

Jornada no Sistema Solar

(Journey into the Solar System)

Marta F. Barroso¹ e Igor Borgo²

¹Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Observatório do Valongo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recebido em 6/3/2010; Aceito em 16/4/2010; Publicado em 17/1/2011

As avaliações de aprendizagem nos revelam que os modelos para a descrição dos movimentos no Sistema Solar e as explicações científicas para os fenômenos astronômicos básicos são pouco conhecidas por jovens e adultos. O tema astronomia está presente nos currículos do ensino fundamental, e sua apresentação em escolas e em espaços não formais de aprendizagem é sempre cercada de interesse. Neste trabalho, discutimos o que se sabe a respeito da aprendizagem do tema e apresentamos o processo de desenvolvimento e produção de um vídeo utilizando o software livre Celestia para fazer uma viagem no Sistema Solar.

Palavras-chave: ensino de astronomia, celestia, vídeos, PISA.

Learning assessments reveal that models used to describe motions in the Solar System and the scientific explanations that account for the basic astronomic phenomena are poorly known by kids and adults. Astronomy is a subject present in many curricular prescriptions for elementary school, and is always surrounded by interest when presented in schools and informal learning spaces. In this paper, we discuss what is known about teaching and learning basic astronomic phenomena, and describe the development and production of a video using Celestia, a free and open software, in a journey into the Solar System.

Keywords: astronomy education, celestia, videos, PISA.

1. Introdução

Há 400 anos, Galileu Galilei apontou um telescópio para o céu, e a humanidade passou a enxergar com mais detalhes o mundo ao nosso redor. Nas últimas décadas, grandes telescópios e satélites espaciais transformaram nossa visão do universo, pelas novas e fundamentais descobertas realizadas a partir dos dados coletados por eles. Esses telescópios, tanto os baseados na Terra quanto os baseados no espaço, trouxeram para a população em geral uma enorme quantidade de imagens e informações, que despertam grande interesse e permitem que a astronomia constitua uma porta de entrada para o mundo da ciência.

Essa porta de entrada é reconhecida em muitos países: o estudo dos fenômenos astronômicos básicos faz parte dos currículos escolares de jovens e crianças. No Brasil, um dos eixos temáticos sugeridos pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental é “Terra e Universo” [1]. Aspectos relativos à observação do mundo, à busca de regularidades e ao desenvolvimento de raciocínio científico através da observação e construção de modelos podem ser explorados no processo de ensino-aprendizagem de ciências a partir

da curiosidade e interesse despertados pela astronomia.

Mas o conhecimento dos fenômenos astronômicos e de suas explicações científicas não estão presentes em grande parte da população, segundo revelam muitos estudos [2, 3]. Os resultados de avaliações de caráter quantitativo e de caráter qualitativo indicam que estudantes e professores da educação básica, no Brasil e no mundo, têm dificuldades tanto de observação quanto de explicação de fenômenos astronômicos básicos: o ciclo dia-noite, as estações do ano, as marés, eclipses solares e lunares, entre outros.

Talvez essas dificuldades tenham como pano de fundo um aspecto: há necessidade, para a compreensão dos modelos que descrevem esses fenômenos, de um alto grau de abstração e de visão espacial. Precisa-se trabalhar com modelos em três dimensões, para os quais imagens estáticas são pouco apropriadas. E o desenvolvimento da capacidade de visualização, de construção de modelos mentais mais complexos e de mudanças de sistema de referência, pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento das ideias em ciências e posteriormente no seu processo de aprendizagem.

A produção de materiais didáticos que utilizam recursos visuais e exploram as dificuldades de com-

¹E-mail: marta@if.ufrj.br.

preensão conhecidas é fundamental por dois motivos: é a partir da existência desses materiais que podemos avaliar sua adequação ao ensino (em nosso país), e a produção desses materiais contribui para que alunos e professores tornem-se capazes de desenvolver novos materiais similares e compreendam a necessidade de desenvolvê-los.

Neste trabalho, apresentamos uma breve revisão sobre o que sabemos a respeito da aprendizagem dos conceitos básicos de astronomia por estudantes e professores, a partir de avaliações de aprendizagem e da pesquisa em ensino. Em seguida, descrevemos os fundamentos e o processo de produção de um vídeo que explora alguns dos aspectos acima mencionados. Este vídeo é feito a partir de um software livre, o Celestia, que permite a utilização de imagens reais coletadas por observação astronômica de objetos do Sistema Solar e além. A partir da leitura de um código fonte e uso de uma interface visual, faz-se a captura das imagens e a transformação dessas imagens em um vídeo.

“Jornada no Sistema Solar” é um vídeo de 30 minutos: literalmente, uma jornada pelos planetas e asteróides que constituem o Sistema Solar. Esse vídeo vem sendo utilizado em cursos de formação de professores (inicial e continuada), com estudantes da educação básica e dos ciclos iniciais dos anos fundamentais, além de estar disponível para o público em geral no YouTube.

Este trabalho relata mais uma dentre as amplas possibilidades abertas pelas tecnologias de informação de comunicação no ensino, em particular no ensino de astronomia, tanto na produção de materiais quanto na formação de profissionais capazes de desenvolvê-los.

2. O letramento científico e a compreensão de fenômenos astronômicos

O mundo físico é um lugar enorme e maravilhoso, mas ele também nos confunde, e há muito sobre ele que ninguém entende bem. Há também muitos fenômenos que alguns de nós entendem muito bem, mas que outros não entendem.

Uma das razões pelas quais a maior parte de nós não sabe muito a respeito do mundo como deveríamos é que não nos interessamos em pensar a respeito dele. E isso não é equivalente a dizer que não pensamos. Todo mundo pensa, mas cada pessoa tende a se concentrar nos assuntos que parecem ser de importância imediata. O que vamos ter para o jantar? Como vou pagar minhas contas? Onde vou passar minhas férias?

Como eu posso conseguir uma promoção e um aumento? Será que eu devo convidar fulano para o cinema? O que é esta dor estranha que eu sinto aqui do lado?

Essas são questões tão importantes para cada um de nós, e nossa necessidade de resposta para elas é em geral tão forte que simplesmente não há tempo para pensarmos a respeito de assuntos mais gerais como “Qual é a forma da Terra?”. Uma resposta natural para uma questão como esta seria “E o que me interessa? Por que você me incomoda com estas coisas bobas? Que diferença faz saber?”

Mas faz diferença. Por exemplo, você não pode viajar de navio no oceano e atingir seu destino pelo menor caminho possível, ou lançar um míssil e esperar que ele atinja o seu alvo, sem conhecer a forma da Terra.

