

O experimento “Curva de Luz” do Laboratório Remoto de Física: uma proposta de sequência de ensino e aprendizagem elaborada a partir da Design-Based Research⁺*

Thiago Costa Caetano¹

Instituto de Física e Química – Universidade Federal de Itajubá
Itajubá – MG

Resumo

Este artigo apresenta uma sequência de ensino e aprendizagem sobre estrelas variáveis – em particular sobre estrelas variáveis do tipo cefeida – que foi elaborada para os estudantes da disciplina “Conceitos de Astronomia – AST929”, do primeiro período do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Itajubá. A metodologia Design-Based Research (DBR) foi empregada na construção da sequência e procurou-se integrar elementos que contemplassem as dimensões prática e tecnológica do conhecimento. Por essa razão, o experimento “Curva de Luz” do Laboratório Remoto de Física figurou como um dos recursos didáticos. A sequência sofreu refinamentos de forma dinâmica, durante sua aplicação. Os materiais didáticos e instrucionais que foram elaborados ou selecionados para serem utilizados na sequência foram estão disponíveis gratuitamente. Além disso, muitas melhorias puderam ser realizadas no experimento em consequência direta dos resultados deste trabalho. A sequência apresentou um resultado satisfatório, visto que os estudantes apresentaram os indicadores de aprendizagem esperados e a DBR mostrou ser uma ferramenta válida, pois não só norteou a construção de uma sólida base teórica e de pesquisa para a construção da sequência, como sua

⁺ The “Light Curve” experiment of the Physics Remote Laboratory: a Teaching and Learning Sequence proposal drawn from Design-Based Research

^{*} *Recebido: 29 de março de 2021.
Aceito: 5 de abril de 2022.*

¹ E-mail: tccaetano@unifei.edu.br

utilização resultou em um produto que pode agora ser testado e refinado sistematicamente.

Palavras-chave: *Sequência de Ensino e Aprendizagem; Estrelas Variáveis; Laboratório Remoto de Física; Variáveis Cefeidas; Design-Based Research.*

Abstract

This paper presents a Teaching and Learning Sequence (TLS) on “variable stars” – particularly on Cepheids – which has been developed for students of the subject “Concepts of Astronomy – AST929” of the first semester of the Physics course at the Federal University of Itajubá (Brazil). We have applied Design-Based Research to guide and organize the work. According to the curricular guidelines of the subject, we have sought to integrate practical and technological resources into the design. For this reason, a central role has been assigned to the experiment “Light curve” of the Remote Physics Laboratory. During the first application of the sequence with the students, many redesign actions were implemented and many others have been conceived, although they might be applied only the next time the sequence will be carried out. The documents and different media which have been produced to support the TLS are available online for free. Besides, enhancements were made in the experiment based on the outcomes of this work. We have concluded that the sequence has provided good results when it comes to the learning indicators adopted in this work. Also, the Design-Based Research has proven to be a valid methodology in this case, for it has not only led us to solid theoretical and research grounds, as it has also resulted in a design that can be henceforth systematically tested and redesigned.

Keywords: *Teaching and Learning Sequences; Variable Stars; Physics Remote Laboratory; Cepheid Variables; Design-Based Research.*

I. Introdução

As contribuições que a Astronomia tem a oferecer para o ensino de ciências já estão bem estabelecidas e existe uma ampla literatura com discussões a respeito, como é o caso dos

trabalhos de Nussbaum (1990); Tignanelli (1998); Townsend (1998); Leite e Hosoume (1999); Leite (2002) e Langhi (2004). Como aponta Tignanelli (*Op. Cit.*), a Astronomia possui um grande potencial para despertar o interesse entre os estudantes e a curiosidade, a motivação provocada por essa ciência podem ser aproveitadas pelo professor para desenvolver os conteúdos de aula.

Ao observar e buscar compreender o universo a sua volta, os estudantes desenvolvem um conjunto de habilidades essenciais para a aprendizagem. Conforme aponta Fraknoi (1995), entre essas habilidades estão a melhoria da capacidade de realizar cálculos matemáticos, de comparar objetos ou eventos, comunicação, experimentação, imaginação, entre diversas outras. O fato de que os estudantes podem relacionar o conteúdo trabalhado em sala de aula com as observações que realizam, de forma imediata, contribui para que construam a compreensão sobre a natureza e sobre os métodos da ciência, relacionem teoria e prática. Isso é fundamental para que possam desenvolver senso crítico, compreenderem e exercitem o uso da linguagem científica e melhorar, portanto, sua atuação em processos de tomada de decisão.

Os trabalhos de Wall (1973), Bailey e Slater (2003), Bretones e Megid Neto (2011) e Slater *et al.* (2016) contêm uma revisão da pesquisa relativa à Educação em Astronomia e mostram que a produção nessa área tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, tendo ocorrido, inclusive, o surgimento de periódicos específicos no início do novo milênio.

