

CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ORIENTADA POR DESIGN-BASED RESEARCH SOBRE O TEMA EXOPLANETAS

 Thiago Costa Caetano¹

 Ícaro Meidem Silva²

 Wagner José Corradi Barbosa³

 Agenor Pina da Silva⁴

 Camila Cardoso Moreira⁵

Resumo: No ano de 2007 foi criada a disciplina “Conceitos de Astronomia” no primeiro período do curso de licenciatura em Física da Universidade Federal de Itajubá como consequência de inúmeros trabalhos que apontam para a importância desse tema no ensino. Neste trabalho, apresentamos os aspectos da pesquisa relacionada às primeiras etapas da construção de uma sequência de ensino e aprendizagem (SEA) para a disciplina, que trata da formação de sistemas planetários e de algumas técnicas para a detecção de exoplanetas. A metodologia *Design-Based Research* (DBR) foi empregada para orientar a construção da sequência e, dadas a extensão da pesquisa e a profundidade das análises realizadas, optamos por dividir a apresentação dos resultados em duas partes. Neste momento, limitamo-nos às três fases iniciais da DBR, sendo que a terceira fase – compreensão do problema – é onde estão concentrados os aspectos mais relevantes da pesquisa neste momento. Os resultados apontam para dificuldades de aprendizagem ligadas à representação em escala de sistemas planetários e para fragilidades ligadas ao pensamento geométrico-espacial. A partir desses resultados, uma série de parâmetros foi obtida para subsidiar as fases posteriores da pesquisa, a saber, a concepção, implementação e avaliação da SEA. Um sistema estrela-planeta robotizado também foi desenvolvido por nossa equipe para auxiliar os estudantes na visualização do fenômeno, iniciativa esta que decorre da constatação de que os estudantes apresentam certa dificuldade relacionada ao pensamento abstrato. O projeto e os algoritmos desenvolvidos são apresentados neste trabalho e estão disponíveis gratuitamente.

Palavras-chave: Exoplanetas, Sistemas planetários, Trânsito planetário, Fotometria de trânsito.

CONSTRUCCIÓN DE UNA SECUENCIA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE ORIENTADA POR LA METODOLOGIA *DESIGN-BASED RESEARCH* SOBRE EXOPLANETAS

Resumen: En 2007, se creó la disciplina “Conceptos de Astronomía” en el primer período de la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Federal de Itajubá como resultado de numerosos trabajos que apuntan a la importancia de esta materia en la enseñanza. En este trabajo presentamos aspectos de la investigación relacionados con las primeras etapas de la construcción de una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) para la disciplina, que trata sobre la formación de sistemas planetarios y algunas técnicas para la detección de exoplanetas. Se utilizó la

¹ Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, tccaetano@unifei.edu.br

² Licenciando em Física pela Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, icaro-meidem@hotmail.com

³ Laboratório Nacional de Astrofísica/MCTI, Itajubá, Brasil, wbcorradi@lna.br

⁴ Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, agenor@unifei.edu.br

⁵ Bhadram Soluções Educacionais, Itajubá, Brasil, camila.bhadram@gmail.com

Construção de uma sequência de ensino e aprendizagem orientada por *Design-Based Research* sobre o tema Exoplanetas

metodología Design-Based Research (DBR) para orientar la construcción de la secuencia y, dada la amplitud de la investigación y la profundidad de los análisis realizados, se optó por dividir la presentación de resultados en dos partes. En este momento, nos limitamos a las tres fases iniciales del DBR, y la tercera fase -comprensión del problema- es donde se concentran los aspectos más relevantes de la investigación en este momento. Los resultados apuntan a dificultades de aprendizaje vinculadas a la representación a escala de sistemas planetarios y debilidades vinculadas al pensamiento geométrico-espacial. A partir de estos resultados se obtuvo una serie de parámetros para subvencionar las fases posteriores de la investigación, a saber, la concepción, implementación y evaluación del SEA. Nuestro equipo también desarrolló un sistema robótico estrella-planeta para ayudar a los estudiantes a visualizar el fenómeno, una iniciativa que surge del hallazgo de que los estudiantes tienen cierta dificultad relacionada con el pensamiento abstracto. El proyecto y los algoritmos desarrollados se presentan en este trabajo y están disponibles gratuitamente.

Palabras clave: Exoplanetas, Sistemas planetarios, Tránsito planetario, Fotometría de tránsito.

DEVELOPING A TEACHING AND LEARNING SEQUENCE WITH DESIGN-BASED RESEARCH ABOUT EXOPLANETS

Abstract: In the year of 2007, the discipline entitled “Concepts of Astronomy” was created to be lectured during the freshman year of the Physics Teachers career – teachers’ practice – at the Federal University of Itajubá, as a result of the research indicating the importance of the theme. In this paper, we present the aspects of the research related to the first steps for the construction of a teaching and learning sequence (TLS) for the mentioned subject, which addresses the formation of planetary systems and exoplanets detection techniques. The Design-Based Research (DBR) methodology was employed in order to guide us through the construction of the sequence and, considering the extension of the research as well as the depth of the analysis that has been carried out, it was decided to present the results in two parts. In this paper, we are constrained to discussing the three first phases of the DBR, whereas the third phase – comprehension of the problem – is where the most relevant research aspects are concentrated. The results indicate difficulties related to scaled representations of planetary systems and fragilities associated with geometrical-spatial thinking. Based on that, a series of parameters has been obtained to sustain the following phases of the research – the conception, implementation, and evaluation of the sequence. The research team has developed a robotized Earth-Sun system to help the students to visualize the phenomenon, an initiative related to the fact that the students have shown difficulties associated with abstract thinking. The project and algorithms are presented in this paper and are available for free.

Keywords: Exoplanets, Planetary systems, Planetary transit, Transit photometry.

1 Introdução

Existe vasta literatura em que se discute a importância da Astronomia no ensino de ciências e as inúmeras contribuições que ela tem a oferecer, como é o caso dos trabalhos de Nussbaum, 1995; Tignanelli, 1998; Townsend, 1998; Leite e Hosoume, 1999; Leite, 2002; Langhi, 2004; Langhi e Nardi, 2014; e Peixoto, 2018. Segundo Langhi e Nardi (2014), entre as principais justificativas para o ensino de Astronomia encontra-se o fato de que essa ciência contribui para que sejam trabalhados conteúdos referentes à história e à filosofia da ciência no ensino, bem como o fato de que favorece abordagens com enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). De acordo com os autores, a Astronomia i) promove a elaboração de atividades experimentais e a prática de observação do céu; ii) é altamente interdisciplinar e o tema é

motivador; iii) possui potencial para promover a interação com a comunidade de astrônomos profissionais e espaços não-formais de ensino; iv) é preconizada pelas diretrizes curriculares em nível nacional – a mesma tendência pode ser observada no cenário internacional – e v) é necessária, levando-se em conta a presença de erros conceituais e falhas nos livros didáticos, as concepções alternativas em professores e alunos e a baixa popularização dessa ciência – ou da ciência, de modo geral. O aspecto interdisciplinar da Astronomia é certamente uma característica que se sobressai e também é citado por Peixoto quando afirma que se “a astronomia é parte do nosso cotidiano, poderíamos utilizá-la como integradora de saberes, propiciando ao ensino de ciências momentos interdisciplinares” (2018, p. 50).

Por todas essas razões é imprescindível que esse conteúdo integre os programas de formação de professores, seja essa formação a inicial ou a continuada. Nesse contexto, no ano de 2007 foi criada a disciplina “Conceitos de Astronomia” (sigla AST001), que passou a pertencer à matriz curricular do curso presencial de licenciatura em Física da Universidade Federal de Itajubá (Unifei) – MG/Brasil. Neste trabalho apresentamos os aspectos da pesquisa referentes aos primeiros passos da construção de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) que trata da formação de sistemas planetários e de técnicas de detecção de exoplanetas nessa disciplina.

Mais especificamente, a SEA deve apresentar o modelo canônico para formação de sistemas planetários utilizando nosso próprio sistema como ponto de partida para as discussões. Após tratar aspectos do processo de formação do sistema e da dinâmica planetária, a sequência deve ter prosseguimento por meio do estudo de técnicas de detecção de planetas em outros sistemas – os exoplanetas. Será dada ênfase no método da observação do trânsito e para auxiliar na superação de dificuldades que os estudantes normalmente manifestam relativamente ao pensamento geométrico-espacial necessário para a análise e compreensão do problema, utilizaremos um aparato experimental construído pela nossa equipe, o qual será apresentado em detalhes nesse trabalho. Trata-se de um sistema estrela-planeta simplificado e robotizado em que é possível alterar parâmetros como o período de translação, o raio médio da órbita, o ângulo de inclinação da órbita e a dimensão do planeta. A ideia é estimular os estudantes a construir relações desses parâmetros com aspectos da curva de luz resultante através de uma série de demonstrações. Assim, espera-se que sejam capazes de fazer inferências coerentes e significativas quando tiverem a oportunidade de analisarem curvas de luz que tenham sido obtidas a partir de sistemas reais.

O conteúdo é relevante para os estudantes, futuros professores, pois se trata de um tema bastante atual, altamente interdisciplinar e com grande potencial para abordagens com enfoque CTS, entre outros aspectos. À guisa de ilustração, o satélite TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*) monitora continuamente centenas de milhares de estrelas e já identificou milhares de planetas (Ricker et al., 2010). Esse fato tem grande potencial para instigar os estudantes, bem como o público em geral, e a explicação para isso tem relação com o fascínio que a Astronomia exerce sobre os seres humanos desde a antiguidade, falando de uma forma geral. O mistério e a exuberância inerentes à Astronomia têm grande potencial para provocarem o interesse do público, tanto quanto um dia os mares e oceanos já açularam grandes navegadores. O fato de existirem inúmeros sistemas planetários, para além de uma simples curiosidade, constitui um fato que contribui para alterar nossa percepção do Universo. O Sol não é a única estrela orbitada por planetas e a formação desses sistemas não é um evento tão raro quanto poder-se-ia imaginar. A

próxima questão, naturalmente, é se existe vida em algum desses planetas. E essa é uma questão deveras importante para ser ignorada no ensino. Os estudantes precisam estar munidos de informações, tão bem quanto possível, à fim de que possam fazer uma análise coerente da questão, argumentar de forma consistente, compreenderem e contribuir para o diálogo científico em torno desse tema.