Mas, além disso, e muito mais importante, é que pensar sobre estas questões é um assunto fascinante, e encontrar as respostas é bem simples (...). [4, p. 1, versão livre]

Parece haver um consenso, nas formulações dos currículos de praticamente todos os países, que o ensino dos fenômenos astronômicos básicos, com a construção do modelo dos movimentos da Terra, Sol e Lua, e a explicação para o dia e a noite, as fases da Lua, os eclipses, entre muitos outros, é crucial para o desenvolvimento da juventude, principalmente no desenvolvimento das habilidades que contribuem para termos uma população “cientificamente letrada”.

O conceito de letramento científico está associado, nas discussões atuais sobre ensino de ciências, com a ideia que os conhecimentos científicos devem ser acessíveis a todos, e que compreender a visão da ciência do mundo que nos cerca é fundamental para a vida no atual estágio de nossa sociedade. Há várias definições para este conceito; em particular o consórcio PISA,² Programa para Avaliação Internacional de Estudantes, utiliza a definição

letramento científico é a capacidade de usar o conhecimento científico, de identificar questões e chegar a conclusões baseadas em evidências, de modo a compreender e a ajudar na tomada de decisões a respeito do mundo natural e as mudanças causadas a ele pela atividade humana [5].

No Brasil, em particular, o tema “Terra e Universo” é um dos eixos temáticos para o ensino de ciências naturais no Ensino Fundamental [1], o nível de ensino que é

²O PISA, Programme for International Student Assessment, é um consórcio estabelecido pela OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico Europeia (OECD), que realiza avaliações educacionais em todos os níveis. Maiores informações podem ser encontradas na página www.pisa.oecd.org.

obrigatório para todas as crianças. Nos Estados Unidos, por exemplo, os Referenciais para o Ensino de Ciência [6] apresentam “Padrões para Ciências da Terra e do Espaço” como um dos temas de conteúdo para o ensino no ensino fundamental e médio (mudanças na Terra e nos céus, a Terra no Sistema Solar, a origem e evolução da Terra e do universo). Em particular, recomenda que como resultado de suas atividades nos anos finais do ensino fundamental, todos os estudantes devem desenvolver uma compreensão do papel da Terra no Sistema Solar, e os conceitos e princípios subjacentes incluem [6]:

- A Terra é o terceiro planeta a partir do Sol num sistema que inclui a Lua, o Sol, oito³ outros planetas e suas luas, e objetos pequenos, tais como asteróides e cometas. O Sol, uma estrela média, é o corpo central e maior do Sistema Solar.
- A maioria dos objetos no Sistema Solar tem movimentos regulares e previsíveis. Estes movimentos explicam fenômenos como o dia, o ano, as fases da Lua e os eclipses.
- A gravidade é a força que mantém planetas em órbita em torno do Sol e governa o resto dos movimentos no Sistema Solar. A gravidade nos mantém na superfície do planeta e explica os fenômenos das marés.
- O Sol é a maior fonte de energia para fenômenos na superfície da Terra, tal como o crescimento das plantas, ventos, correntes oceânicas e o ciclo da água. As estações resultam de variações na quantidade de energia solar que atinge a superfície, devido à inclinação da rotação da Terra sobre seu eixo e a duração do dia. [6, p. 160, versão livre]

3. Avaliações quantitativas revelam que fenômenos básicos não são entendidos

Um resultado inesperado, tendo em vista todas estas prescrições curriculares, surge na análise dos dados de provas de ciências do PISA, desenvolvido pela OECD nos países europeus e em países convidados. Este exame é aplicado a cada 3 anos aos estudantes de 15 anos (portanto, ao final do ensino fundamental) por amostragem

nos países participantes. Nem todas as questões são públicas, por escolhas metodológicas [7].

No ano 2000, participaram da avaliação 43 países⁴ e 238 mil estudantes. Estes estudantes são sorteados estatisticamente em escolas de forma a reproduzir a população escolar de 15 anos do país. No Brasil, participaram do exame quase 5 mil estudantes.

Uma questão da prova de ciências em 2000 abordou exatamente conhecimentos relacionados a explicações sobre fenômenos astronômicos básicos. A unidade “Clareza”, que foi tornada pública no relatório [8], continha um texto de caráter jornalístico, seguido por questões (itens), uma delas de múltipla escolha e a outra em formato livre, exigindo esboços gráficos. A Unidade Clareza, e seus itens Clareza Q1 e Clareza Q2, estão apresentadas nas Figs. 1a, 1b e 1c.

A Questão 1 é uma questão de múltipla escolha. Segundo o relatório do PISA [9], “A resposta correta é a opção A. Esta é uma questão de múltipla escolha que exige que o estudante seja capaz de relacionar a rotação da Terra em seu eixo com o fenômeno do dia e noite, e distingui-lo do fenômeno das estações, que surge da inclinação do eixo da Terra quando ela gira em torno do Sol. Todas as quatro alternativas fornecidas são cientificamente corretas.” [9 p. 285, versão livre].

Esta questão revelou-se uma questão difícil no PISA. Segundo a metodologia utilizada na construção das escalas e notas, a média dos estudantes da OECD foi normalizada para 500 pontos, com desvio padrão de 100 pontos. A probabilidade que um estudante aleatório tivesse probabilidade de 50% de acertá-la, porém, exigia deste estudante uma pontuação 592 – quase 1 desvio padrão acima da média europeia [7].

E isso fica mais claro se olharmos para a estatística simples de respostas à questão. Na Tabela 1, mostramos o percentual de respostas válidas para este item, para cada uma das opções.⁵ A terceira coluna indica o total de alunos (todos os países participantes) que marcam a opção apresentada nas primeira e segunda coluna, a quarta coluna indica o total de respostas com a atribuição de peso estatístico aos países (fazendo com que cada país pareça ter o mesmo tamanho da amostra) e a última coluna mostra o total de respostas dos estudantes brasileiros. Na segunda linha, indicamos o total de estudantes que respondeu a esta questão: 36.758 em todos os países, 857 brasileiros.

³Este documento é anterior à mudança de classificação de Plutão.

⁴Participantes do PISA 2000: 43 países (228.784 estudantes): Albânia, Alemanha, Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Bulgária, Canadá, Chile, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hong Kong, Hungria, Indonésia, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Luxemburgo, Macedônia, México, Nova Zelândia, Noruega, Peru, Polônia, Portugal, Reino Unido, República da Coreia, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Tailândia. O número de estudantes da amostra estatística em cada país não era igual (por exemplo, o Canadá teve 30 mil estudantes fazendo a prova, Liechtenstein apenas 300). Uma das maneiras de contornar esta questão é utilizar o peso estatístico denominado “senado”, que faz uma média estatística em que cada país fica com igual peso, como se tivesse o mesmo número de jovens de 15 anos.