O crescimento observado na quantidade de investigações que se dedicam à área não constitui exatamente um fato surpreendente. Ao passo que o contexto educacional se modifica, novas metodologias e recursos tecnológicos vão aos poucos encontrando o seu caminho até as salas de aula e são gradualmente incorporados às práticas pedagógicas. Os elementos do ensino de Astronomia assumem uma tessitura nova e dinâmica e criam espaços para novas discussões, novas estratégias e novos olhares sobre o conteúdo e a sua importância na formação do indivíduo. O próprio conhecimento científico da área, Astronomia, tem avançado em um ritmo que já se tornou praticamente incomensurável e tem, evidentemente, relação com essas transformações. Wilson (2018) menciona que, desde a segunda guerra mundial, a tecnologia que fora produzida para fins militares foi empregada posteriormente na Astronomia observacional e causou um impacto possivelmente maior que aquele provocado pela invenção do próprio telescópio.

Considerando, portanto: a) a atualidade e a dinamicidade do tema e b) as contribuições que o ensino de Astronomia tem a oferecer para a formação de um indivíduo crítico, capaz de participar ativamente em processos sociais de tomada de decisão, e que esteja familiarizado tanto com os meios tecnológicos como com a linguagem científica; e ainda considerando c) o fato de que certas concepções alternativas em Astronomia persistem entre os estudantes do ensino superior e professores e estudantes da educação básica (LANGHI, 2004; 2011; GONZAGA;

VOELZKE, 2011; DARROZ *et al.*, 2014; BARTELMEBS, 2018; SOUZA E MELO, 2020), decidiu-se criar a disciplina intitulada “Conceitos de Astronomia – AST929” e integrá-la à matriz curricular do curso presencial de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Itajubá (Unifei).

Apoiados nas ideias de trabalhos como os de Méheut e Psillos (2004), Méheut, 2004 e Psillos (2016), apresentamos neste trabalho uma sequência de ensino e aprendizagem (SEA) elaborada para essa disciplina e que está relacionada ao tópico “Estrelas variáveis”. Observações feitas ao longo de pouco mais de uma década – período em que a disciplina tem sido ofertada – revelaram que esse é um dos tópicos em que os estudantes têm muita dificuldade e tem sido ensinado sob uma perspectiva inteiramente teórica durante todo esse tempo. Para guiar a elaboração da sequência, utilizamos a metodologia *Design-Based Research* (DBR), segundo a qual se procura desenvolver uma solução para um determinado problema educacional através de um processo iterativo, não linear, que se retroalimenta e que permite que sejam empregadas metodologias variadas em cada uma de suas fases (DBRC, 2003; EASTERDAY; LEWIS; GERBER, 2014; GUIASOLA *et al.*, 2017).

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: a seção seguinte faz uma breve introdução da disciplina AST929, conta um pouco sobre o histórico, a ideia por trás do programa da disciplina e a sua estrutura básica. Na sequência é feita a apresentação da metodologia que foi empregada para orientar a construção da SEA. Define-se o foco da aplicação e os problemas de aprendizagem já diagnosticados sobre o tema em questão. Também são definidos os objetivos de aprendizagem. A seguir, a SEA é apresentada em detalhes, contemplando as últimas fases da DBR: concepção, construção e avaliação do produto. Finalmente, são apresentadas algumas considerações sobre os resultados.

II. A disciplina “Conceitos de Astronomia”

A disciplina “Conceitos de Astronomia – AST929” faz parte da matriz curricular do curso de Licenciatura em Física da Unifei desde o ano de 2007. No início era uma disciplina de 32 horas-aula e sua sigla era AST926². Foi com a implementação da nova matriz curricular em 2016 que passou a ter duração de 64 horas-aula (50% oferecida na modalidade EaD) e sua sigla se tornou AST929. Essa mudança foi parte da reforma curricular que ocorreu em consequência das discussões que existiram em torno da Resolução 2/2015 aprovada pelo Conselho Nacional de Educação – CNE – em 9 de junho de 2015, a qual ampliava a carga horária dos cursos de formação inicial dos profissionais do magistério da Educação Básica.

² Essas informações estão disponíveis em: <<https://sigaa.unifei.edu.br/sigaa/public/curso/curriculo.jsf>>.

As medidas, tanto da inserção da disciplina quanto da subsequente ampliação da sua carga horária, apoiaram-se em referenciais que apontam para a importância da Astronomia no ensino e, por conseguinte, a importância de que esse conteúdo seja contemplado pelo currículo pensado para a formação de professores (NUSSBAUM, 1995; TIGNANELLI, 1998; LEITE, 2002; LANGHI, 2004; 2011) Em se tratando do contexto do curso de Licenciatura em Física da Unifei, particularmente, a estrutura da disciplina e a sua posição na matriz curricular do curso levaram em consideração ainda fatores como a taxa de evasão, a qual é absolutamente expressiva no primeiro ano do curso. Idealizou-se, portanto, uma disciplina de caráter predominantemente conceitual, que combina diferentes metodologias de ensino, que procura explorar estratégias pedagógicas variadas e que tem uma componente prática que tange a ludicidade em alguns momentos.

O conteúdo da disciplina busca dar um panorama da Astronomia e está organizado segundo os grandes tópicos: i) Astronomia antiga; ii) Astronomia de posição; iii) Mecânica celeste; iv) Estrelas; v) Galáxias e vi) Universo. A SEA apresentada neste artigo situa-se em um momento específico pertencente ao quarto item, conforme é mostrado no diagrama da Figura 1. A sua localização está indicada pela região SD (acrônimo para Sequência Didática).