Para a construção da SEA contamos com a metodologia denominada *Design-Based Research* (DBR) (Easterday, Lewis e Gerber, 2014; Wang e Hannafin, 2005; Minichiello e Caldwell, 2021; Ustun e Tracey, 2020) – mais detalhes sobre essa metodologia serão apresentados em seções posteriores. Neste trabalho foi adotada uma estrutura com seis fases para a DBR, que é uma variação da definição que foi apresentada por Easterday, Lewis e Gerber (2014). Por conta tanto da extensão como da profundidade das análises que foram realizadas, julgamos que seria mais apropriado repartir a apresentação do conteúdo e dos resultados da pesquisa em duas partes. Isso porque as fases mencionadas podem – e normalmente é o que ocorre – apresentar metodologias de pesquisa diversas, com enfoques específicos. Neste primeiro momento iremos discutir apenas os aspectos da pesquisa que estão ligados as três primeiras fases: i) a definição do foco, ou seja, do público para o qual a SEA está sendo desenvolvida, do conteúdo que será abordado e de que forma será a abordagem com respeito ao currículo; ii) objetivos e indicadores de aprendizagem e por fim, iii) a compreensão do problema, onde realizamos um estudo exploratório.

A última fase consiste na análise de problemas de aprendizagem acerca do tema. Embora sejam escassas as fontes que tratam especificamente do tema da SEA, foram encontrados alguns trabalhos direcionados para concepções prévias e conceitos equivocados concernentes a temas que possuem alguma interface com a SEA, além de alguns outros problemas mais abrangentes. Por exemplo, a representação em escala de sistemas planetários constitui um grande desafio e as representações pictóricas normalmente encontradas em livros didáticos contribuem para perpetuar uma ideia errônea sobre a verdadeira dimensão do sistema, dos seus objetos e das distâncias envolvidas. Esse é um problema que tem uma interface clara com o tema da SEA e portanto foi levado em consideração nas discussões na fase de compreensão do problema.

Além disso, a fase de compreensão do problema normalmente requer alguma intervenção empírica, motivo pelo qual esta fase encerra os aspectos da pesquisa tratada aqui. No caso deste trabalho, foi feita uma intervenção que consistiu em um estudo exploratório cujo objetivo foi delinear o perfil dos estudantes participando da construção da SEA – suas concepções prévias, ideias errôneas, sua experiência com observações astronômicas, etc. Utilizamos como instrumento de coleta de dados um questionário impresso contendo quatro questões abertas, o qual foi aplicado aos estudantes durante uma das aulas da disciplina. As respostas foram submetidas a uma análise textual discursiva e as principais conclusões são apresentadas. Com base nos resultados, alguns direcionamentos para a elaboração da SEA puderam ser delineados – pontos a serem enfatizados, conteúdo a ser revisado, materiais a serem utilizados, assim por diante.

Este trabalho apresenta a seguinte estrutura: primeiramente apresentamos (i) uma breve descrição da disciplina “Conceitos de Astronomia – AST001”. Trazemos um breve histórico da

disciplina e apresentamos a sua estrutura curricular de maneira simplificada, bem como certas condições de contorno para a forma como o conteúdo deve ser trabalhado com relação ao currículo. A seção que segue apresenta (ii) alguns conceitos relevantes sobre o tema da SEA – formação de sistemas planetários e técnicas de detecção de exoplanetas. É apresentado o modelo canônico para a formação do sistema solar e duas das técnicas mais empregadas na detecção de exoplanetas, com ênfase na técnica baseada em fotometria de trânsito planetário. É dado prosseguimento com o (iii) planejamento da atividade, em que apresentamos os aspectos relativos ao desenvolvimento das três primeiras fases da DBR, com relevo para o estudo exploratório realizado na terceira fase. Decorre da compreensão do problema que seria benéfico para a SEA se fosse utilizado com os estudantes algum tipo de simulador ou aparato experimental. Portanto, (iv) apresentamos os detalhes da construção de um sistema estrela-planeta robotizado que deverá ser empregado durante a implementação da SEA – abordado no próximo trabalho da série. Para finalizar (v) tecemos algumas considerações relevantes sobre o trabalho.

2 Breve apresentação da disciplina “Conceitos de Astronomia”

Como já foi mencionado, a disciplina foi criada no ano de 2007 para integrar a matriz curricular do curso de licenciatura em Física da Unifei – MG, Brasil. A decisão teve como esteio os inúmeros trabalhos que apontam para a importância de se trabalhar temas de Astronomia na formação (inicial) de professores e nas contribuições que ela tem a oferecer para a melhoria do ensino e da divulgação da ciência (Langhi e Nardi, 2014; Peixoto, 2018; Townsend, 1998; e Nussbaum, 1995). No início a disciplina possuía 32 horas-aula e sua sigla era AST926. Foi com a implementação da nova matriz curricular em 2016 que a disciplina passou a ter a sigla AST929 e uma carga horária total de 64 horas-aula, sendo que 50% dessa carga passou a ser oferecida na modalidade virtual. Naquele momento, a mudança fez parte de uma reforma curricular que ocorreu em consequência das discussões que existiram em torno da Resolução 2/2015 aprovada pelo Conselho Nacional de Educação – CNE/Brasil – em 9 de junho de 2015, a qual ampliava a carga horária dos cursos de formação inicial dos profissionais do magistério da Educação Básica (EB). A carga horária da disciplina foi ampliada novamente quando da implementação da matriz curricular de 2022, passando a ter a sigla AST001 e uma carga horária de 96 horas-aula, permanecendo um terço dessa carga horária no regime a distância.

A disciplina está inserida no primeiro período do curso e portanto foi decidido que deveria apresentar um caráter predominantemente conceitual, tendo em vista principalmente dois fatores: (i) a disciplina tem como objetivo prover um panorama da área, abordando desde astronomia antiga, modelos de mundo, evolução estelar, galáxias, até a cosmologia. Evidentemente, trata-se de uma ementa bastante densa e apenas um semestre não é tempo suficiente para que os tópicos sejam discutidos de forma minuciosa. (ii) Os estudantes encontram-se no início do curso e ainda não adquiriram familiaridade com muitas das ferramentas que seriam necessárias para que pudessem compreender o formalismo por trás de abordagens mais aprofundadas. Além disso, é preciso levar em consideração que durante o primeiro período os estudantes enfrentam uma fase de adaptação ao ensino superior, um período de transição, de forma que se deve ponderar com muito cuidado o volume de informações e de

trabalho, o nível de formalismo e de aprofundamento que serão empregados. Idealizou-se ainda que a disciplina deveria valer-se de estratégias de ensino variadas, com especial ênfase na sua componente prática. A ideia é torná-la mais atraente para os ingressantes do curso, os quais apenas recentemente deixaram a EB. Subjacente às pretensões que foram mencionadas se encontra o desejo de reduzir a taxa de evasão do curso, que é especialmente acentuada entre os primeiro e segundo anos. A disciplina recebe tipicamente trinta alunos a cada ano, mas o número pode ser ligeiramente maior por conta de alunos represados – reprovações ou abandono – e estudantes de outros cursos para os quais a disciplina tem caráter optativo.

Com respeito ao programa, a estrutura básica da disciplina compreende os seguintes pontos: (i) Astronomia antiga; (ii) uma análise dos dois principais modelos de mundo – o geocentrismo e o heliocentrismo; (iii) Astronomia de posição – a esfera celeste e o movimento diurno dos astros; (iv) sistemas de coordenadas – o sistema local de coordenadas e o sistema equatorial, eclíptica e precessão dos equinócios; (v) medidas de tempo – a periodicidade dos fenômenos, surgimento e evolução dos calendários; (vi) constelações; (vii) sistema Sol-Terra-Lua – fases da Lua, eclipses, efeito de maré, estações do ano, os paralelos principais, rotação, translação e precessão, etc. (viii) Formação de sistemas planetários – formação, características, dinâmica, leis de Kepler, técnicas para detecção de exoplanetas; (ix) formação e evolução estelar; (x) astronomia extragaláctica e cosmologia. Evidentemente, trata-se de uma ementa bastante abrangente. Essa representa uma das principais razões pelas quais optou-se por um enfoque predominantemente conceitual, como já foi mencionado.

Em termos de equipamentos e laboratórios, existe um cenário bastante favorável para a realização de atividades práticas, para além daquelas que são sugeridas em sala de aula – normalmente atividades que recorrem à utilização de materiais acessíveis, afinal um dos objetivos do curso é instrumentalizar os futuros professores para que possam reproduzir tais atividades com estudantes da EB. A unidade acadêmica que abriga o referido curso (Instituto de Física e Química – IFQ/Unifei) possui à sua disposição um telescópio Celestron Schmidt-Cassegrain robotizado, com espelho primário de 11 polegadas. Esse instrumento é utilizado regularmente na disciplina para as oficinas de observação do céu noturno e também em sessões de observação abertas à população, para que os futuros professores possam ter contato com o público e, desse modo, adquirirem prática de ensino, melhorarem sua didática, sua oratória, desinibirem-se (quando for o caso), etc.

Existem outros dois fatores que merecem ser mencionados pela contribuição que têm oferecido ao curso. O primeiro refere-se à existência de um espaço não-formal de aprendizagem vinculado ao IFQ, denominado EspaçoInterCiências, onde existe uma sala dedicada exclusivamente à Astronomia, contendo banners, maquetes, lousa interativa, entre outros. Trata-se de uma espécie de laboratório que pode ser empregado para que os estudantes desenvolvam certas habilidades ligadas à prática em ambientes não-formais de aprendizagem e tenham contato com outros recursos didáticos e outras metodologias de ensino.

O segundo fator diz respeito à proximidade com instituições renomadas como o Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA – MCTI/Brasil) e o Observatório do Pico dos Dias (OPD/LNA), ambos localizados dentro de um raio de 40 km da universidade (LNA, 2022). O LNA é sede para um grupo de pesquisadores que tem mantido trabalhos em cooperação com a

universidade há décadas, fato este que é extremamente vantajoso para a formação dos estudantes, na medida em que têm acesso a profissionais ativos no desenvolvimento de pesquisas dentro da área e a instalações que são referência no cenário nacional, onde se desenvolve tecnologia de ponta. Os estudantes têm, portanto, a oportunidade de estarem mais próximos da produção do conhecimento científico, dos processos e dos métodos da ciência.

Formação de sistemas planetários e algumas técnicas para a detecção de exoplanetas

A formação de sistemas planetários ocorre a partir de densas nuvens de gás e poeira presentes no meio interestelar, compostas principalmente por hidrogênio, o elemento químico mais abundante no universo. Entretanto, outros elementos oriundos da nucleossíntese primordial também são encontrados em menor quantidade, como é o caso do Hélio (He) e do Lítio (Li) e de alguns isótopos, como o deutério (H_2) e o hélio-3 (He_3). É possível ainda que uma fração desses mesmos elementos tenha se originado da nucleossíntese estelar – reações nucleares no interior das estrelas. Elementos químicos mais pesados também são encontrados em quantidades ainda menores e são provenientes da nucleossíntese em estrelas de alta massa – massas superiores a $8M_{\odot}$ (lê-se oito massas solares), aproximadamente (Deeg e Belmonte, 2018; NASA Science, 2022; STSScI, 2022).