⁵Todos os resultados a partir dos dados do PISA foram obtidos por M.F. Barroso a partir dos bancos de dados disponibilizados na página do programa.

a) A Unidade Claridade, do PISA 2000

CLARIDADE

Leia as informações abaixo e responda às questões que se seguem.

DURAÇÃO DO DIA EM 22 DE JUNHO DE 1998

Hoje, enquanto o Hemisfério Norte celebra seu dia mais longo, os australianos viverão o seu dia mais curto.

Em Melbourne*, na Austrália, o sol nascerá às 7h36 e se porá às 17h08, totalizando nove horas e 32 minutos de luz do dia.

Compare o dia de hoje com o dia mais longo do ano no Hemisfério Sul, esperado para 22 de dezembro, quando o sol nascerá às 5h55 e se porá às 20h42, totalizando 14 horas e 47 minutos de luz do dia.

O presidente da Sociedade de Astronomia, Sr. Perry Vlahos, disse que a existência de diferentes estações do ano entre os hemisférios norte e sul estava ligada à inclinação de 23 graus da Terra.

*Melbourne é uma cidade da Austrália, localizada a uma latitude de cerca de 38 graus ao sul do Equador.

b) O item Claridade Q1, do PISA 2000

Questão 1: CLARIDADE

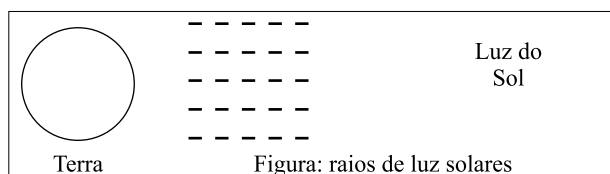
Qual é a afirmação que explica a existência do dia e da noite na Terra?

- (a) A Terra gira em torno do seu eixo.
- (b) O Sol gira em torno do seu eixo.
- (c) O eixo da Terra é inclinado.
- (d) A Terra gira em torno do Sol.

c) O item Claridade Q2, do PISA 2000

Questão 2: CLARIDADE

A figura mostra os raios de luz do sol incidindo sobre a Terra.



Suponha que seja o dia mais curto em Melbourne.

Desenhe o eixo da Terra, o Hemisfério Norte, o Hemisfério Sul e o Equador na figura. Coloque legendas indicando cada um destes elementos.

Figura 1 - Questão CLARIDADE da prova de ciências do PISA 2000.

Esta tabela revela que, no conjunto dos países participantes, somando-os ou fazendo uma média estatística, apenas 40% dos estudantes avaliados expli-

cam corretamente o fenômeno da existência de dia e noite. Cerca de 20% dos estudantes afirma que o eixo da Terra é inclinado, e pode-se observar do texto que abre a Unidade que esta é a explicação dada para as estações do ano. A última opção, que a Terra gira em torno do Sol, recebe cerca de 1/3 das respostas válidas.

Para os alunos brasileiros, porém, há um número muito inferior de respostas corretas: apenas 20% da amostra. Cerca de 2/3 dos alunos responde que o fenômeno dia e noite é entendido pela rotação da Terra em torno do Sol.

Ou seja, os alunos brasileiros participantes têm um padrão de acerto, numa questão simples e de múltipla escolha, mais fraco do que os demais países participantes. E a análise feita com as demais questões do PISA 2000 revela que isto também ocorre na maior parte das questões de ciências.

O item Claridade Q2, como esperado, apresentou um resultado pior. O item não era de múltipla escolha, e exigia um processo de interpretação e reflexão sobre uma imagem não evidente, até para adultos. Segundo o relatório [9], “Este é um item de resposta aberta que exige que o estudante crie um modelo conceitual na forma de um diagrama mostrando a relação entre a rotação da Terra em seu eixo inclinado e sua orientação em relação ao Sol no dia mais curto para uma cidade no hemisfério Sul. Além disso, eles devem incluir neste diagrama a posição do Equador num ângulo de 90° em relação ao eixo inclinado. A pontuação total (2) é obtida se os estudantes colocarem e indicarem corretamente os três elementos significativos – os hemisférios, os eixos inclinados e o Equador. Crédito parcial é dado para um diagrama com dois dos três elementos corretamente colocados e indicados.” [9, p. 285, versão livre].

Neste item, para que um estudante tivesse probabilidade de 50% de receber pontuação 2, ele precisaria ter um escore de 720 – ou seja, estar dois desvios padrão acima da média. Para ter probabilidade de 50% de obter pontuação 1, seu escore deveria ser 667, ou 1,5 desvios-padrão acima da média.

Na Tabela 2, são indicados os percentuais de pontuação no item Claridade Q2, tanto para os respondentes de todos os países (colunas 3, sem peso, e coluna 4, com peso “senado”), e do Brasil (coluna 5).

Tabela 1 - Respostas ao item CLARIDADE Q1, em percentuais das respostas válidas, para os estudantes respondentes em todos os países (coluna 3), para os estudantes de todos os países com peso (“senado”, correspondendo à igualdade de importância de cada um dos países participantes, coluna 4) e para os estudantes brasileiros (coluna 5).

Resposta		Todos (36.758 estudantes)	Todos - Senado	Brasil (857 estudantes)
A	A Terra gira em torno de seu eixo.	40,0%	40,0%	19,6%
B	O Sol gira em torno do seu eixo.	3,5%	3,6%	3,3%
C	O eixo da Terra é inclinado.	23,9%	19,7%	7,4%
D	A Terra gira em torno do Sol.	30,1%	33,9%	66,3%
Sem resposta		2,5%	2,7%	3,5%
Total		100,0%	100,0%	100,0%

Tabela 2 - Respostas ao item CLARIDADE Q2, em percentuais das pontuações atribuídas, para os estudantes respondentes em todos os países (coluna 3), para os estudantes de todos os países com peso (“senado”, correspondendo à igualdade de importância de cada um dos países participantes, coluna 4) e para os estudantes brasileiros (coluna 5).

Pontuação	Resposta	Todos (36.901 estudantes)	Todos - Senado	Brasil (860 estudantes)
0	Errada	49,4%	46,8%	46,8%
1	Parcialmente correta	11,9%	11,2%	11,2%
2	Correta	12,9%	11,1%	11,1%
	Sem resposta	25,9%	30,9%	30,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%

Estes resultados indicam que a compreensão dos fenômenos astronômicos básicos entre estudantes de 15 anos ainda na escola é bastante precária, não apenas no Brasil mas aparentemente em boa parte do mundo.