III. Design-Based Research

A utilização da DBR é relativamente recente quando se trata do campo educacional (DBRC, 2003). Contudo, a quantidade de pesquisadores que a tem empregado vem crescendo de forma acelerada nos últimos anos, contribuindo para fomentar as discussões em torno do tema e levar, conseqüentemente, ao aprimoramento dos procedimentos envolvidos (GUISASOLA et al. 2017). Apesar de ainda existirem algumas incertezas associadas à metodologia, parece haver um consenso quanto ao seu potencial para produzir ações efetivas dentro de um contexto educacional (WANG; HANNAFIN, 2005; EASTERDAY; LEWIS; GERBER, 2014).

Consideram-se como pontos positivos da DBR o fato de que ela contribui para o avanço, simultaneamente, do projeto (esse termo será utilizado sempre que nos referirmos ao *design* da SEA), da pesquisa e da teoria; o seu caráter interativo entre pesquisadores e participantes e a relação sinérgica que existe entre a prática e a construção ou refinamento de uma teoria. De fato, sob a perspectiva da DBR, o projeto inicial é baseado em um conjunto de pressupostos teóricos – quadro teórico – selecionados para a definição de uma solução/ação para um problema específico no campo educacional. Durante o processo de implementação e avaliação, os dados coletados permitem aferir a base teórica inicial, dando origem a novas teorias e promovendo a redefinição do projeto, em um processo recursivo e dinâmico.

A DBR foi utilizada neste trabalho para guiar a elaboração e a avaliação de uma SEA em Astronomia, mais especificamente sobre o subtópico “Estrelas variáveis”. A definição que empregamos é aquela que foi proposta por Easterday, Lewis, e Gerber (2014), segundo a qual a DBR “integra projeto e métodos científicos para permitir que pesquisadores gerem produtos úteis e teorias efetivas para a solução de problemas individuais e coletivos em educação” (*Ibid.*, tradução nossa). Conforme os autores, o procedimento de elaboração do projeto consiste em seis fases iterativas: 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) implementação da ação concebida e F) avaliação da eficácia da solução.

A. Foco

De acordo com Guisasola *et al.* (2017), essa é a fase em que é definido o conteúdo que será tratado pela sequência, como ele deve ser abordado em relação ao currículo e para quais estudantes será oferecido. Como mencionado anteriormente, a ideia por trás da disciplina AST929 é que os estudantes tenham um panorama da área Astronomia, sobretudo – mas não exclusivamente – do ponto de vista conceitual. Ao mesmo tempo, desejamos trabalhar com as dimensões prática e tecnológica associadas ao desenvolvimento do conhecimento da área.

O conteúdo a ser tratado é referente ao tópico “Estrelas variáveis”, pertencente ao grande tópico “Estrelas” (a localização da SEA pode ser visualizada no diagrama da Figura 1. Dispõe-se de um período de aproximadamente duas semanas para a realização da SEA, no qual estão compreendidos três encontros, sendo dois deles presenciais, intercalados por um encontro virtual. Quanto ao perfil dos discentes, pela própria experiência tanto com a gestão do curso de licenciatura em Física quanto com a docência em AST929, sabe-se que a maioria dos estudantes são recém-egressos do Ensino Médio e que as turmas possuem em média trinta estudantes (esse é o número de ingressantes no curso).

B. Compreensão do problema

Nessa fase reúne-se a informação disponível sobre dificuldades conhecidas, relacionadas à aprendizagem do tema e soluções que tenham sido propostas. É possível que seja necessária alguma intervenção empírica nessa fase, tendo em vista que informações essenciais podem não estar disponíveis na literatura, como, por exemplo, informações sobre as concepções prévias dos estudantes.

No que diz respeito à produção em torno do tema, é um fato bem conhecido que a grande maioria dos trabalhos publicados em periódicos e eventos científicos refere-se a temas ligados ao universo observável a olho nu, nomeadamente, ao Sistema Solar, a fenômenos como estações do ano, fases da Lua, eclipses e marés, entre outros. Bussi e Bretones (2013) apontam

que menos de 2% – apenas 1 trabalho – de todos os trabalhos submetidos ao Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (Enpec) entre os anos de 2007 a 2011, estão relacionados ao tema “Estrelas”. Uma análise das teses e dissertações do banco de teses da Capes, do banco de teses da Ufscar³ e do Cedoc⁴, feita por Bretones e Ortelan (2012), revela que menos de 7% (10) deles referem-se ao tema. Mesmo em eventos específicos da área, como é o caso do Simpósio Nacional de Educação em Astronomia⁵ (Snea), os números relativos são da mesma ordem. Menos de 7% (45) dos trabalhos submetidos nas quatro primeiras edições do evento estão relacionados ao tema, segundo Rodrigues e Langhi (2018), embora os valores, em números absolutos, sejam mais expressivos.