Seja no caso de uma estrela de massa intermediária, seja no caso de uma estrela massiva, durante os estágios finais de sua evolução ocorre a ejeção de matéria para o meio interestelar. No primeiro caso, considerando estrelas com massas entre $0.1M_{\odot}$ e $8M_{\odot}$, aproximadamente, tem-se a formação de uma nebulosa planetária – uma pequena estrela com temperaturas da ordem de centenas de milhares de kelvin (nas regiões próximas à superfície da estrela) denominada estrela central da nebulosa planetária, circundada por uma nuvem de matéria em contínua expansão. Já no último caso ocorre aquilo que se conhece por supernova, evento intenso, responsável pela síntese de elementos químicos mais pesados que o ferro (Fe). Ambos os processos contribuem para o enriquecimento químico de nuvens presentes no meio interestelar (Nomoto, Kobayashi e Tominaga; 2013) e constituem a causa mais provável para o colapso dessas nuvens (Cameron e Truran, 1977).

A onda de choque produzida pelos eventos mencionados perturba o equilíbrio hidrostático das nuvens e estas podem se contrair ou não, dependendo da intensidade da perturbação. Para tanto, é necessário que a força gravitacional (auto gravidade) supere a força devida à pressão interna do gás – o critério empregado para determinar as condições em que isso ocorre é denominado critério de Jeans (Arbuzova, Dolgov e Reverberi, 2014; Whitworth, 1998; e Maciel, 2013). Uma vez que a nuvem começa a colapsar, a matéria vai aos poucos se concentrando nas regiões centrais durante o processo e sua rotação aumenta por conta da conservação do momento angular. A nuvem adquire assim um aspecto mais achatado, parecido com um disco em rotação munido de um bojo na região central – no caso do sistema solar, essa fase corresponde à formação da nebulosa solar.

Pequenos corpos são formados nas regiões externas do disco através da aglomeração de matéria, consistindo basicamente de rocha e gelo – os planetesimais. Em alguns casos, esses

objetos irão se aglutinar até que sua autogravidade se torne intensa o suficiente para conferir-lhes um aspecto esférico, originando assim planetas, os planetas-anão e as luas do sistema. Em outros casos não ocorre a formação de planetas – objetos no cinturão de asteroides são remanescentes dos estágios iniciais da formação do sistema solar, por exemplo. Na parte interna do disco, a matéria encontra-se concentrada no objeto central a essa altura, não havendo mais acreção. O objeto se contrai e se torna opaco, marcando assim o final da fase de protoestrela. Tem início a fase pré-sequência principal da estrela, em que ainda não ocorrem reações nucleares em seu interior. O objeto continua a se contrair até que a temperatura em seu núcleo atinja o limiar para que as reações nucleares ocorram, momento este em que a estrela passa a pertencer à sequência principal.

Os corpos rochosos têm mais chance de resistirem às elevadas temperaturas nas regiões mais próximas à estrela recém-nascida. Isso explica, por exemplo, as características observadas em planetas internos do nosso sistema solar – Mercúrio, Vênus, Terra e Marte; que são planetas essencialmente rochosos. Enquanto isso, materiais como gelo, gás e poeira depositam-se nas regiões mais longínquas do disco e são eventualmente capturados por planetas em processo de formação nessas regiões, dando origem assim a gigantes gasosos. Neste trabalho utilizamos o termo “modelo canônico” para nos referir a esse modelo de formação que acaba de ser descrito (Hayashi, Nakazawa e Nakagawa, 1985; Pfalzner *et al.*, 2015; Marov, 2018).

Entretanto, a observação de planetas do tipo *hot jupiters* (Júpiteres quentes) parece apontar para uma inconsistência no processo de formação segundo o modelo canônico. Estes se referem a planetas gigantes gasosos que apresentam períodos orbitais inferiores a dez dias. Ou seja, esses corpos encontram-se em órbitas muito próximas da estrela, o que é possível inferir a partir das leis de Kepler. No entanto possuem características similares a de planetas como Júpiter, algo que se contrapõe ao modelo canônico. Algumas das explicações possíveis para a ocorrência desses objetos baseiam-se nas hipóteses de que eles: (i) são formados no local em que são observados ou (ii) são objetos que formaram-se em órbitas mais distantes, onde os gigantes gasosos são tipicamente observados, mas migraram para regiões internas em consequência da interação com o material do disco protoplanetário ou da interação com outros objetos de grande massa – massas típicas de planetas gigantes gasosos, da ordem de $10^2 M_{\oplus}$ (lê-se centenas de massas da Terra).

Os *hot jupiters* são os planetas mais fáceis de serem detectados através do método da velocidade radial, pois induzem oscilações relativamente significativas nas estrelas que orbitam. Conforme mostra a

Figura 8, tanto a estrela hospedeira quanto o planeta orbitam o centro de massa do sistema, denotado na figura pela sigla CM. Supondo que o CM estivesse em repouso com relação ao observador, ora a estrela estaria se afastando, ora estaria se aproximando. Na situação mostrada em (a), a seta indica o sentido do movimento da estrela, a qual está se afastando do observador e, portanto, produz um deslocamento no espectro – deslocamento Doppler – eletromagnético em direção ao vermelho. A situação mostrada em (b) corresponde ao momento em que o exoplaneta encontra-se no ponto oposto da órbita com relação à situação anterior. Agora a estrela está se aproximando do observador e seu espectro sofre um deslocamento em direção ao azul (comprimentos de ondas menores). A análise pode ser extrapolada para os casos

em que o centro de massa se move com relação ao observador e as oscilações provocadas no espectro (contrações e dilatações dos comprimentos de onda) constituem indícios de que a estrela possui um corpo orbitando-a cuja massa é significativa, visto que é capaz de produzir oscilações mensuráveis na posição da estrela hospedeira (Lovis e Fischer, 2010). Evidentemente que esse método é ineficaz quando o plano da órbita é perpendicular ao observador, mas ainda pode ser empregado para órbitas oblíquas.

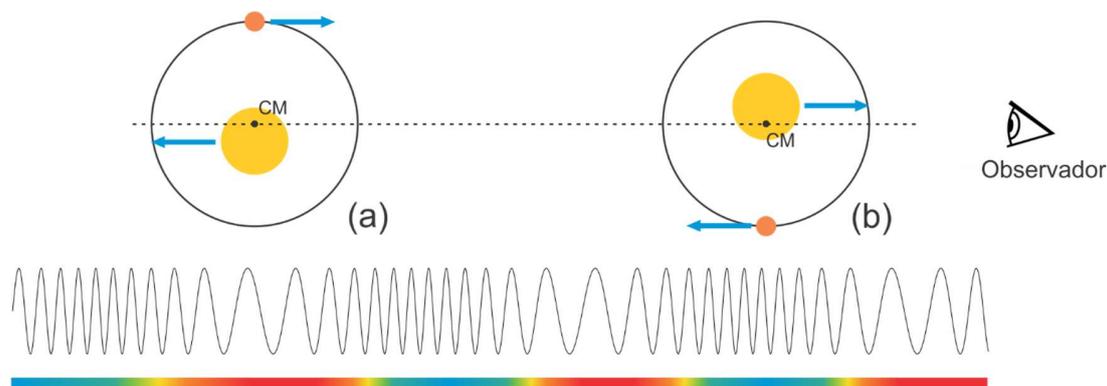


Figura 8 – Detecção de exoplanetas do tipo “hot jupiter” através do método da velocidade radial. A sigla CM significa centro de massa. As representações estão fora de escala.

Fonte – autoria própria.

Outro método bastante utilizado na detecção de exoplanetas consiste na fotometria de trânsito, que nada mais é que o monitoramento do brilho da estrela durante a passagem de um planeta. Quando um planeta passa em frente a ela, bloqueia parte da sua luz e seu brilho diminui temporariamente – enquanto durar o trânsito, ou a passagem do planeta por frente da estrela. Essa é a situação ilustrada pelo item (b) da

Figura 9 e caracteriza um eclipse primário, momento em que o brilho total do sistema atinge o seu ponto mínimo. Para as posições mostradas em (a) e (c), o planeta não bloqueia a luz emitida pela estrela, mas sim, reflete parte dessa luz, fazendo com que o brilho total do sistema seja ligeiramente maior que o brilho da estrela. É possível perceber que, na medida em que o planeta se desloca em sua órbita, indo do ponto (c) até o ponto (d), a quantidade de luz refletida aumenta, segundo a fase exibida pelo planeta. A quantidade de luz refletida continua a aumentar quando o planeta segue do ponto (d) para o ponto (e) e o brilho total do sistema atinge seu ponto máximo na iminência do eclipse secundário – momento em que o planeta inicia a passagem por trás da estrela. No ponto (f) o planeta não pode ser visto e, portanto, resulta que a brilho total do sistema equivale ao brilho da estrela apenas. O plano verde mostrado no diagrama da Figura 9 indica o nível equivalente ao brilho apenas da estrela.

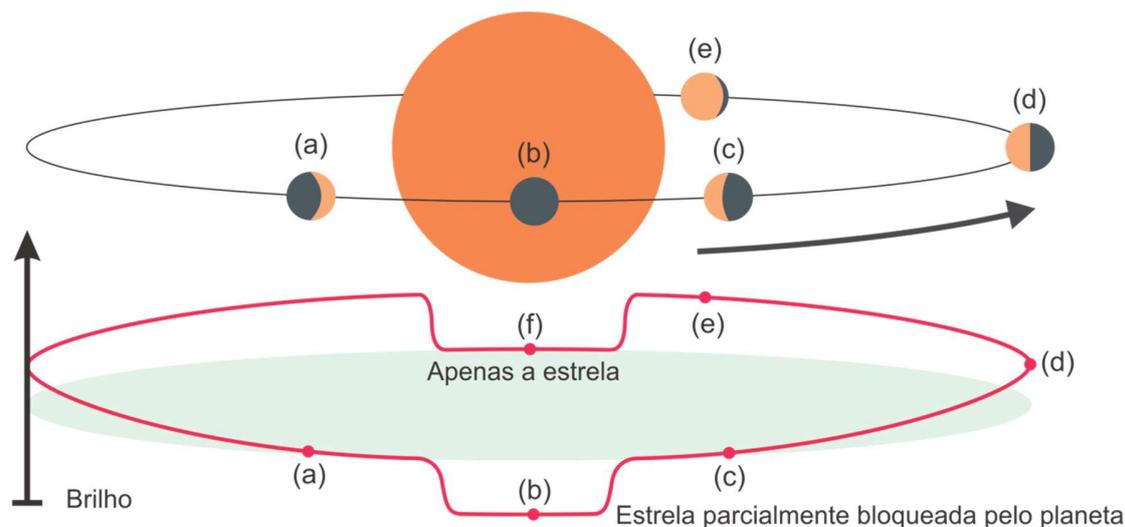


Figura 9 – Representação do trânsito de um exoplaneta e do comportamento do brilho da estrela em função da posição do planeta na órbita.