4. Um pouco mais do que sabemos sobre a aprendizagem em astronomia

Além desses resultados, proveniente de análises quantitativas (avaliações de larga escala), há uma vasta gama de trabalhos de pesquisa utilizando outras metodologias, tanto qualitativas quanto quantitativas, para analisar o ensino de astronomia. Bailey e Slater [2], em artigo de revisão, tornam evidente o esforço que vem sendo dedicado ao tema: há um levantamento sobre os recursos desenvolvidos para o ensino de astronomia, discute-se o que é conhecido sobre a compreensão dos estudantes, em diversos níveis de ensino, sobre tópicos de astronomia, e apresenta-se uma análise da eficácia das intervenções educacionais propostas; e, segundo Slater [10], o fato de ter surgido uma “primeira grande onda de dissertações em pesquisa em ensino de astronomia” aparentemente configura a maturidade do tema.

Nesses trabalhos, constata-se que atingir os objetivos expressos nos referenciais curriculares é bastante difícil. Para atingi-los, é preciso lembrar que os alunos (e também os professores) elaboram explicações próprias para o que observam, e muitas vezes essas explicações são conflitantes com o conhecimento e as explicações fornecidas pela ciência.

Os estudantes da educação básica por todo o mundo revelam o mesmo tipo de concepções. Como exemplo, podemos citar um trabalho realizado entre estudantes ao final do ensino fundamental na Austrália [11] que revela dificuldades com as explicações sobre as causas do dia e noite, eclipses, movimentos do Sol e da Lua. Outros relatos das dificuldades dos estudantes podem ser encontrados em artigos de Kavanagh [12] e Scarinci [13].

Entre professores, levantamentos revelam que as dificuldades dos alunos também são as dificuldades dos professores, e que ocorrem em muitos países do mundo: no Brasil [14], na Espanha [15] e na Turquia [16].

Algumas das principais concepções reveladas entre

estudantes e professores são que a visão predominante sobre o universo é que ele é geocêntrico, que as estrelas não possuem movimento aparente no céu, que as fases da Lua são explicadas por meio de sombras (do Sol, da Terra, de outros planetas) como se existissem eclipses lunares semanais, que a Lua só aparece no céu noturno, que a Lua gira ao redor da Terra mas não ao redor de seu próprio eixo fazendo com que vejamos sempre sua mesma face, e que as estações do ano decorrem das variações na distância entre a Terra e o Sol ao longo do ano.

Todos esses trabalhos indicam que a maior parte da população, tanto escolar quanto dos professores, parecem desconhecer os conhecimentos científicos sobre fenômenos astronômicos básicos.

5. Produção de materiais didáticos baseado em recursos de visualização propiciados pelas tecnologias de informação e comunicação

Os resultados desses trabalhos sobre o aprendizado de conhecimento relativo a fenômenos astronômicos básicos permitem reflexões sobre duas vertentes: revelam uma dificuldade associada à observação dos objetos no céu, e uma dificuldade de construção de um modelo para o movimento dos corpos do Sistema Solar e do universo.

A primeira dificuldade, que é percebida na aprendizagem de ciências como um todo, a de não saber observar os fenômenos do mundo com os olhos de um cientista, que faz medidas, busca regularidades, propõe modelos, argumenta e comunica seus resultados, pode ser trabalhada através do estímulo, na escola e fora dela, a uma maior atenção ao mundo que nos cerca, à realização de atividades experimentais e investigativas, desde o ensino fundamental.

A segunda dificuldade é aquela sobre a qual nos propomos a refletir um pouco mais.

No tema de fenômenos astronômicos, a mera observação talvez seja insuficiente para possibilitar a construção de modelos explicativos cientificamente aceitos. O movimento dos corpos celestes exige dos aprendizes, em termos cognitivos, “um salto de imaginação” [17].

Precisamos ver a nós mesmos a partir de um referencial externo. Ou seja, o estudante precisa ser capaz de visualizar o mundo de um ponto de vista diferente do seu próprio.

Em outras palavras, precisa-se construir um modelo mental em três dimensões, abstrato e observado de forma externa a nós. Segundo Rapp [18], um modelo mental é uma representação interna das informações e experiências do mundo exterior, extremamente pessoal e difícil de acessar diretamente; mais do que isso, nem sempre é cientificamente correto. Este modelo precisa integrar as informações do cotidiano (por exemplo, a observação das luminosidades diferentes ao longo do dia e do ano, as aparências da Lua ao longo das semanas) e fazer sentido para o indivíduo. Tudo indica que há possibilidades de construções de modelos mentais que fornecem explicações satisfatórias para observações e que não são cientificamente aceitos.

No entanto, hoje em dia temos possibilidades não existentes há alguns anos, especificamente em relação ao uso de recursos de visualização no ensino.

A ciência utiliza fortemente ferramentas de visualização para compreender seus modelos [19]. Podem-se utilizar ferramentas instrucionais de visualização para auxiliar o estudante a fazer abstrações: para isso, devemos utilizar materiais didáticos que explorem imagens e possibilitem que ele abstraia da imagem visual para uma representação interna.

Muito se vem investigando a respeito da utilização de visualizações para a aprendizagem, especificamente de ciências. A construção de uma representação interna que permita que o aprendiz cresça, tanto em capacidade de decodificá-la, quanto em sua capacidade de com ela entender melhor o mundo a sua volta e resolver futuros problemas do mundo real, depende de que boas ferramentas instrucionais sejam construídas. Rapp [17] afirma que “Visualizações por si só não são uma panacéia, mas nós defendemos que acoplando o que sabemos a respeito de desenvolvimento de ‘visualizações’ com a pesquisa em como os estudantes aprendem, podemos melhorar a probabilidade de que os estudantes adquiram as competências centrais no seu aprendizado de ciências” [17, p. 47, versão livre].

A produção de materiais didáticos que utilizem imagens que os alunos conseguem interpretar e conectar a informações que eles já possuem é fundamental para que possamos explorar e ampliar a capacidade de aprendizagem desses estudantes. Por exemplo, um vídeo com algumas imagens do Sistema Solar já conhecidas, mas

que mude continuamente de ponto de referência e que mostre imagens e conceitos ainda não conhecidos, possibilita a ampliação da capacidade de visualização dos estudantes e pode aumentar a capacidade de construção de um modelo para os movimentos no Sistema Solar como entendido hoje pela ciência.

6. A produção de vídeos com o Celestia

O Celestia é um software de simulação 3D do universo conhecido, em tempo real. Este software teve sua primeira versão lançada em 2001; é de código aberto e livre, utiliza o OpenGL e funciona nas plataformas Linux, Mac OS X e Microsoft Windows. Pode ser baixado tanto do site do Celestia quanto do site da NASA.⁶

O software baseia-se no catálogo Hipparcos, um catálogo constituído a partir da missão astrométrica do satélite Hipparcos, da Agência Espacial Européia (ESA).⁷ Este catálogo contém dados astrométricos e fotométricos de alta qualidade, disponíveis publicamente em CDROM.