Nota-se que uma fração significativa dos trabalhos baseia-se em uma perspectiva predominantemente conteudista, a qual não compatibiliza com os preceitos curriculares idealizados para a AST929. Além do mais, identificamos, nessas propostas, os seguintes aspectos apontados por Guisasola *et al.* (2017):

[...] essas propostas frequentemente falham em detalhar como teoria e os resultados da pesquisa foram articulados no projeto, além disso, nem todas as propostas incluem uma avaliação em termos de resultado de aprendizagem e raramente os resultados estão especificamente conectados ao projeto da sequência. A falta de informação detalhada sobre o projeto e a avaliação das sequências propostas interfere na possibilidade de avaliar apropriadamente a efetividade do seu potencial e de discutir e melhorar sistematicamente o seu projeto (tradução nossa, p. 1).

Vê-se que são escassas as fontes que podem constituir um ponto de partida para a construção da nossa SEA. Apesar disso, encontramos trabalhos como os de Amorim (2011), Iachel (2011), Machado (2020) e a série de trabalhos de Mattei (MATTEI *et al.*, 1996; PERCY; MATTEI, 1998; MATTEI; PERCY, 2000), os quais foram selecionados para subsidiar essa fase do projeto.

O trabalho de Iachel (2011) apresenta uma pesquisa que foi conduzida com 125 alunos do primeiro ano do Ensino Médio. Considerando que o perfil conceitual desses estudantes sofra alteração até a conclusão do Ensino Médio, o trabalho nos permite apenas fazer uma extrapolação para apoiar o levantamento de hipóteses sobre o conhecimento prévio dos nossos estudantes ingressantes no ensino superior.

Segundo o autor, uma parcela considerável – cerca de 65% – dos alunos não possui um conhecimento científico estruturado sobre a natureza de uma estrela, sua forma e sua

3 Disponível em: <<http://www.dme.ufscar.br/btdea>>.

4 Centro de Documentação em Ensino de Ciências, da Faculdade de Educação da UNICAMP.

5 A primeira edição do evento ocorreu em 2011 e tem ocorrido a cada dois anos.

composição. Os resultados também mostraram que os estudantes têm dificuldade em reconhecer a escala de tempo de vida de uma estrela e aspectos da sua evolução. Nesse ponto, não houve nem uma referência quanto a relação desses fenômenos com a produção de energia no interior estelar. Aliás, há aqueles que se apoiam em conceitos segundo os quais as estrelas absorvem energia do meio e são corpos iluminados. Muitos deles, ainda, concebem a morte de uma estrela como um evento instantâneo, em termos astronômicos, algo estanque e que leva a um único resultado, e não como um processo que pode levar dezenas de milhares de anos e que depende das características da estrela, em particular da sua massa. Percebe-se aqui indícios de um conhecimento pragmático e unitário, que pode dificultar a aprendizagem acerca das etapas finais da evolução de uma estrela. Bem, é possível que esse quadro se altere até a conclusão do Ensino Médio, porém, com base na experiência ao longo dos anos em que a disciplina AST929 tem sido ofertada, constata-se que boa parte dele persiste no ensino superior. Sendo esse o caso, deve-se assegurar que tais conceitos sejam abordados nas etapas iniciais da SEA e para validar e verificar a sua eficácia, são propostos os indicadores de aprendizagem da Tabela 1.

Foram considerados ainda os trabalhos de Percy (1994), Mattei (1996), Percy e Mattei (1998), Mattei e Percy (2000), Amorim (2011), Napoleão (2018) e Machado (2020), pois agregam elementos relevantes à fase da compreensão do problema. Enquanto que Percy (1994), Mattei (1996), Percy e Mattei (1998) e Mattei e Percy (2000) discutem possibilidades de uso de uma base de dados mantida pela *American Association of Variable Stars Observers* (AAVSO), Amorim (2011) e Machado (2020) apresentam situações em que os estudantes podem realizar observações de estrelas variáveis visíveis a olho nu. Napoleão (2018), por sua vez, traz uma proposta empirista para o ensino das ideias científicas relativas a estrelas variáveis e um grande volume de conteúdo sobre o tema.

Por outro lado, é importante lembrar que, embora esses trabalhos tenham relação com o tópico que é o foco da SEA e possam oferecer boas contribuições, não são trabalhos que foram concebidos, planejados e desenvolvidos à luz de uma perspectiva DBR. Portanto, ao mesmo tempo que seus elementos podem ser combinados para dar forma ao conteúdo da SEA e sugerir certos caminhos metodológicos, será preciso adequá-los e preencher eventuais lacunas no projeto, principalmente naquilo que se refere aos procedimentos de avaliação e de validação da sequência.

C. Definição dos objetivos e indicadores de aprendizagem da sequência

É nessa fase em que são definidos os objetivos de aprendizagem e os indicadores que serão utilizados para determinar se eles foram alcançados. Dois fatores principais foram considerados na definição desses elementos: i) os estudantes ainda apresentam dificuldades em compreender certos aspectos da evolução estelar e em enxergarem a relação que existe entre a

massa do objeto, a taxa de produção de energia e o seu tempo de vida, e ii) os ideais curriculares da AST929, que preconizam a utilização de métodos empíricos, atividades práticas e recursos tecnológicos. De um ponto de vista mais abrangente, após a conclusão da SEA, é esperado que os estudantes sejam capazes de:

- a. expressar a relação entre o período de pulsação de estrelas variáveis com a sua luminosidade e definir luminosidade, fluxo e magnitude;
- b. identificar a relação como um método para determinação de distâncias em escala astronômica;
- c. reproduzir um estudo empírico através de dados da literatura, bases de dados e de ensaios experimentais com o experimento “Curva de luz” do labremoto⁶;
- d. determinar (ou ao menos estimar) o período de pulsação por meio de ajuste e obter uma relação período-luminosidade calibrada.

