 2018.

CANIATO, R. **Um Projeto Brasileiro para o Ensino de Física**. 1973. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, UNESP, Rio Claro.

QUEIROZ, V. **A astronomia presente nas séries iniciais do ensino fundamental das escolas municipais de Londrina**. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SIEMSEN, G. H.; LORENZETTI, L. A pesquisa em ensino de Astronomia para o ensino médio. **ACTIO Docência em Ciências**. Curitiba, v. 2, n. 3, p. 185-207, 2017.

VECHI, A. et al. Modelo dinâmico do Sistema Solar em actionscript com controle de escalas para ensino de astronomia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 1-25, 2013.

DA ROSA, Á. B.; GIACOMELLI, A. C.; DA ROSA, C. T. W. Caminhando pelo sistema solar: análise de uma atividade lúdica para estudar escalas astronômicas. **Revista Ibero-Americana de Educação**, 72 (2), p. 9-22, 2016.

BROWN, J. P. Visualisation Tactics for Solving Real World Tasks. In: STILLMAN, G. A.; BUENO, V. C.. **Modelagem matemática: quatro maneiras de compreendê-la**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

DARROZ, L. M. et al. Evolução dos conceitos de Astronomia no decorrer da educação básica. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 17, p. 107-121, 2014.

CHOWN, M. **Sistema Solar: uma Exploração Visual dos Planetas, das Luas e de Outros Corpos Celestes que Orbitam Nosso sol**. São Paulo: Blucher, 2011.