O Celestia permite a observação de mais de 100 mil objetos: desde os mais diminutos satélites em nosso Sistema Solar até planetas extra-solares, asteróides, estrelas de nossa galáxia, outras galáxias e até aglomerados. Esses objetos são retratados em escala real de distância, tamanho e de tempo. As imagens coletadas das missões espaciais mostram como realmente são os objetos celestes, na faixa de comprimentos de onda do visível. Nos planetários, as trajetórias a serem percorridas são pré-determinadas, mas no Celestia o usuário está livre para ir, com qualquer velocidade, a qualquer ponto do espaço em qualquer data, futura, presente ou passada.

O Celestia permite também inúmeras alterações em sua interface gráfica ou linguística. São possíveis a alteração em diversos parâmetros orbitais dos corpos celestes (albedo, raio equatorial, raio da órbita, textura, entre outros). Tudo que se vê no programa pode ser alterado, e com criatividade o programa pode ser utilizado para gerar imagens fictícias. Com essas características, o Celestia possui uma enorme comunidade de usuários do programa, guias para aprendizes, e uma vasta disponibilização de material didático, especialmente de caráter educativo; vários desses materiais estão disponíveis no site da NASA e no site do Celestia, além de vídeos postados no YouTube.

Uma das importantes características do programa é a possibilidade de leitura e interpretação de *scripts*. As

⁶Programa criado por C. Laurel, disponível no site www.shatters.net/celestia. A descrição de sua utilização está em Gregorio [20]. Pode ser acessado também do site da NASA, www.nasa.gov.

⁷A descrição da montagem deste catálogo pode ser encontrada em Turon [21], e a descrição da missão do satélite Hipparcos está em www.esa.int/science/hipparcos. O site da Agência Espacial Européia pode ser acessado em <http://www.esa.int/esaCP/index.html>.

linguagens de *script* servem para estender a funcionalidade de um programa e/ou controlá-lo. As linguagens de *script* utilizadas pelo Celestia são: *CEL scripting*, e *CELX scripting* (Lua). Os *scripts* escritos em *CEL* (próprios do Celestia) são usados para mudar o ponto de vista do observador e como ele vê os objetos. Os *scripts* nesse formato são compostos por uma sequência de comandos executados linha a linha, sem a possibilidade de estruturas de controle como *loops* ou funções. A sintaxe e estrutura desses *scripts* são muito simples; ao mesmo tempo, sua flexibilidade é limitada. Os *scripts* em *CELX* são escritos em Lua, uma linguagem de programação pequena e leve (criada na PUC-RIO) e amplamente usada no desenvolvimento de jogos. Assim como os *scripts* escritos em *CEL*, os *scripts* escritos em *CELX* são usados para mudar o ponto de vista do observador e como ele vê os objetos, mas são possíveis cálculos precisos e sofisticados dentro do próprio *script*. Mas sua grande vantagem sobre os *scripts* *CEL* é que os *scripts* *CELX* constituem uma verdadeira linguagem de programação, permitindo estruturas de controle.

Uma última e fundamental característica do Celestia é a possibilidade que o programa oferece para a captura de vídeo. Os *scripts* lidos, seja em *CEL* ou em *CELX*, mostram na tela (do programa) a imagem do que programamos, como numa viagem pelo espaço-tempo a bordo de uma nave espacial. O que aparece na tela (a viagem espacial) pode ser capturado e exportado pelo programa como vídeo, no formato AVI, com a compactação mais adequada, escolhida pelo usuário, ou mesmo sem ela. Esses vídeos exportados são a base para os nossos filmes. E este vídeo pode ser editado, com colocação de legendas, trilha sonora, efeitos 3D e outros.

Por estas características, o Celestia pode ser utilizado tanto como ferramenta de aprendizagem em sala de aula (com os alunos programando suas próprias viagens espaciais), como através da apresentação de vídeos [22].

7. Jornada no Sistema Solar: a produção do vídeo

O software Celestia permite produzir vídeos e materiais didáticos que abordem algumas das questões levantadas anteriormente: a superação de dificuldades dos estudantes através da utilização de recursos de visualização, partindo de imagens familiares e abordando imagens e pontos de vista não familiares, e a possibilidade de explorar e ampliar a capacidade de compreensão visual.

O primeiro vídeo produzido é “Jornada no Sistema Solar”. Seus objetivos eram apresentar e explorar:

- como o Sistema Solar é constituído (uma estrela, 8 planetas, muitos outros objetos como satélites e asteróides);

- as dimensões relativas tanto dos corpos (Sol, planetas, asteróides) quanto das órbitas e das distâncias entre os corpos;

- as características físicas e químicas dos planetas;

- a ideia que a descrição dos movimentos dos planetas é simplificada se esses movimentos são observados do referencial do Sol.

O vídeo foi produzido para atividades de formação de professores, tanto inicial quanto continuada. Ou seja, o público alvo não é o de crianças, e sim de adolescentes e jovens adultos escolarizados.

Sua produção foi feita na sequência descrita: discutem-se as ideias principais a serem abordadas, elabora-se um roteiro (com ideias de imagens e textos), faz-se a programação em Celestia, revê-se a produção, apresenta-se o vídeo a grupos semelhantes aos que vão constituir o público alvo, avalia-se esta apresentação, faz-se a revisão final e transforma-se o formato avi em dvd, com a sua reprodução e disponibilização.

Algumas escolhas foram feitas, de forma explícita, em função das ideias a serem exploradas, do público alvo e das possibilidades do Celestia:

- o vídeo não deveria ser muito longo (limitado a cerca de 30 minutos);

- as informações seriam dadas apenas com imagens, sem narração (com legendas), para que houvesse predomínio da imagem, com o objetivo de explorar e eventualmente ampliar habilidades de visualização;

- o texto das legendas (apresentado no Anexo 1) deveria conter muitas informações, mesmo que o assistente não tivesse capacidade de absorvê-las ou mesmo entendê-las todas.

Essas escolhas configuraram a forma do vídeo. Muitas das ideias que desejamos apresentar, para que o assistente tenha condições de construir o seu modelo, não estão escritas, estão apenas nas imagens: a Terra tem trechos iluminados e não iluminados à medida que gira, as distâncias entre planetas e o Sol nunca são apresentadas a não ser em imagens, o ponto de vista da observação é sempre externo à Terra e é variado, entre outras. As informações principais são as características físico-químicas dos planetas, as configurações geológicas, as rotações em torno do eixo.

E há também escolhas relativas às omissões: por exemplo, não são discutidos os satélites (em algumas cenas, como por exemplo em Saturno, é visível que há vários deles) e os cometas.

A sequência apresentada é a de uma viagem pelo espaço: o Sol, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Asteróides, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. No

DVD, cada uma dessas passagens pode ser vista separadamente.