A Tabela 1 apresenta os indicadores de aprendizagem que foram empregados e os objetivos aos quais eles estão associados.

Tabela 1 – Indicadores de aprendizagem e objetivos aos quais estão relacionados.

Indicadores	Objetivos
i. Relacionar período de pulsação com os processos de produção de energia e com a massa;	a, d
ii. Definir magnitude absoluta, relacionar fluxo, luminosidade e magnitude;	
iii. Construir um gráfico da magnitude absoluta pelo período de pulsação;	
iv. Elaborar hipóteses sobre o comportamento dos dados;	
v. Deduzir o tipo de função que se ajusta aos dados;	
vi. Realizar ajustes aos dados;	
vii. Relacionar magnitude absoluta, magnitude aparente e módulo de distância;	b
viii. Expressar a magnitude absoluta como uma característica intrínseca da fonte;	
ix. Obter informações empíricas a partir das bases de dados e de experimentos;	a, c, d
x. Interpretar essas informações e construir gráficos a partir delas;	
xi. Definir métodos para determinação dos parâmetros e argumentar sobre suas limitações;	c, d
xii. Estimar os erros do método escolhido;	
xiii. Reconhecer a relação período-luminosidade como um método para determinação de distâncias.	

⁶ O Laboratório Remoto de Física, ou labremoto, como é tratado neste trabalho, é um projeto desenvolvido no Instituto de Física e Química da Unifei, que consiste na construção de experimentos controlados remotamente através da internet e que podem ser observados em tempo real. Para mais informações visitem <<http://labremoto.unifei.edu.br>>.

Concepção, implementação e avaliação da SEA

O item D representa a fase em que são concebidas as ações da SEA. É nessa fase em que são elaborados os documentos da sequência, os quais incluem os materiais didáticos, orientações para a avaliação do projeto e dos estudantes e orientações para a utilização desses documentos. O item E, por sua vez, refere-se à implementação das ações. É nessa fase que o produto se concretiza. Enquanto que a fase D apresenta o currículo idealizado, a fase E irá fornecer o currículo consolidado. A última, fase F, é onde ocorre a avaliação tanto da qualidade da sequência quanto da aprendizagem. Neste ponto é importante esclarecer que existem limitações intrínsecas às formas de mensurar a aprendizagem, de forma que buscamos, neste trabalho, apenas identificar os indicadores de aprendizagem mencionados na Tabela 1.

IV. A sequência de ensino e aprendizagem

Optamos por organizar a SEA em momentos, ao invés de encontros. Essa opção pareceu mais adequada, visto que a sequência contém atividades para serem realizadas durante os encontros da disciplina, mas também contém atividades para serem realizadas nos interstícios e antes mesmo do primeiro encontro. O diagrama da Figura 2 fornece uma ideia aproximada de como os eventos da sequência estão arranjados cronologicamente.

Os momentos da SEA estão indicados na parte superior do diagrama, na região que contém as atividades a serem desenvolvidas pelos discentes ou, conjuntamente, pelos discentes com a participação do docente. O nome de cada momento está indicado dentro do balão azul. Na parte inferior encontram-se alguns eventos que não constituem necessariamente um momento da SEA, mas compõem, naturalmente, os momentos adjacentes. Esses eventos representam atividades em que há atuação apenas do docente. Após a avaliação diagnóstica, por exemplo, é responsabilidade do docente analisar os dados e planejar adequadamente o segundo momento da SEA conforme os resultados que obteve.

1º momento – avaliação diagnóstica

As perguntas da Tabela 2 foram elaboradas e propostas aos alunos da disciplina na forma de questionário online. Um pequeno grupo entre eles, contendo cinco integrantes selecionados aleatoriamente, não foi submetido ao questionário, mas sim, foi convidado para participar de uma entrevista semiestruturada contendo inicialmente as mesmas perguntas. A entrevista foi realizada primeiro, para evitar que os participantes tivessem acesso às questões de antemão.