Fonte – autoria própria.

Portanto, o monitoramento do brilho de uma estrela orbitada por um exoplaneta permite construir uma curva de luz, que é uma relação do fluxo luminoso da estrela em função do tempo. A curva deve exibir quedas regulares no fluxo, com intensidades distintas dependendo se corresponde a um eclipse primário ou a um secundário. A periodicidade com que essas quedas ocorrem fornece o período orbital do planeta e, portanto, o raio médio de sua órbita – a partir das leis de Kepler. O raio do planeta também pode ser inferido a partir desse método inspecionando-se os detalhes da curva de luz nas regiões onde ocorre a diminuição do fluxo. A queda é mais ou menos acentuada dependendo do raio do planeta e do período orbital. Sugere-se a leitura dos trabalhos de Deeg e Alonso (2018), e Gazak et al. (2012), para mais informações sobre a técnica de detecção de exoplanetas através de fotometria de trânsito. Esse é o método enfatizado na SEA apresentada nesse trabalho. As seguintes referências também são recomendadas: GPET Física Unicentro (2022), e Métodos de detecção de exoplanetas, 2022.

Planejamento da atividade

Adotamos a *Design-Based Research* (DBR) para auxiliar-nos na construção da SEA. Vários pesquisadores têm utilizado a DBR nos últimos anos e, apesar de ainda persistirem algumas incertezas sobre a metodologia, sobre a sua validade e sua eficácia, parece haver um consenso sobre o seu potencial em fornecer soluções efetivas dentro do contexto educacional (WANG e HANNAFIN, 2005; EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2014). Entre seus aspectos mais relevantes está o fato de que essa metodologia permite que o desenvolvimento da solução ocorra ao mesmo tempo em que a compreensão teórica do problema progride. Deve-se destacar também o fato de que as soluções, fruto deste processo, são contextualizadas em sua gênese, em

contraste com proposições teóricas que frequentemente ocorrem dissociadas da complexidade inerente ao ambiente educacional para somente posteriormente serem ajustadas, isso quando possível.

Dentre as incertezas relativas à DBR, uma delas está relacionada à falta de uma definição clara das suas fases. Easterday, Lewis e Gerber (2014) sugerem que sejam seguidas seis fases de forma iterativa: A) foco ou delineamento do problema a ser abordado; B) compreensão do problema; C) definição dos objetivos e indicadores; D) concepção das ações para solução do problema e todos os materiais necessários; E) implementação da ação concebida e F) avaliação da aprendizagem e da qualidade e eficácia da solução. Essa foi a estrutura adotada por Caetano (2022) para a construção de uma SEA relacionada ao estudo de estrelas variáveis, por exemplo, na qual também ocorre a utilização de um experimento. A princípio, esse mesmo modelo poderia ser adotado neste trabalho. Contudo, ao ponderar um pouco mais sobre a análise apresentada pelo autor, percebe-se uma alternativa intrigante e que se propõe que seja explorada neste trabalho, a saber, uma inversão entre as fases B e C.

Essa alternativa parte do pressuposto que é possível ter um olhar mais apurado sobre as questões que têm relação com problemas de aprendizagem concernentes ao tema se os objetivos de aprendizagem e seus indicadores estiverem previamente estabelecidos. Dessa forma, as posições que essas duas fases em especial ocupam adquirem uma fundamentação mais robusta, respaldada nos aspectos metodológicos da pesquisa. Como consequência, o caráter sequencial dessas fases torna-se mais nítido. Vejamos. Inicialmente é preciso definir o que será abordado, de que maneira será a abordagem com relação ao currículo e qual é o público-alvo. Isso é conteúdo da fase A, onde define-se o foco ou delineamento do problema a ser tratado. A segunda fase, ou fase B, segundo a estrutura alternativa que foi mencionada, é onde são elencados os objetivos de aprendizagem e indicadores que serão empregados para aferir a eficácia do processo. A terceira fase, fase C, consiste em compreender quais são os problemas de aprendizagem relacionados ao tema, à maneira usual como o tema tem sido ensinado e características do público-alvo que podem influenciar nos resultados. Porque foi rearranjada e passou a ocupar a terceira posição na sequência, essa fase deve levar em consideração também os objetivos de aprendizagem listados na fase anterior. Isso é útil para estabelecer certas condições de contorno à análise do problema, evitando que ela se torne desnecessariamente extensa e aprofundada, provendo assim certos parâmetros que possibilitam fazer um recorte adequado das questões a serem tratadas.

As fases subsequentes ocorrem de acordo com o modelo inicialmente sugerido por Easterday, Lewis e Gerber (*Op. cit.*). A fase D dedica-se à concepção da solução, isto é, ao primeiro esboço das ações que serão realizadas e é o momento em que são produzidos todos os materiais que serão empregados no processo – elaboração ou seleção dos materiais. Trata-se de materiais didáticos, de apoio ao docente, parâmetros para nortearem o processo avaliativo, entre outros. A fase seguinte, fase E, é onde essas ações são implementadas efetivamente. Nesse momento todos os elementos da fase anterior sofrem uma espécie de contextualização na medida em que interagem com aspectos mais práticos, operacionais e sociais do problema. É nessa fase em que muitos dos problemas de aprendizagem tornam-se mais claros para os pesquisadores ou até mesmo novos problemas são revelados. Daí a razão pela qual se pode afirmar que a metodologia permite que avancemos com a compreensão do problema ao passo em que se

constrói a solução do mesmo. Dado o caráter recursivo e dinâmico da DBR, retoma-se a fase C munido dessas novas informações, de forma que a solução, no caso a SEA, entra em processo de refinamento. Ou seja, ocorre na DBR aquilo a que Caetano (2022) se referiu como retroalimentação.

A última fase, a fase E, é onde ocorre a avaliação. Esta compreende uma análise da qualidade da solução, ou seja, da SEA. Aqui são tratados aspectos como clareza nas atividades a serem realizadas pelos estudantes, dimensionamento do tempo dedicado a cada uma e dificuldades relacionadas à reescrita da sequência com conteúdo novo e aprimorado. Além disso, a avaliação leva em conta, naturalmente, aspectos relacionados à aprendizagem, que abrange a compreensão dos conceitos e o desenvolvimento de certas habilidades ligadas à metodologia científica necessária para a compreensão desses conceitos.

Foco ou delineamento da SEA

Nessa fase são definidos o conteúdo que será trabalhado, o público-alvo da SEA e a forma com que o conteúdo deve ser abordado em relação ao currículo e à estrutura da disciplina.

Com relação ao primeiro ponto, o conteúdo refere-se à formação de sistemas planetários e a algumas das técnicas para a detecção de exoplanetas – uma breve apresentação de conceitos relevantes sobre o assunto foi feita em seções anteriores. Embora existam diversos métodos para a detecção, apenas duas das técnicas mais empregadas serão tratadas, com particular ênfase para o método baseado em fotometria do trânsito planetário. O principal fator levado em consideração para seleção dos métodos a serem abordados tem relação com o perfil dos estudantes no ano inicial do curso de licenciatura em Física – público-alvo. Mas também leva em consideração as possíveis conexões desse tópico em específico com o restante do conteúdo programático da disciplina.

Os estudantes nessa fase do curso estão passando por um período de transição, de adaptação ao ensino superior e ainda não tiveram a chance de adquirirem familiaridade suficiente com ferramentas matemáticas, ou mesmo com conceitos básicos de Física. Deve-se assumir, deste modo, que os estudantes possuem perfis não muito distantes daqueles que são observados em estudantes nos anos finais da EB. Por essa razão a abordagem deve ser predominantemente conceitual, em consonância com os princípios que nortearam a criação da disciplina e a construção de sua ementa. A utilização de atividades práticas também tem sido preconizada pelo Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso há algum tempo, de forma que foi construído para a SEA um aparato experimental robotizado para simular a dinâmica de um sistema estrela-planeta e permitir que os estudantes desenvolvam uma percepção mais ampla e mais aprofundada sobre a técnica por fotometria de trânsito. O recurso também contribui para que se contorne uma vulnerabilidade recorrentemente observada em estudantes nessa fase do curso – a perceptível dificuldade que possuem relativamente à capacidade de abstração, à concepção e manipulação de imagens mentais para objetos tridimensionais.

Objetivos e indicadores de aprendizagem

Após realizarem as atividades que fazem parte da sequência, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- a) Descreverem os modelos mais aceitos para a formação de sistemas de planetários
- b) Construírem uma tabela com informações sobre os corpos do sistema solar contendo: tamanho e distância ao Sol – valores reais e em escala – e período de translação;
- c) Construírem uma maquete simplificada com o Sol e alguns planetas do sistema solar;
- d) Analisarem a relação entre o raio da órbita e o período de translação de um planeta;
- e) Fazerem inferências quanto às distâncias e tamanhos em outros sistemas planetários;
- f) Reconhecerem as idealizações/simplificações existentes no experimento utilizado;
- g) Identificarem e descreverem as limitações dos métodos de detecção de exoplanetas estudados;
- h) Definirem fluxo e luminosidade para uma estrela;
- i) Compreenderem que a luminosidade é uma característica intrínseca do objeto enquanto o fluxo depende da distância entre o objeto e o observador;
- j) Relacionarem aspectos das curvas de luz com a dinâmica planetária e com aspectos estruturais do sistema.

Para que seja possível determinar se os objetivos elencados foram atingidos, definiu-se os indicadores de aprendizagem elencados na

Tabela 5, os quais podem estar relacionados, em maior ou menor grau, a mais de um objetivo de aprendizagem.

Tabela 5 – Indicadores de aprendizagem e objetivos aos quais estão associados.