8. Conclusões

A produção do vídeo “Jornada no Sistema Solar” foi feita com base nos resultados que os trabalhos de pesquisa em ensino nos revelam: que o conhecimento dos fenômenos astronômicos básicos é pequeno, entre jovens e adultos. Este tema também nos permite explicitar, por meio de imagens, ideias tais como a que o Sistema Solar não é geocêntrico, que diversos pontos de vista são possíveis para a descrição de um fenômeno, e que um deles pode tornar a descrição mais simples. A utilização desse tipo de imagem também possibilita a exploração, pelo professor, de alguns aspectos do denominado letramento visual, fornecendo bases para o desenvolvimento das habilidades do estudante.

Além desses aspectos, o desenvolvimento deste trabalho proporciona a capacitação de estudantes e professores na perspectiva de produção de materiais didáticos próprios de alta qualidade.

A utilização deste vídeo em sala de aula e em espaços educativos não formais nos indica, a partir das observações, que o formato utilizado possibilita múltiplas formas de interação: o professor pode abordar, em diversos níveis, vários dos conteúdos que são apenas comentados no texto, entre outros.

Na Fig. 2, apresentamos a capa do vídeo.⁸ Este vídeo também está disponível no YouTube,⁹ em seus vários capítulos, como mostrado na Fig. 3.

Outros vídeos estão sendo produzidos com o Celestia atualmente, por nosso grupo, incorporando algumas outras ferramentas. Também estão em fase de análise os dados obtidos com a apresentação e uso destes materiais em atividades didáticas com estudantes do ensino superior.



Figura 2 - O DVD Jornada no Sistema Solar.

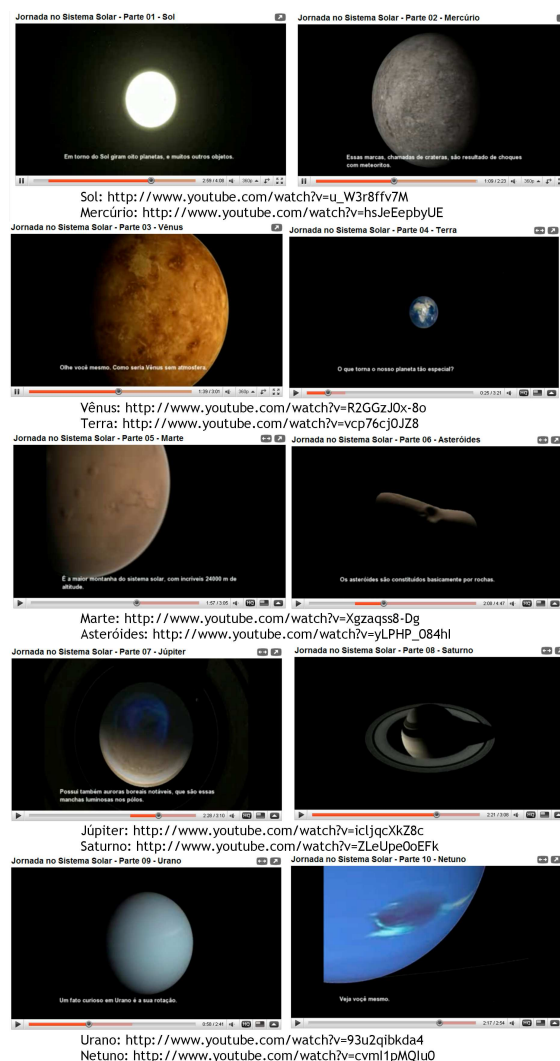


Figura 3 - Imagens dos capítulos de Jornada no Sistema Solar no YouTube.

Como último comentário, afirmamos que recursos tecnológicos disponíveis atualmente constituem ferramentas preciosas para as atividades de ensino. A combinação entre a pesquisa, que pode nos indicar as dificuldades na aprendizagem de ciências e a importância de alguns dos temas, e o desenvolvimento de materiais, que nos permitem aplicar este conhecimento para uso diretamente com os estudantes e o público em geral, possibilita a melhoria do ensino de ciências em geral e a formação de professores com capacidade de produzir e usar materiais didáticos diferenciados e capazes de interessar os estudantes.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Secretariada de Educação Básica do MEC, pela Fundação Carlos Chagas Filho de Apoio à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento

⁸O vídeo pode ser solicitado, em formato dvd ou avi, aos autores.

⁹No YouTube, podem ser encontrados muitos vídeos produzidos com o Celestia, de forma caseira.

Científico e Tecnológico - CNPq.

Foi produzido pelo LIMC – Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Ensino de Matemática e Ciências do CCMN-UFRJ, para a Rede Nacional de Formação Continuada de Professores da Educação Básica.

Constituiu o trabalho de iniciação científica do aluno Igor Borgo Duarte Santos, do curso de Astronomia da UFRJ, e recebeu Menção Honrosa na XXX Jornada de Iniciação Científica da UFRJ, em 2008.

Agradecemos aos professores do OV, em particular C. Rabaça e S. Lorentz, pelo incentivo e discussões.

Anexo

O texto das legendas do vídeo Jornada no Sistema Solar

Jornada no Sistema Solar

Estamos a trilhões de quilômetros de casa.
Exatamente a 1000 anos-luz de distância.
Será que somos capazes de achar o nosso Sol?
Olhe bem.
Procure com calma.
Não achou? Relaxe.
Veja, ali está ele, insignificante em meio a tantas outras estrelas.
Então... que tal ir até lá, dar uma olhada mais de perto?
Estamos agora a 8 milhões de quilômetros de distância do Sol.
Ele é a única estrela do nosso sistema solar.
Ele brilha porque em seu núcleo ocorrem reações de fusão nuclear.
Reações nas quais átomos de hidrogênio se fundem para formar átomos de hélio.
Nessas reações, há liberação de uma enorme quantidade de energia.
É isso que mantém as estrelas vivas e brilhando.
Estima-se que o Sol tenha cerca de 5 bilhões de anos de idade.
Sua temperatura, na superfície, não é tão alta quanto pensamos.
Cerca de 5500 graus centígrados. No núcleo, as temperaturas podem chegar até a 15 milhões de graus centígrados.
A massa do Sol chega a $2,0 \times 10^{30}$ quilos, aproximadamente 300 mil vezes a massa da Terra.
Com um raio de aproximadamente 700.000 quilômetros, sua densidade não é muito elevada: é de $1,41 \text{ g/cm}^3$.
Essa densidade é quatro vezes menor que a da Terra.
Em torno do Sol giram oito planetas, e muitos outros objetos.

Os planetas são os seguintes: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

Vamos conhecer agora um pouco sobre cada um deles.

O primeiro deles será Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol.

Vamos até lá.

Olhar mais de perto.

Esse é Mercúrio.

Vamos nos aproximar mais.