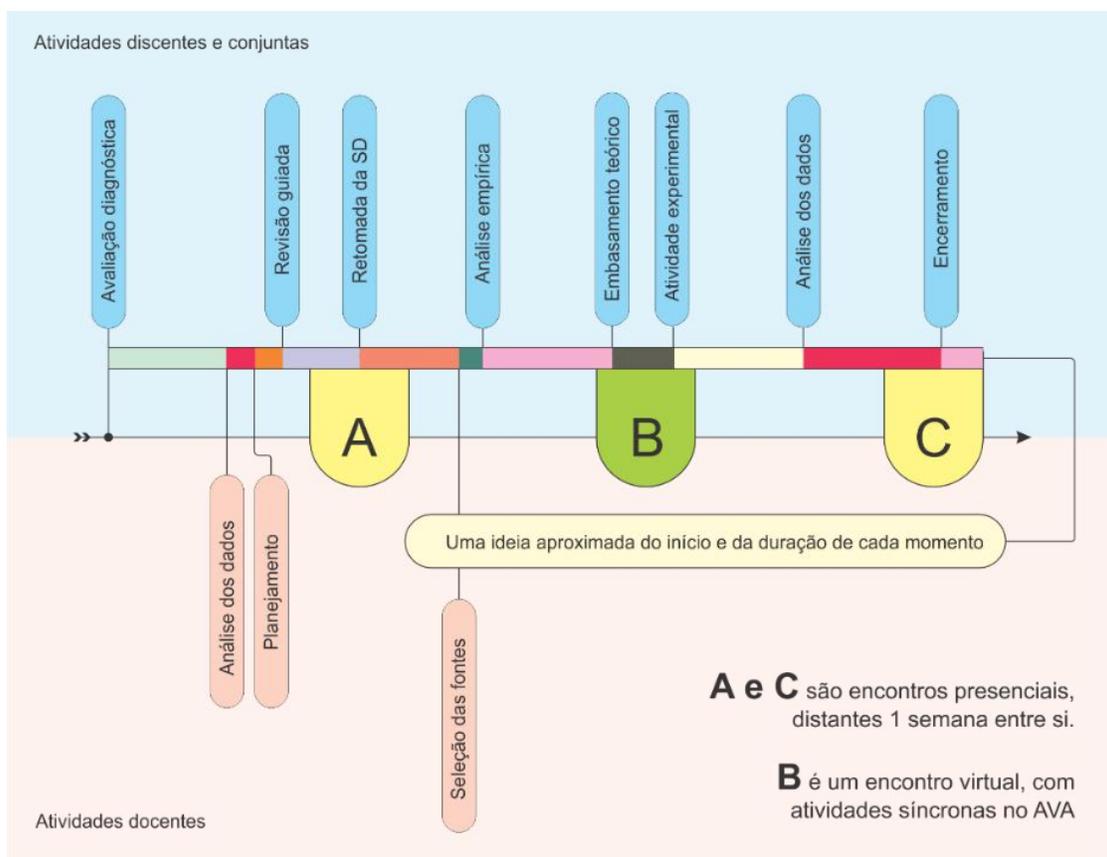


Fig. 2 – Diagrama contendo o início e a duração aproximada de cada momento da SEA. Algumas atividades são assíncronas e são realizadas com o suporte de ferramentas do AVA.

A combinação que foi adotada, questionário mais a entrevista, apresenta uma série de vantagens. Primeiramente, dada a dimensão da turma (aproximadamente 30 alunos) e o curto tempo que geralmente se tem disponível, o questionário apresenta a vantagem de agilizar a coleta e a organização das informações, comparado a entrevista, que costuma ser um processo dispendioso em termos de tempo. Por outro lado, os participantes geralmente fornecem respostas mais rasas em um questionário, limitando assim as possibilidades de investigação e a compreensão do pesquisador. Por essa razão é que não se deve prescindir da entrevista, ainda que ela seja aplicada a um grupo reduzido de estudantes.

Tabela 2 – Perguntas utilizadas no questionário online e como perguntas de base para a entrevista semiestruturada.

Pergunta	Indicadores de aprendizagem
<p>a – Desenhe uma estrela da forma que você imagina que ela seja [de verdade]. Utilize cores no seu desenho. Explique as escolhas que fez quanto a forma e a cor.</p> <p><i>Nessa fase é possível ter acesso ao conhecimento que o aluno possui com relação à forma e à natureza de uma estrela. Através da análise do desenho pode-se elaborar novas perguntas dinamicamente para explorar um pouco mais a fundo as escolhas do autor e atingir, assim, a compreensão da sua mensagem pictórica.</i></p>	<p>a.i – Esboçar corretamente a geometria de uma estrela;</p> <p>a.ii – Escolher a cor segundo conhecimento empírico;</p> <p>a.iii – Correlacionar cor e temperatura;</p> <p>a.iv – Argumentar sobre o porquê de uma estrela não possuir pontas [na realidade];</p>
<p>b – Qual a principal diferença entre uma estrela e um planeta?</p> <p><i>É esperado que os estudantes definam as estrelas como corpos luminosos, enquanto que os planetas são iluminados. É possível que os alunos apontem que estrelas realizam reações nucleares no seu interior, enquanto os planetas não o fazem.</i></p>	<p>b.i – Identificar as características de uma estrela;</p> <p>b.ii – Distinguir estrelas e planetas;</p> <p>b.iii – Utilizar corretamente os termos luminosos e iluminado;</p> <p>b.iv – Relacionar o brilho de uma estrela com a produção de energia;</p>
<p>c – Explique porque uma estrela emite luz.</p> <p><i>É esperado que os alunos apontem que estrelas realizam reações nucleares no seu interior, enquanto os planetas não o fazem, e que relacionem esse aspecto com a massa do objeto antes da sua formação.</i></p>	<p>c.i – Relacionar o brilho de uma estrela com a produção de energia;</p> <p>c.ii – Utilizar o termo “reações nucleares” para expressar a resposta;</p> <p>c.iii – Identificar a ausência de reações nucleares em objetos planetários.</p>
<p>d – Você nota diferença entre o brilho das estrelas [quando olha para o céu a noite]?</p> <p><i>Essa pergunta explora mais do que o conhecimento teórico. É possível que o aluno tenha feito alguma constatação empírica que o permita responder à pergunta, embora não saiba explicar a razão. Por outro lado, é possível que ele saiba a resposta, mas não seja capaz de exemplificar, o que indica que não há informações empíricas.</i></p>	<p>d.i – Categorizar e organizar informações empíricas;</p> <p>d.ii – Ilustrar sua resposta com exemplos de objetos observáveis a olho nu;</p> <p>d.iii – Analisar a diferença do brilho sob diferentes categorias: intensidade, cor, variabilidade, distância, temperatura, etc;</p> <p>d.iv – Definir o termo magnitude;</p>
<p>e – Quanto tempo vive uma estrela? [Faça uma estimativa da ordem de grandeza do tempo de vida de</p>	<p>e.i – Estimar a ordem de grandeza do tempo de vida de uma estrela</p>