Fonte – autoria própria.

| Indicadores | Objetivos |
|---|------------------|
| i. Descrevem ao menos um modelo de formação de sistemas planetários fazendo uso de representações pictóricas. | |
| ii. Apontam o elemento químico mais abundante na formação desses sistemas. | |
| iii. Relacionam as características dos planetas com o modelo de formação. | a, b, c |
| iv. Calculam corretamente as dimensões e distâncias dos corpos do sistema solar dada uma escala. | |
| v. Representam o sistema solar em escala. | |
| vi. Fazem inferências sobre as dimensões e distâncias em outros sistemas planetários. | |
| vii. Enunciam as leis de Kepler. | |
| viii. Utilizam as leis de Kepler para o cálculo da distância a partir do período ou vice-versa. | d, e, b, c |
| ix. Compreendem que o período de translação fornecido pela lei harmônica independe da massa do planeta. | |
| x. Indicam ao menos uma simplificação adotada no experimento. | f, g, c |

-
- xi. **Explicam porque as leis de Kepler não se aplicam ao experimento.**
xii. **Associam o experimento a um simulador de eclipses.**
xiii. **Avaliam corretamente a escala adotada no experimento – se fidedigna ou não.**
xiv. **Associam corretamente os parâmetros do experimento às características correspondentes em um sistema planetário.**
-
- xv. **Definem os conceitos de fluxo e luminosidade e explicam a diferença entre eles.**
xvi. **Explicam certas características das curvas de luz a partir dos parâmetros do experimento – frequência angular de translação, distância entre a fonte e o objeto, ângulo de inclinação do plano orbital e a dimensão do planeta.**
-
- h, i, j, k

Compreensão do problema

Um dos problemas mais recorrentes quando se trata do ensino de Astronomia tem relação com a **escala empregada nas ilustrações** (Langhi e Nardi, 2017; Trevisan, Lattari e Canalle, 1997; e Canalle, Trevisan e Lattari, 1997). Um ótimo exemplo é o caso do próprio sistema solar. Representá-lo de forma fidedigna, obedecendo tanto à escala de tamanho dos planetas como também à escala de distância entre eles e o Sol, é algo virtualmente impossível de ser feito em um livro. Como alternativa para mitigar o problema, alguns autores apontam para o uso de tabelas com dados numéricos, segundo relatado por Menezes et al. (2018). A questão é que esse amontoado de números não surte o efeito desejado nos estudantes (Canalle e Oliveira, 1994). Essa alternativa parece não evocar a visualização do concreto, o sentimento de que o sistema solar é, na verdade, um grande vazio em que os planetas representam minúsculos grãos orbitando uma pequena estrela a enormes distâncias. Mesmo após trabalharem exaustivamente com dados numéricos de tabelas, estudantes ainda demonstram grande surpresa ao se depararem com uma representação em escala do sistema solar.

Há algumas iniciativas interessantes nesse sentido e que têm grande potencial para demonstrar de forma mais precisa a verdadeira dimensão do sistema solar e seus constituintes. Citamos, a título de exemplo, as exposições permanentes – maquetes – disponíveis no Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC) da Universidade de São Paulo (USP), em São Carlos – SP, e no Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), em Rio de Janeiro – RJ. Uma exposição dessa mesma natureza foi feita também na cidade de Itajubá – MG, no ano de 2010, como uma iniciativa do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA-MCTI/Brasil) – ver EPTV Sul de Minas, 2010. Nesse último caso, entretanto, tratou-se de uma mostra temporária. Em todos os exemplos mencionados, a mesma escala foi empregada tanto para a confecção dos planetas e do Sol quanto para o cálculo das distâncias das órbitas. Para que se tenha uma ideia do resultado, com o Sol medindo um metro e meio em diâmetro, o planeta Netuno foi colocado à 5 km de distância e era um corpo com cerca de 30 milímetros em diâmetro apenas.

Uma vez que nossa atividade é construída em torno de um experimento que simula o movimento planetário, o problema da representação em escala é um assunto pertinente e tem repercussão na forma como os estudantes constroem os conceitos ligados ao tema. Esse fator torna-se particularmente preocupante se considerarmos o fato de que a forma como os corpos

estão representados no experimento não obedece a uma escala nem de tamanho, nem de distância. Além disso, a frequência angular associada à translação do planeta pode ser controlada pelo utilizador, permitindo assim que ele obtenha curvas de luz para trânsitos planetários com velocidades diversas. No entanto, a variação do período de translação não é acompanhada por uma variação do raio da órbita, o que representa uma violação dos princípios físicos relativos à mecânica do sistema – a lei harmônica não se aplica nesse caso.

Esses fatores nos levam à conclusão de que seria profícuo caso fosse reservado um tempo nas fases iniciais da SEA para o estudo – ou a revisão – desses conteúdos, enfatizando principalmente aqueles aspectos do experimento que procedem de idealizações ou de simplificações. Uma proposta interessante nesse sentido consiste em pedir que os estudantes construam uma maquete do sistema solar respeitando a escala de tamanho e de distâncias, à exemplo daquelas que foram mencionadas, ainda que se trate apenas de uma versão simplificada. Isso já seria bastante esclarecedor para eles e contribuiria para que se apropriassem de um modelo mais fidedigno de um sistema planetário.

É importante certificar-se de que os estudantes compreendem as relações de tamanhos e de distâncias em um sistema planetário antes que tenham contato com o aparato. Dessa forma, quando finalmente utilizarem o experimento, espera-se que sejam capazes de reconhecer as idealizações/simplificações que tiveram que ser empregadas para que sua construção fosse possível. Naquilo que diz respeito à dinâmica, esse seria um ponto nevrálgico e poderia comprometer os objetivos de aprendizagem, fosse essa uma atividade relacionada ao estudo das leis de Kepler ou de dinâmica planetária. Mas como o foco está voltado para o estudo de técnicas de detecção de exoplanetas, esse aspecto, assim como outras idealizações, deixam de possuir um caráter determinante. É recomendado, entretanto, que essas ideias sejam sondadas previamente para averiguar se os estudantes têm domínio desses conceitos, se apresentam conceitos equivocados a esse respeito e quais são as ideias prévias que possuem. É de suma importância inteirar-se do perfil dos estudantes e aproveitar o ensejo para promover situações que permitam cotejar fragilidades em suas concepções, as quais podem vir a constituir obstáculos capazes de impedir que os objetivos de aprendizagem sejam alcançados, caso perdurem.

As informações sobre o perfil dos estudantes e as situações didáticas mencionadas são vantajosas para que eles possam ser preparados antes que tenham contato com os conceitos que serão trabalhados por meio da SEA. Como menciona Andrade:

“(...) dessa forma, o professor estará proporcionando aos alunos a aquisição do que Ausubel chama de ‘subsunçores’ melhor estruturados e que conduzem o aluno a uma aprendizagem do conteúdo abordado que, também na teoria de Ausubel, é denominada de Aprendizagem Significativa.” (2012, p.23)

Para obtenção das referidas informações foi feito um estudo exploratório que consistiu em um questionário impresso com questões abertas. Segundo Gillham (2008), um questionário dessa natureza está mais próximo daquilo a que se refere como um instrumento estruturado para a obtenção de dados (ver Tabela 1.1, *Ibid.* p.3) e por isso uma característica inerente a eles refere-se ao fato de que as respostas apresentam sempre algum grau de superficialidade, especialmente se não forem bem planejadas. Por essa razão é importante que se reflita sobre as

questões que devem ser feitas, para garantir que os dados obtidos tenham relevância e qualidade. Segundo o autor ainda, questionários são instrumentos vantajosos no contexto da pesquisa apresentada nesse trabalho, são mais cômodos para os respondentes, seja porque podem fornecer as respostas no momento que julgarem mais conveniente ou porque o seu anonimato é preservado – de forma geral, os respondentes sentem-se menos expostos quando submetidos a um questionário do que quando participam de uma entrevista, por exemplo.

No caso desta pesquisa foi decidido que o questionário seria aplicado durante uma das aulas da disciplina. Ao utilizarmos o horário da própria aula poupamos os participantes da necessidade de reservarem um horário adicional para isso. Além disso, mesmo nesse formato o questionário continua sendo um instrumento no qual os participantes sofrem pouca exposição, pois têm tempo para ponderar suas respostas e não correm o risco de sentirem-se intimidados, constrangidos ou pressionados de qualquer maneira pela interação direta com o pesquisador. Do ponto de vista da pesquisa, a escolha é vantajosa pois propicia a adesão de um número maior de estudantes, haja vista que nesses moldes o pesquisador vale-se da oportunidade de falar pessoalmente com o grupo para expor os objetivos da sua pesquisa de maneira mais eloquente. Percebe-se que a apresentação feita dessa forma tem maior poder de persuasão que quando é feita de forma textual, por exemplo.

Todos os presentes receberam um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e aqueles que concordaram em participar declararam sua anuência na folha de questões. O termo contém os elementos usuais: apresentação e objetivos da pesquisa e descreve de que forma pretende-se fazer a coleta de dados. Também traz informações sobre eventuais riscos e que medidas que são adotadas no intuito de minimizá-los. A disciplina possui 21 alunos matriculados dos quais 15 são assíduos – aproximadamente 71% do total de estudantes matriculados. Destes, onze decidiram participar do estudo exploratório – em torno de 73% dos estudantes assíduos e 52% do total de estudantes matriculados.

O questionário é composto por quatro perguntas do tipo aberta que buscam investigar: i) a forma como os estudantes concebem o processo de formação de um sistema planetário; ii) a sua compreensão sobre a dinâmica dos planetas nesses sistemas e iii) o que conhecem sobre técnicas de detecção de exoplanetas. A Tabela 6 contém os resultados da análise das respostas – uma análise textual discursiva (Medeiros e Amorim, 2017; e Moraes e Galiuzzi, 2006). É apresentado um sumário referente a cada item abordado pelas questões e possíveis implicações que representam para a construção da SEA.

Tabela 6 – Resultado da análise das respostas fornecidas ao questionário na fase de estudo exploratório e possíveis direcionamentos para a construção da SEA.