Mercúrio não possui atmosfera. O calor do Sol faz com que ela se dissipe para o espaço.

Em virtude disso as temperaturas variam bastante.

De $420 \text{ }^\circ\text{C}$ durante o dia a $-180 \text{ }^\circ\text{C}$ durante a noite.

Sua superfície é repleta de marcas de colisões.

Essas marcas, chamadas de crateras, são resultado de choques com meteoritos.

O interior de Mercúrio é dividido em duas camadas:

Um grande núcleo de ferro, com cerca de 1900 quilômetros de raio.

E uma crosta de cerca de 600 quilômetros composta basicamente por silicatos.

Estudos recentes mostram que existe água congelada nos pólos do planeta.

Oriunda provavelmente de cometas que colidiram com Mercúrio.

Vamos agora para o segundo planeta do Sistema Solar.

Também conhecido como a Estrela Dalva.

Estamos de frente para o segundo planeta do Sistema Solar, Vênus.

Vênus possui uma atmosfera muito densa e rica em dióxido de carbono.

Essa característica acarreta em Vênus um efeito estufa.

Similar ao da Terra, mas em maiores proporções.

As temperaturas podem alcançar até $460 \text{ }^\circ\text{C}$, suficiente para derreter chumbo.

Sendo até mais quente que Mercúrio. Apesar de estar mais longe do Sol.

Sua superfície é similar à da Terra, com planícies e poucas e poucas montanhas.

Em algumas regiões existem muitos vulcões.

O que explica por que a maior parte da superfície do planeta é coberta por lava.

Olhe você mesmo. Como seria Vênus sem atmosfera.

Existem rios de lava em todo o planeta.
Isso também indica que Vênus possui um manto da rocha derretida, como na Terra.

Vemos ver novamente Vênus com sua atmosfera.

Às vezes Vênus é chamado de planeta-irmão da Terra.

Ambos com densidade, tamanho e composição química similares.

Se a Terra estivesse mais próxima do Sol seria provavelmente igual a Vênus.

O próximo planeta da lista é a Terra.

O planeta no qual vivemos.

O que torna o nosso planeta tão especial?

O que ele tem de diferente dos outros?

Duas coisas: água líquida e oxigênio gasoso.

Duas moléculas sem as quais não haveria vida por aqui.

Ambas propiciaram o surgimento e o desenvolvimento da vida.

A água existe em abundância por aqui. Olhe quantos oceanos.

71% da superfície da Terra é coberta por água.

O restante é formado em sua grande parte por continentes.

Quanto ao oxigênio, ele representa 21% da composição atmosférica.

Só perdendo para o nitrogênio, 77%. O restante é composto por outros gases e vapor de água.

Já o interior da Terra é formado por um núcleo sólido de níquel e ferro.

As temperaturas lá podem chegar a 7200 °C, mais quente até que a superfície do Sol.

Acima do núcleo temos um manto de rocha derretida, e logo acima uma crosta bem fina.

Essas três camadas somam um total de aproximadamente 6.400 km de raio para a Terra.

O que é mais ou menos a distância da cidade do Rio de Janeiro a Havana, em Cuba.

Vamos agora até Marte.

O planeta vermelho.

Mas por que vermelho?

Isso ocorre pois as rochas de lá têm essa coloração alaranjada, devido a substâncias que as compõem.

As temperaturas em Marte podem variar de -120 °C a 20 °C.

A atmosfera de Marte é fina, composta essencialmente de dióxido de carbono, 95,3%.

O restante fica por conta do nitrogênio, argônio, oxigênio e água.

Sua pressão atmosférica não chega nem a 1% da pressão da Terra.

Entretanto sua atmosfera é densa o suficiente para produzir tempestades de areia que podem cobrir Marte por meses.

Mas o que chama a atenção em Marte é sua topografia.

Lá existem as maiores montanhas e depressões do Sistema Solar.

O Monte Olympus, por exemplo.

É a maior montanha do Sistema Solar, com incríveis 24000 m de altitude.

E o Valle Marineris: um sistema de canyons de 4000 km de comprimento e profundidade variando de 2 km a 7 km.

Marte atualmente é muito estudado.

Principalmente após a descoberta de que existe água sob sua superfície.

Até agora vimos quatro planetas: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

Eles são conhecidos como planetas rochosos ou planetas interiores.

Recebem esse nome pois são formados principalmente por rochas, possuindo uma superfície sólida.

Note que entre eles e Júpiter há um enorme espaço.

Nesse vazio, encontramos milhares de pequenos corpos que giram ao redor do Sol. São os asteróides.

Repare como são muitos.

E isso é só uma fração do total.

Vamos dar uma olhada em alguns deles.

Esse é Eros.

Os asteróides são constituídos basicamente por rochas.

Uma característica marcante é sua forma irregular.

Olhe bem.

Vamos até outro asteróide.

Ida.

Ida se diferencia dos demais por possuir algo que normalmente só planetas possuem.

Um satélite natural, Dactyl.

Uma rocha como outra qualquer.

Só que essa gira ao redor de um asteróide.

Vamos ver mais um asteróide.

Ceres.

Ceres é sem dúvida o gigante dos asteróides.

Sua massa corresponde a cerca de 25% da massa de todos os outros asteróides conhecidos reunida.

Com um raio de cerca de 475 km, Ceres foi

promovido à categoria de planeta anão, assim como Plutão.

Vamos até Júpiter agora.
 O primeiro dos chamados planetas gasosos ou planetas exteriores.
 Júpiter é conhecido como o gigante do Sistema Solar.
 É o maior de todos os planetas.
 Sua massa equivale a 318 vezes a massa da Terra, ou 2 vezes mais massa que todos os outros planetas juntos.
 Os planetas gasosos não têm superfície sólida. É impossível pousar neles.
 Seu material gasoso simplesmente se torna mais denso à medida que se aproxima do centro.
 Júpiter é composto basicamente por cerca de 90% de hidrogênio e 10% de hélio.
 Seu núcleo é provavelmente rochoso, algo em torno de 10 a 15 massas terrestres.
 Acima do núcleo encontramos o principal constituinte do planeta:
 Hidrogênio metálico líquido.
 Essa forma exótica do mais comum dos elementos é possível somente a pressões superiores a 4 milhões de atmosferas.
 Constitui-se de elétrons e prótons ionizados, que conduzem eletricidade e são a fonte do seu gigantesco campo magnético.
 Júpiter, ao contrário do que se acha, possui anéis. Assim como todos os gigantes gasosos.
 Repare, eles são bem discretos.
 Possui também auroras boreais notáveis, que são essas manchas luminosas nos pólos.
 Olhe como são brilhantes.