<p>uma estrela. Milhares, milhões, bilhões de anos? O que você acha?]</p> <p><i>Não há uma única resposta. É esperado que os estudantes relacionem o tempo de vida com a massa inicial do objeto e com a produção de energia.</i></p>	<p>e.ii – Associar o tempo de vida de uma estrela à massa inicial do objeto;</p> <p>e.iii – Associar a taxa de produção de energia ao tempo de vida do objeto;</p> <p>e.iv – Associar o esgotamento do combustível no núcleo ao <i>turn-off</i> da sequência principal;</p>
<p>f – [Você já ouviu falar em diagrama HR?] O que é o diagrama HR?</p> <p><i>É esperado que os estudantes reconheçam o diagrama como um gráfico da distribuição das estrelas conforme sua luminosidade e sua temperatura.</i></p>	<p>f.i – Definir diagrama HR</p> <p>f.ii – Definir corretamente os eixos do diagrama;</p> <p>f.iii – Relacionar magnitude e luminosidade;</p> <p>f.iv – Relacionar temperatura e cor;</p>
<p>g – O que significa dizer que uma estrela pertence à sequência principal [do diagrama HR]?</p> <p><i>Aqui espera-se que o aluno associe a classificação com o fato de a estrela realizar fusão nuclear do hidrogênio em seu núcleo.</i></p>	<p>g.i – Lembrar a definição de sequência principal;</p> <p>g.ii – Localizar a sequência principal em um diagrama HR ou cor-magnitude;</p> <p>g.iii – Associar a queima do hidrogênio no núcleo com a sequência principal;</p>
<p>h – O que ocorre quando o combustível [hidrogênio] no núcleo se esgota [torna insuficiente]?</p> <p><i>Aqui, aproveita-se para testar certas habilidades cognitivas superiores, como a capacidade de deduzir, prever, avaliar e debater hipóteses.</i></p>	<p>h.i – Inferir o resultado da queima do hidrogênio no núcleo;</p> <p>h.ii – Deduzir hipóteses e fazer previsões;</p> <p>h.iii – Avaliar, debater, defender suas hipóteses;</p>
<p>i – Você já realizou algum experimento nas aulas de ciências [incluindo o ensino superior]? Descreva.</p> <p><i>Aqui desejamos determinar a experiência do aluno com atividades de laboratório e com instrumentos de medidas. Isso irá orientar o planejamento da atividade.</i></p>	<p>i.i – Identificar instrumentos de medidas;</p> <p>i.ii – Definir termos como precisão, acurácia, erro, etc.</p> <p>i.iii – Relacionar a prática experimental à validação de hipóteses;</p>
<p>j – O que você sabe sobre o labremoto?</p> <p><i>Essa pergunta é apenas para determinar se será necessário fazer uma atividade piloto com os estudantes, para que se familiarizem com os elementos do laboratório.</i></p>	

1 – Termos entre colchetes foram inseridos durante o refinamento do projeto da SEA.

2 – Termos riscados (tachados) foram removidos, também devido ao processo de refinamento.

Os resultados da análise preliminar das entrevistas realizadas em AST929 são apresentados no Quadro 1. A última pergunta da Tabela 2 é meramente especulativa e por isso sua análise não foi considerada.

2º momento – revisão guiada do conteúdo

Considerando o trabalho de Iachel (2011), os resultados indicam uma mudança com relação ao conhecimento que os estudantes possuem sobre o formato das estrelas. Considerando os dados de ambos, questionário e entrevista, a maioria – cerca de 95% dos estudantes – apresenta agora o que o autor denominou de conhecimento condizente. Contudo, há algumas observações a serem feitas com relação aos índices que foram empregados pelo autor (ver Tabela 2, p.13, *ibid.*): primeiramente, a) o índice “as estrelas possuem pontas” foi atribuído a um conhecimento não condizente, entretanto, quando são feitas observações, quer sejam elas a olho nu, quer sejam com um telescópio, as imagens revelam objetos com pontas devido ao efeito da difração da luz (MINUTE PHYSICS, 2014). Assim, parece ser mais adequado que esse índice esteja atribuído a um conhecimento meramente visual; b) o índice “possuem formas variadas” também foi atribuído a um conhecimento não condizente, mas, sem informações adicionais, parece mais apropriado que esse índice esteja atribuído a um conhecimento parcialmente condizente. Estritamente falando, as estrelas possuem diferentes formatos. Objetos com alta rotação apresentam achatamento dos polos, erupções na superfície (irregularidades) ocorrem por conta das distorções do campo magnético, variáveis cataclísmicas têm formatos exuberantes, entre outros exemplos. É possível até que seja esse um conhecimento condizente, dependendo do que os respondentes tenham querido expressar com o termo “formas variadas”. As falas dos estudantes durante as entrevistas deste trabalho, por exemplo, contêm indícios de que eles reconhecem as estruturas irregulares na superfície de uma estrela, embora vagamente.