Fonte – autoria própria.

| | Resultados | Implicações/direcionamentos |
|----------------------------------|---|---|
| Formação de sistemas planetários | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aproximadamente 45% associam a formação de um sistema planetário à contração de uma nuvem “cósmica” e a um evento explosivo, mas falham em descrever o processo. ✓ 9% afirmam que os planetas passaram a orbitar uma estrela já existente. ✓ Cerca de 18% descrevem o sistema solar – objetos que o compõe. ✓ Em torno de 9% de casos omissos. ✓ 18% forneceram meras especulações – se... então... por outro lado. ✓ Não relacionam o modelo de formação com as características dos objetos. ✓ Não utilizam representações pictóricas. ✓ Não mencionam a composição da nuvem primordial nem fornecem explicações para a causa da sua contração. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Caracterizar a nuvem primordial – composição química e dinâmica. ✓ Utilizar imagens obtidas por satélites – exercitar a localização no céu na medida do possível e distâncias. ✓ Definir equilíbrio hidrostático e o critério de Jeans. ✓ Dar exemplos de fenômenos que podem levar ao colapso da nuvem. ✓ Descrever a fase do colapso, formação da protoestrela e de planetesimais; ✓ A fase pré-sequência principal e o disco protoplanetário; ✓ Início das reações nucleares – sequência principal. ✓ Relacionar as características dos planetas com a distância à estrela – rochosos e gasosos; ✓ Mercúrio, um planeta sem atmosfera. ✓ Sumário – representação das fases através de imagens e breve descrição. ✓ Proposta de exercício – ordene as figuras para que correspondam as fases de formação do sistema planetário. |
| Dinâmica planetária | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 9% citam as leis de Kepler e responde corretamente. ✓ Em torno de 36% relacionam o período com a massa do planeta* ou com à distância percorrida na órbita*. ✓ 9% fazem suposições incoerentes sobre a velocidade do planeta. ✓ Aproximadamente 45% falham em fornecer qualquer explicação. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Dedução das leis de Kepler. ✓ Demonstrar que o período é independente da massa do planeta. ✓ Análise da segunda lei – relação com o analema. ✓ Análise da terceira lei – quais parâmetros são relevantes. ✓ Conduzir um estudo com objetos do sistema solar – sistema modelo. ✓ Obter a velocidade a partir das leis de Kepler. ✓ Demonstrar o cálculo de distâncias a partir do período e vice-versa. ✓ Exoplanetas e leis de Kepler. ✓ Um planeta pode migrar para órbitas internas? O que poderia causar isso? |

| | | |
|-------------------------|---|---|
| Detecção de exoplanetas | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cerca de 27% sugerem estudar o “comportamento” da estrela – a presença de um planeta afeta suas propriedades físicas. ✓ 9% afirmam que é impossível. ✓ Em torno de 27% apontam algum tipo de instrumento, sem nenhuma referência à técnica. ✓ Cerca de 36% alegam ser necessário enviar equipamentos para estudar o sistema. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Analisar os argumentos daqueles que afirmam que a detecção não é possível, procurando por fragilidades no modelo e promovendo situações para a mudança do perfil conceitual. ✓ Analisar aspectos operacionais, dificuldades técnicas, físicas e orçamentárias relativas ao envio de equipamentos para estudar exoplanetas. ✓ Apresentar instrumentos – estrutura e funcionamento. ✓ Tópico para discussão – que informações podem ser obtidas pelos instrumentos? Por que não podemos obter uma imagem que mostra a presença de um exoplanetas? ✓ Os efeitos provocados pelos exoplanetas nas características física da estrela – detecção pelo método da velocidade radial e pelo trânsito planetário. ✓ O trânsito do planeta Mercúrio – condições para que a variação do brilho da estrela seja detectável. ✓ Estudo das características da curva de luz em função dos parâmetros do experimento – distância entre estrela e planeta, período de translação e ângulo de inclinação do plano da órbita. |
|-------------------------|---|---|

* – indica elemento particularmente relevante no contexto da SEA.

Os dados empíricos revelaram outro elemento que pode interferir negativamente na aprendizagem concernente ao tema da SEA, especialmente naquilo com respeito à dinâmica e à técnica de detecção de exoplanetas através da observação do trânsito. Os dados sugerem que os estudantes fazem uma associação incoerente entre a massa do planeta e o seu período de translação, pois afirmam de forma indiscriminada que planetas com maior massa possuem maior período de translação. Isso é corroborado pelas falas que ocorreram durante a segunda aula.

É provável que a gênese dessa concepção esteja ligada a um conhecimento generalista que se desenvolve a partir de compreensões limitadas dos modelos cinemáticos da mecânica e da segunda lei de Newton – o princípio fundamental da dinâmica; reforçado pela falta de familiaridade com dinâmica de rotação. As respostas fornecidas pelos estudantes estão aportadas em um modelo segundo o qual planetas com maior massa devem deslocar-se mais lentamente e quanto maior o raio médio da órbita, maior a distância que o planeta deve percorrer. Portanto maior será o tempo necessário para completar uma volta. Aspectos como energia e momento angular são negligenciados nesse modelo.

A questão referente à massa dos planetas pode ser mais facilmente cotejada propondo-se que os estudantes analisem dados do próprio sistema solar. Isso pode ser feito com base em uma tabela simples, como a

Tabela 7 (essa mesma tabela será útil para a reprodução do sistema solar em escala). Com essas informações e desconsiderando-se as excentricidades das órbitas por um momento, é possível obter a circunferência de cada uma delas e a velocidade escalar de cada planeta, bastando dividir a circunferência pelo período orbital. Ao fazer isso, constata-se que Júpiter, o planeta mais massivo, não é aquele que possui a menor velocidade – a velocidade desse planeta é de aproximadamente 13 km/s. Urano, que possui uma massa dezenas de vezes menor, por

exemplo, tem uma velocidade escalar inferior a 7 km/s. Esse tipo de análise comparativa deve ser explorada com a finalidade de que os estudantes promovam certos aprimoramentos em seus modelos, os quais podem vir acompanhados de mudanças conceituais importantes.

Tabela 7 – Dados para os planetas do Sistema Solar.
Fonte – Wikipédia.

| Planeta | Massa (M_{\oplus}) | Período orbital (dias) | Distância ao Sol (10^6 km) | Raio (km) |
|----------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------|
| Mercúrio | 0.06 | 88 | 57.9 | 2440 |
| Vênus | 0.82 | 225 | 108.2 | 6052 |
| Terra | 1.00 | 365 | 149.6 | 6371 |
| Marte | 0.11 | 687 | 227.9 | 3390 |
| Júpiter | 317.80 | 4383 | 778.5 | 69911 |
| Saturno | 95.16 | 10592 | 1434.0 | 58232 |
| Urano | 14.54 | 30681 | 2871.0 | 25362 |
| Netuno | 17.15 | 60266 | 4495.0 | 24622 |

$$M_{\oplus} = 5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$$

Com respeito à relação entre a circunferência da órbita e o período, sugere-se demonstrar que não existe uma relação linear entre o raio médio da órbita e o período orbital, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 10. Partindo-se do pressuposto de que os estudantes fazem uma associação estanque entre o tempo e a distância percorrida pelo objeto, o gráfico da figura deve ser o bastante para dissuadi-los. A ideia é colocar em xeque algumas de suas convicções e levá-los a aprimorarem suas explicações para o fenômeno. Algumas questões podem contribuir para acelerar o processo e direcionar o foco das discussões nesse momento, como a seguinte pergunta, por exemplo: um planeta que se move em uma órbita cujo raio é o dobro do raio da órbita de outro planeta, leva o dobro do tempo para completar uma volta em sua órbita? Através do gráfico eles poderão perceber que uma circunferência duas vezes maior não implica no dobro de tempo para percorrê-la, além do fato de que a massa do planeta não tem influência no comportamento do gráfico, aparentemente.

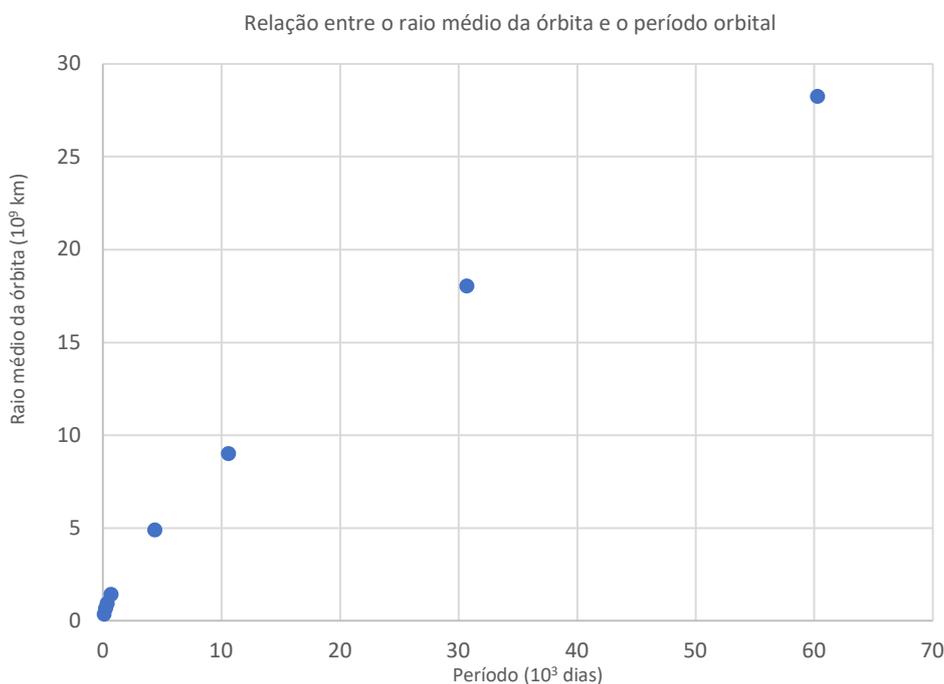


Figura 10 – Gráfico da relação entre o raio médio da órbita e o período orbital para os planetas do sistema solar.

Fonte – autoria própria.

Outro fator que merece ser levado em consideração, que também é pertinente à construção da compreensão de problemas e dificuldades de aprendizagem em torno do tema da SEA, refere-se à dificuldade que os estudantes normalmente manifestam concernente ao **pensamento geométrico-espacial** e à sua capacidade de **pensamento abstrato**. Ao longo dos anos em que a disciplina tem sido oferecida, essa dificuldade pôde ser constatada em temas que têm relação com as fases da Lua e com eclipses, por exemplo. Com esse respeito, sugerimos a leitura de trabalhos como os de Saraiva, Silveira e Steffani (2011) e de Iachel, Langhi e Scalvi (2008).

Evidências dessa fragilidade também puderam ser notadas em diversos outros tópicos no decorrer da disciplina, como é o caso dos sistemas de coordenadas empregados em Astronomia, especialmente o sistema equatorial; do conceito de eclíptica, da precessão dos equinócios, da definição/significado dos paralelos principais e da localização a partir da observação do céu noturno – isso requer certas habilidades relacionadas ao pensamento geométrico-espacial para que o observador seja capaz de realizar mentalmente uma operação de mudança de referencial em uma superfície esférica. É razoável supor, portanto, que os estudantes sentir-se-iam igualmente desafiados ao tentarem evocar em suas mentes a visualização de um sistema planetário, da inclinação dos planos das órbitas de exoplanetas, dos parâmetros geométricos para a ocorrência de eclipses, de eclipses secundários, entre outros aspectos.