Nosso próximo destino é Saturno.
 O senhor dos anéis do Sistema Solar.
 Olhe como são notáveis os anéis.
 Esses anéis são muito finos. Embora tenham um diâmetro de 250.000 km ou mais, sua espessura não vai além de 200 m.
 Há realmente muito pouco material nos anéis.
 Se os anéis fossem condensados num único corpo, este não teria mais que 100 km de raio.
 As partículas dos anéis parecem ser compostas basicamente de gelo de água.
 Mas partículas rochosas cobertas por gelo podem também existir.
 É o segundo maior planeta do Sistema Solar.
 Mas é o menos denso dos planetas. Sua densidade, 0,7 g/cm³, é menor que a da

água.

Como Júpiter, Saturno é composto por cerca de 75% de hidrogênio e 25% de hélio.
 Seu interior é similar ao de Júpiter, consistindo em um núcleo rochoso, circundado por uma camada de hidrogênio molecular.
 Embora pareçam contínuos, os anéis são formados por milhares de pequenas partículas de diferentes tamanhos.
 Variando de centímetros a metros. Mas é também provável que existam objetos com alguns quilômetros de comprimento.

Vamos agora até o sétimo planeta.
 Esse é Urano.
 Até Saturno, todos os planetas são visíveis a olho nu da Terra.
 Depois de Saturno, só podemos enxergar os planetas com o auxílio de telescópios.
 Urano foi descoberto em 1781.
 Um fato curioso em Urano é a sua rotação.
 A maioria dos planetas gira em um eixo quase perpendicular ao plano da eclíptica.
 Mas o eixo de Urano é quase paralelo a esse plano.
 A cor azulada de Urano é o resultado da absorção da luz vermelha pelo metano na alta atmosfera.
 Como outros planetas gasosos, Urano tem anéis.
 Eles são difíceis de ver, mas estão aí.
 Repare bem.

Vamos ao nosso último destino.
 Netuno.
 O último planeta do Sistema Solar.
 Netuno também é um planeta gasoso.
 É azulado pelos mesmos motivos de Urano.
 A luz vermelha é absorvida pelo metano na alta atmosfera.
 Netuno foi observado pela primeira vez em 1846.
 Netuno estava, entre 1979 e 1999, mais distante do Sol do que Plutão.
 Isso ocorre pois Plutão possui uma órbita muito excêntrica, que por vezes corta a órbita de Netuno.
 Com isso ocorre essa alternância de posições.
 Como um típico planeta gasoso, Netuno tem ventos rápidos, confinados às faixas de latitude.
 E grandes tempestades ou vórtices.
 Os ventos de Netuno são os mais rápidos do

Sistema Solar, atingindo incríveis 2000 km/h.
 Netuno também possui anéis.
 Que também são bem finos.
 Veja você mesmo.

Vamos agora ver os planetas de longe.
 Na ordem vimos:
 Mercúrio.
 Vênus.
 Terra.
 Marte.
 Júpiter.
 Saturno.
 Urano.
 Netuno.
 E assim encerramos a nossa jornada pelo Sistema Solar.

Fim

Referências

- [1] MEC/SEF, *Parâmetros Curriculares Nacionais (5ª a 8ª séries): Ciências Naturais* (MEC/SEF, Brasília, 1998).
- [2] J.M. Bailey and T.F. Slater. *American Journal of Physics* **73**, 677 (2005).
- [3] T. Silva e M.F. Barroso, *Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba (2008). Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0103-1.pdf>, consultado em 7/9/2009.
- [4] I. Asimov, *Isaac Asimov's Guide to Earth and Space* (Ballantine Books, Nova York, 1993), 1ª ed.
- [5] OECD Programme for International Student Assessment, *Measuring Student Knowledge and Skills – A New Framework for Assessment* (OECD Publications, Paris, 1999). Disponível em http://www.pisa.oecd.org/document/58/0,3343,en_32252351_32236159_33688954_1_1_1_1,00.html, consultado em 09 de setembro de 2009.
- [6] National Research Council. *National Science Education Standards* (National Academy Press, Washington, 2004).
- [7] M.F. Barroso e C. Franco, *Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba, 2008. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0103-2.pdf>, consultado em 7/9/2009.
- [8] OECD Programme for International Student Assessment, *Knowledge and Skills for Life: First Results from the OECD Programme for International Student Assessment (PISA) 2000* (OECD Publications, Paris, 2001). Disponível em <http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/44/53/33691596.pdf>, consultado em 7/9/2009.
- [9] OECD Programme for International Student Assessment, *Learning for Tomorrow's World - First Results from PISA 2003* (OECD Publications, Paris, 2004). Disponível em <http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/1/60/34002216.pdf>, consultado em 7/9/2009.
- [10] T.F. Slater, *Astronomy Education Review* **7**, 1 (2008), 10.3847/AER2008001, disponível em <http://aer.nao.edu/figures/v07i01/07-01-01-01.pdf>, consultado em 3/9/2009.
- [11] L. Danaia and D.H. McKinnon, *The Astronomy Education Review* **6**, 32 (2008).
- [12] C. Kavanagh, L. Agan and C. Sneider, *The Astronomy Education Review* **4**, 19 (2005).
- [13] A.-L. Scarinci e J.L.A. Pacca, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 89 (2006).
- [14] R. Langhi e R. Nardi, *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia* **2**, 75 (2005).
- [15] B.M. Sebastião and J.M. Torregrosa, *The Astronomy Education Review* **4**, 121 (2005).
- [16] H. Kalkan and K. Kiroglu, *The Astronomy Education Review* **6**, 15 (2007).
- [17] A. Kriner, *Ciência & Educação* **10**, 111 (2004).
- [18] D.N. Rapp, in: *Visualizations in Science Education*, edited by J.K. Gilbert (Springer, Dordrecht, 2005); D.N. Rapp and C.A. Kurby, in: *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, edited by J.K. Gilbert, M. Reiner and M. Nakhleh (Springer, Dordrecht, 2008).
- [19] J.K. Gilbert (ed.), *Visualizations in Science Education* (Springer, Dordrecht, 2005); J.K. Gilbert, M. Reiner and M. Nakhleh (ed), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Springer, Dordrecht, 2008).
- [20] F. Gregorio, *Celestia User's Guide*. Disponível em <http://www.celestiamotherlode.net/creators/fsgregs/CelestiaUsersGuide1-5-1.pdf>, consultado em 8/8/2009.
- [21] C. Turon, D. Priou and M.A.C. Perryman, *Celestia 2000*, disponível em http://www.rssd.esa.int/Hipparcos/venice-proc/oral02_02.pdf, consultado em 12/8/2009.
- [22] T. Kerr. *Teaching by Example, Learning by Design: Three Recent Technologies in Three Learning Contexts*. Disponível em <http://www.ascilite.org.au/conferences/melbourne08/procs/kerr-poster.pdf>, consultado em 8/8/2009.