Essa visualização é fundamental para que os estudantes possam compreender que a detecção de exoplanetas por meio da técnica de observação direta do trânsito depende da inclinação do plano da órbita e de que forma isso está relacionado com certos aspectos da curva de luz. Justifica-se dessa forma a utilização de recursos visuais, simuladores, aparatos experimentais que possam auxiliar os estudantes na construção inicial de uma imagem mental, de um objeto imaginário que possa ser livremente manipulado e que sirva de esteio para análises e inferências que extrapolem àquelas com base no objeto real. Nesse sentido, nesse trabalho propomos a utilização de um sistema estrela-planeta robotizado, construído pela nossa equipe para aplicação nessa SEA.

5 Descrição sucinta do aparato experimental

O aparato consiste em um braço mecânico atarraxado a um cilindro² que pode girar livremente em torno de seu eixo longitudinal. O cilindro é oco e transpassado por uma haste fixa que sustenta uma lâmpada no centro do sistema, acima do plano varrido pelo braço mecânico – a lâmpada representa a estrela. Os fios elétricos conectados à lâmpada passam por dentro da haste, indo até a parte inferior da base do simulador, onde estão acomodados todos os elementos eletrônicos. A Figura 11 mostra uma imagem real do aparato contendo indicações de diversos elementos. O braço mecânico está representado pela letra I, o cilindro oco está representado pela letra B e a lâmpada, pela letra A.

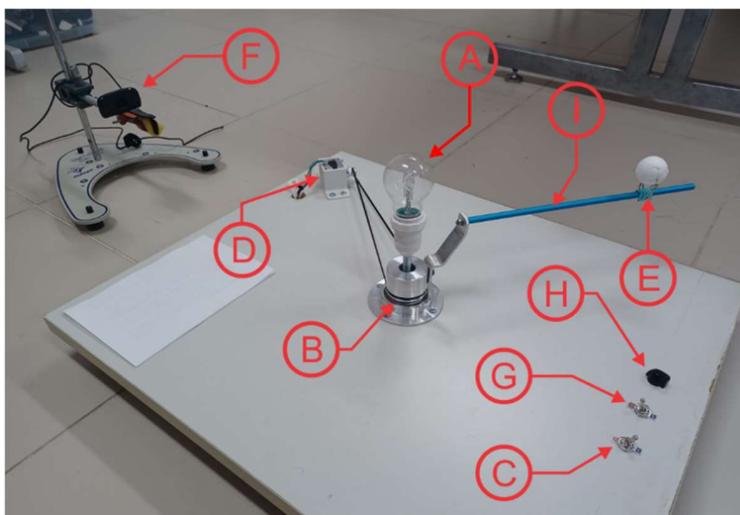


Figura 11 – Imagem do sistema estrela-planeta robotizado que foi construído para a SEA.
Fonte – autoria própria.

² Na realidade, quando utilizamos o termo cilindro estamos nos referindo a um conjunto cilindro-rolamento-mancal usinado em alumínio e cujo projeto pode ser obtido em https://labremoto.unifei.edu.br/materials/exoplanets/exoplanets_cylinder.zip.

O motor de passo (D) controla a posição angular do cilindro (B) por meio de uma correia e a frequência angular é controlada por meio de um sinal analógico provido pelo potenciômetro (H). Um objeto esférico leve (E) – bolas de isopor de tamanhos variados – é atido ao braço mecânico com auxílio de um clipe, destes vendidos em papelarias. Portanto é possível alterar a distância entre o objeto e a fonte luminosa, bem como a dimensão do seu diâmetro. Isso é útil para que se possa examinar a relação de certos aspectos da curva de luz com parâmetros estruturais do sistema. Alterando-se a frequência angular do movimento é possível estudar também a relação entre o período orbital, os parâmetros de trânsito – tempo de entrada, duração e tempo de saída – e características da curva. O ângulo de inclinação do plano da órbita também pode ser alterado simplesmente erguendo-se um dos lados da base do aparato com auxílio de um apoio qualquer.

A chave (G) liga e desliga a lâmpada do experimento e (C) é a chave geral – desliga toda a alimentação do sistema, motor de passo, lâmpada, etc. A câmera (F) é utilizada para monitorar o brilho da lâmpada durante o movimento do “planeta” e deve ser conectada a um computador, o qual executa um código escrito em *python*, responsável por realizar a fotometria do trânsito³. O código realiza uma sucessão de fotografias de uma região específica do quadro (ou *frame*), a qual é definida pelo usuário, por um período de tempo também definido pelo usuário. Em seguida o programa calcula a média do fluxo em cada uma dessas fotografias e fornece um gráfico do fluxo normalizado em função do tempo. É possível identificar os instantes em que ocorrem as passagens do planeta em frente à fonte luminosa através das quedas observadas no fluxo. Dependendo de fatores como o diâmetro do planeta, a sua distância à fonte, o período orbital do movimento, o ângulo de inclinação da órbita com relação à câmera e o albedo do planeta, o gráfico exibirá diferentes características. Um dos objetivos da SEA é que os estudantes sejam capazes de identificarem e descreverem corretamente essas relações. Conforme o objetivo (j), espera-se que eles “relacionem aspectos das curvas de luz com a dinâmica planetária e com aspectos estruturais”.

O projeto eletrônico do aparato é bastante simples, conforme mostra a Figura 12. O circuito é alimentado pela tensão da rede doméstica – essa tensão pode ser 127 V ou 220 V, dependendo da região do Brasil. No sul do estado de Minas Gerais, onde o aparato foi desenvolvido e será utilizado, ambas as tensões estão disponíveis, sendo que a mais comum delas é a de 127 volts.

³ O código está disponível em https://labremoto.unifei.edu.br/materials/exoplanets/programa_exoplanets.zip.

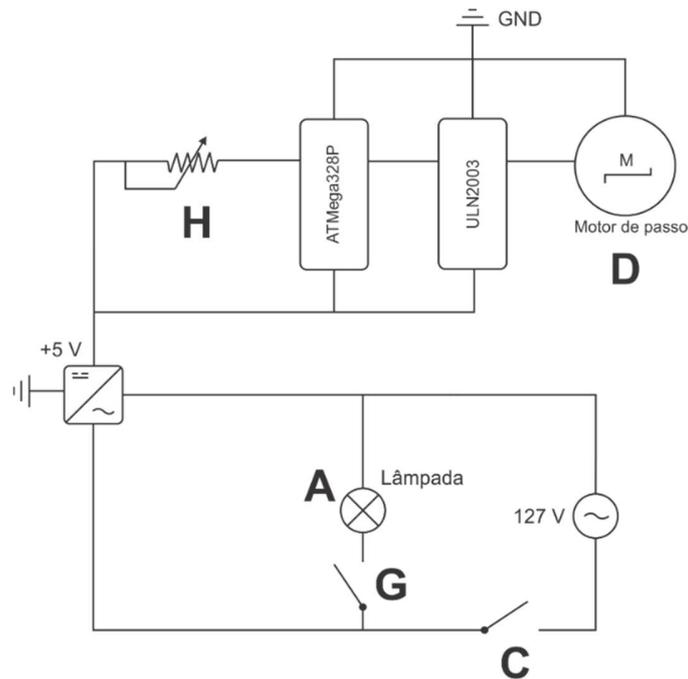


Figura 12 – Representação esquemática do circuito do sistema estrela-planeta mostrado na Figura 11. As letras correspondem aos elementos indicados naquela figura.

Fonte – autoria própria.

O elemento (C) mostrado na figura corresponde à chave geral do circuito, a mesma mostrada na Figura 11 – as mesmas letras foram empregadas para identificar elementos correspondentes entre ambas as figuras. Esse componente interrompe a alimentação da lâmpada (A) e do conversor AC-DC, o qual fornece uma tensão de +5 V para o restante do circuito. O potenciômetro (H) permite que regulemos o sinal analógico lido pelo microcontrolador ATmega328P e o código em execução nesse componente utiliza a intensidade desse sinal para controlar a velocidade do motor de passo (D) – a velocidade é proporcional a intensidade do sinal do potenciômetro. O ULN2003 é um circuito integrado constituído de uma matriz de transistores e é largamente empregado em circuitos controladores de motores de passo, ou drivers, como são mais comumente conhecidos.

6 Considerações finais

Neste trabalho buscamos apresentar os aspectos referentes aos primeiros passos da pesquisa conduzida com vistas a construção de uma SEA em Astronomia, desenvolvida para estudantes ingressantes de um curso de formação inicial de professores em uma universidade pública brasileira – curso de licenciatura em Física presencial da Unifei – MG/Brasil. Mais especificamente, a sequência está relacionada à formação de sistemas planetários e também a algumas das técnicas empregadas para a detecção de exoplanetas. O tópico pertence à ementa da disciplina AST001 – Conceitos de Astronomia – e tem sido oferecido regularmente para os

estudantes há vários anos. Trata-se de um tema atual com relação ao qual inúmeras descobertas têm ocorrido em um ritmo acelerado, que conduz a questões científicas importantes, muitas delas ligadas a problemas em aberto. O ensino do tema, portanto, é uma forma de prover estudantes com informações para que possam participar mais efetivamente de discussões que envolvem essas questões.

A metodologia DBR foi empregada para nos auxiliar na construção e a estrutura adotada é uma variação das fases que foram propostas por (Easterday, Lewis e Gerber, 2014). Dada a profundidade e a extensão das análises que foram conduzidas, optamos por repartir a apresentação do conteúdo da pesquisa e dos resultados em duas partes. Neste momento, limitamo-nos a apresentar informações que fundamentam o trabalho, como é o caso da estrutura da disciplina AST001 e das bases teóricas concernentes ao tópico tratado pela SEA, além das três primeiras fases da DBR e seus respectivos resultados.

Em particular, merece relevo a terceira fase, em que se concentra a pesquisa relatada neste trabalho. Essa é uma das fases mais importantes para a concepção da SEA, visto que é quando se constrói a compreensão dos problemas a serem cotejados, no caso, problemas de aprendizagem que têm relação com o tema da SEA. Tipicamente é feita uma breve revisão dos trabalhos que possam ter informações úteis na construção de estratégias de enfrentamento dos problemas de aprendizagem. Entretanto, foi constatado que são escassas as fontes que tratam o tema em questão. Por essa razão, expandimos nossa busca e recorremos a trabalhos com discussões que apresentam alguma interface com o tema. Nesse sentido foram encontrados relatos sobre dificuldades ligadas à representação em escala de sistemas planetários e ao pensamento geométrico-espacial dos estudantes.

Também é muito comum que seja feita alguma intervenção empírica durante a fase de compreensão do problema. Por essa razão, foi conduzido um estudo exploratório que contou com um questionário impresso contendo questões abertas como instrumento de coleta de dados. As respostas foram então submetidas à análise textual discursiva, o que permitiu a construção da Tabela 6. Nela constam os principais resultados da análise e também possíveis implicações que esses resultados podem ter relativamente à construção da SEA. Um ponto particularmente interessante revelado por essa análise refere-se ao fato de que os estudantes fazem uma associação incoerente entre a massa do planeta e o seu período orbital.

Diversos direcionamentos resultaram da pesquisa conduzida durante a fase de compreensão do problema. Um deles aponta para a necessidade de que se utilize algum recurso visual, um experimento ou simulador durante as aulas dedicadas à fotometria de trânsito – técnica de detecção de exoplanetas. Dessa forma, nossa equipe construiu um sistema estrela-planeta simplificado e robotizado com a possibilidade de coleta de dados por uma câmera – que representa o detector utilizado com os telescópios. Também foi desenvolvido um algoritmo para tratamento desses dados. O programa cria os gráficos com o fluxo normalizado da fonte luminosa em função do tempo e possibilita que os estudantes relacionem aspectos do gráfico com o que está acontecendo no aparato. Neste trabalho foi feita uma breve descrição da montagem e da parte eletrônica desse objeto.

A partir dos resultados apresentados neste trabalho e dos recursos que foram produzidos consonante às demandas de aprendizagem que puderam ser identificadas, dar-se-á continuidade à

pesquisa por meio da concepção e implementação da SEA, além da sua avaliação. Essa última etapa implicará a análise tanto da qualidade como dos resultados em termos de aprendizagem. No que diz respeito à qualidade da SEA, serão observados aspectos como a adequabilidade do tempo para cada atividade, seu nível de dificuldade e sua estrutura – particularmente, se a estrutura possibilita que outros pesquisadores realizem modificações na SEA, aproveitando assim os resultados dessa pesquisa e contribuindo para o avanço do conhecimento do problema tratado. Com respeito à aprendizagem, os objetivos e indicadores definidos neste trabalho servirão como parâmetros norteadores durante essa fase da DBR. Os resultados serão apresentados na segunda parte deste trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem:

1. as agências FAPEMIG e CNPq pelo auxílio financeiro que tornou possível a aquisição de alguns dos equipamentos e insumos utilizados na produção dos materiais relatados neste trabalho – projeto FAPEMIG APQ-01764-21 e projeto CNPq 408828/2021-8;
2. à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de estudo no âmbito do Programa de Educação Tutorial – PET Licenciaturas, Unifei/Brasil.
3. a Janderson M. Oliveira, aluno do programa de mestrado em Física da Unifei, por seu programa de aquisição de dados em *python*, o qual constituiu o ponto de partida para a construção do algoritmo empregado em nosso sistema estrela-planeta robotizado.

Referências

- Andrade, M. H. de. Exoplanetas como tópico de Astronomia motivador e inovador para o ensino de Física no ensino médio. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Ensino de Física, Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2012.
- Arbuzova, E. V., Dolgov, A. D., & Reverberi, L. (2014). Jeans instability in classical and modified gravity. *Physics Letters B*, 739, 279-284.
- Caetano, T. C. (2022) O experimento “Curva de Luz” do Laboratório Remoto de Física: uma proposta de sequência de ensino e aprendizagem orientada por Design-Based Research, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*.
- Cameron, A., & Truran, J. (1977). The supernova trigger for formation of the solar system. *Icarus*, 30(3), 447-461.
- Canalle, J. B. G., & de Oliveira, I. A. G. (1994). Demonstre em aula-Comparação entre os tamanhos dos Planetas e do Sol. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 11(2), 141-144.
- Canalle, J. B. G., Trevisan, R. H., & Lattari, C. J. B. (1997). Análise do conteúdo de astronomis de livros de geografia de 1º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 14(3), 254-263.
- Deeg, H. J., & Alonso, R. (2018). Transit photometry as an exoplanet discovery method. *arXiv preprint arXiv:1803.07867*.

- Deeg, H. J., & Belmonte, J. A. (Eds.). (2018). Handbook of exoplanets (p. 117). Cham: Springer.
- Easterday, M. W., Lewis, D. R., & Gerber, E. M. (2014) Design-based research process: Problems, phases, and applications. Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- EPTV Sul de Minas (2010) *Sistema Solar é exposto com réplicas em ruas e praças de Itajubá*, 2010. Disponível em <http://glo.bo/19sdVmZ>. Acessado em 7 de maio de 2022.
- Gazak, J. Z., Johnson, J. A., Tonry, J., Dragomir, D., Eastman, J., Mann, A. W., & Agol, E. (2012). Transit analysis package: an IDL graphical user interface for exoplanet transit photometry. *Advances in Astronomy*.
- Gillham, B. (2008) Developing a questionnaire. A&C Black: Bloomsbury Publishing Plc., New York.
- GPET Física Unicentro (2022), A detecção de exoplanetas, disponível em <https://www3.unicentro.br/petfisica/2015/08/14/a-deteccao-de-exoplanetas/#:~:text=Um%20exoplaneta%20pode%20ser%20detectado,luz%20emitida%20por%20sua%20estrela>. Acessado em 16 de junho de 2022.
- Hayashi, C., Nakazawa, K., & Nakagawa, Y. (1985). Formation of the solar system. *Protostars and planets II*, 1100-1153.
- Iachel, G., Langhi, R., & Scalvi, R. M. F. (2008). Concepções alternativas de alunos do ensino médio sobre o fenômeno de formação das fases da Lua. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (5), 25-37.
- Langhi, R. (2004) Um estudo exploratório para a inserção da astronomia na formação de professores dos anos iniciais do ensino fundamental. 2004. 240 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências de Bauru.
- Langhi, R., & Nardi, R. (2017) Ensino de Astronomia: Erros conceituais mais comuns presente em livros didáticos de ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 87-111.
- Langhi, R., Nardi, R. (2014) Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(3), 041-059.
- Leite, C. (2002) Os professores de ciências e suas formas de pensar a astronomia. Dissertação (Mestrado em Educação), Instituto de Física e Faculdade de Educação, USP.
- Leite, C.; Hosoume, Y. (1999) Astronomia nos livros didáticos de ciências da 1a. à 4a. séries do ensino fundamental. In: Simpósio Nacional De Ensino De Física, 13, São Paulo, 1999. Atas [...]. Caderno de resumos e programação... São Paulo: SBF.
- LNA - Laboratório Nacional de Astrofísica (2022) Disponível em: <https://www.gov.br/lna/pt-br>. Acessado em 24 de junho de 2022.

- Lovis, C., & Fischer, D. (2010). Radial velocity techniques for exoplanets. *Exoplanets*, 27-53.
- Maciel, W. J. (2013). *Astrophysics of the interstellar medium (Vol. 1)*. New York: Springer.
- Marov, M. (2018). The formation and evolution of the Solar System. In *Oxford Research Encyclopedia of Planetary Science*.
- Medeiros, E. A. de, & Amorim, G. C. C. (2017). Análise textual discursiva: dispositivo analítico de dados qualitativos para a pesquisa em educação. *Laplace em revista*, 3(3), 247-260.
- Menezes, I., Bitencourt, R., Forma, M., & Werlang, R. B. (2018). Sistema Solar Em Escala No Forte Dom Pedro II: Experiência No Componente Tópicos De Astronomia E Cosmologia. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 10(1).
- Métodos de detecção de exoplanetas. (2022, August 23). In Wikipedia. https://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todos_de_detec%C3%A7%C3%A3o_de_exoplanetas. Acessado em 9 de março de 2023.
- Minichiello, A., & Caldwell, L. (2021). A narrative review of design-based research in engineering education: Opportunities and challenges. *Studies in Engineering Education*, 1(2).
- Moraes, R., Galiuzzi, M. D. C. (2006). Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. *Ciência & Educação (Bauru)*, 12, 117-128.
- NASA Science – Solar System Exploration (2022) *Our Solar System*. Disponível em: <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/our-solar-system/in-depth/>. Acessado em 24 de junho de 2022.
- Nomoto, K. I., Kobayashi, C., & Tominaga, N. (2013). Nucleosynthesis in stars and the chemical enrichment of galaxies. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 51, 457-509.
- Nussbaum, J. Astronomy teaching: challenges and problems, IVth International Conference on Teaching Astronomy, Barcelona (1990). *Investigación didáctica en Astronomía: una selección bibliográfica*. *Enseñanza de las Ciencias*, v.13, n.3, p.387-389, 1995.
- Peixoto, D. E. (2018) *Astronomia como disciplina integradora para o Ensino de Ciências Tese, Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual de Campinas, Campinas*.
- Pfalzner, S., Davies, M. B., Gounelle, M., Johansen, A., Munker, C., Lacerda, P., ... & Veras, D. (2015). The formation of the solar system. *Physica Scripta*, 90(6), 068001.
- Ricker, G. R., Latham, D. W., Vanderspek, R. K., Ennico, K. A., Bakos, G., Brown, T. M., ... & Worden, S. P. (2010, January). Transiting exoplanet survey satellite (tess). In *American Astronomical Society Meeting Abstracts# 215 (Vol. 215, pp. 450-06)*.

Saraiva, M. D. F. O., da Silveira, F. L., & Steffani, M. H. (2011). Concepções de estudantes universitários sobre as fases da Lua. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (11), 63-80.

STSSCI – Space Telescope Science Institute (2022) Planetary System Formation and Evolution. Disponível em: <https://www.stsci.edu/stsci-research/exoplanet-and-planetary-science/planetary-system-formation-and-evolution>. Acessado em 24 de junho de 2022.

Tignanelli, H. L. (1998) Sobre o ensino da astronomia no ensino fundamental. In: WEISSMANN, H. (org.). *Didática das ciências naturais: contribuições e reflexões*. Porto Alegre: Artmed.

Townsend, G. (1998) Using telescopic observations in undergraduate astronomy courses. *The Physics Teacher*, v. 36, p. 304-305.

Trevisan, R. H., Lattari, C. J. B., & Canalle, J. B. G. (1997). Assessoria na avaliação do conteúdo de astronomia. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 14(1), 7-16.

Ustun, A. B., & Tracey, M. W. (2020). An effective way of designing blended learning: A three phase design-based research approach. *Education and Information Technologies*, 25(3), 1529-1552.

Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005) Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational technology research and development*, 53(4), 5-23.

Whitworth, A. P. (1998). The Jeans instability in smoothed particle hydrodynamics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296(2), 442-444.