Ainda sobre o formato das estrelas, é possível perceber que o modelo empregado pelos estudantes em AST929 é limitado e essencialmente empírico, visto que os mesmos falham em fornecer uma explicação teórica para a geometria da estrela, seja ela a real ou a observada. Nenhum dos estudantes fez uma relação dessa geometria com a natureza do campo gravitacional ou com o equilíbrio hidrostático e isso pode vir a ser um obstáculo para elaboração de modelos mais complexos. Em particular, os estudantes podem ter problemas em compreender o papel do campo gravitacional durante a fase de instabilidades da estrela. Sendo esse o caso, propõe-se que sejam realizadas as atividades da Tabela 3 ligadas ao tópico “formato de uma estrela”.

O segundo ponto em que os estudantes deixaram transparecer certa dificuldade está relacionado à observação, organização e à análise de dados empíricos. Quando questionados se notavam alguma diferença entre o brilho das estrelas ao observarem o céu noturno, a maioria dos estudantes foi categórica ao afirmar que havia diferença na intensidade e relacionaram essa diferença exclusivamente à distância da fonte. Menos de 10% dos estudantes foram capazes de citar outras diferenças. De certa forma, eles se contentaram com aquele conhecimento generalista

Quadro 1 – Resultado da análise das entrevistas com cinco estudantes (A1 – A5) matriculados em AST929. As perguntas e os indicadores de aprendizagem da Tabela 2 foram empregados.

Questão	A1	A2	A3	A4	A5	Comentários
a	i					(A1, A2, A4) Atribuição de uma geometria esférica irregular à estrela. (A3) Pensamento geométrico-espacial semiestruturado. No geral, não fazem referência a simetria radial da força gravitacional. (A5) Utiliza dados empíricos e o Sol como modelo.
	ii					
	iii					
	iv					
b	i					(A2) Capacidade de síntese incipiente. Empregam vagamente termos como pressão, combustão e rochoso para se referirem aos objetos. (A4) Relação massa-campo gravitacional inconsistente.
	ii					
	iii					
	iv					
c	i					(A1, A2, A3) Fazem uma relação rasa do brilho com as reações no núcleo.
	ii					
	iii					
d	i					No geral, não empregam o termo magnitude para expressar o brilho.
	ii					
	iii					
	iv					
E	i					
	ii					
	iii					
	iv					
f	i					
	ii					
	iii					
	iv					
g	i					
	ii					
	iii					
h	i					(A5) Descreve de forma incerta as fases após o turn-off
	ii					
	iii					
i	i					Assistiram a algumas atividades práticas demonstrativas no EM. Têm uma disciplina laboratorial no primeiro semestre do curso. (A1, A3, A4) - Dúvidas nos conceitos de precisão e acurácia.
	ii					
	iii					

	Incerto
	Satisfeito
	Não satisfeito
	Não foi investigado

e é como se esse contentamento tivesse feito cessar a busca por um modelo mais complexo, mais robusto. Isso nos fornece indícios de que talvez o conhecimento que possuem nessa área não tenha sido adequadamente cotejado. Diante dessa constatação, são propostas as atividades da Tabela 3 ligadas ao tópico “diferença entre o brilho das estrelas”, as quais têm caráter prático, em sua maioria.

Os resultados também revelaram fragilidades relacionadas aos conhecimentos concernentes aos tópicos “tempo de vida de uma estrela” e “diagrama HR”. Ambos podem ser considerados como um grande tópico, visto que o diagrama é frequentemente apontado na literatura da área como a principal ferramenta de estudo e compreensão da evolução estelar, em particular sobre o tempo de vida de uma estrela. Embora os questionários tenham revelado resultados ligeiramente mais animadores com respeito a esses quesitos, não devemos ignorar a possibilidade de que os respondentes tenham tido acesso a fontes secundárias, pelo que seria adequado atribuir maior significância às conclusões que procedem da análise das entrevistas.

Um número razoável de estudantes – cerca de 60% – tem uma boa noção da ordem de grandeza do tempo de vida de uma estrela e fazem relação disso com a dimensão (não com a massa) do objeto. Isso pode ser um empecilho para determinação da idade de um objeto e levar a interpretações equivocadas da relação massa *versus* volume. Seriam estrelas tipo espectral O (classificação de Harvard) comparáveis, em tamanho, às gigantes vermelhas que se originam de estrelas tipo G⁷? O que se pode dizer sobre a diferença das massas entre elas? O que se pode dizer sobre a diferença do tempo de vida entre esses objetos? Pois essas são perguntas cujas respostas o modelo dos estudantes falha em fornecer. Com base nessas considerações, são propostos os materiais e atividades da Tabela 3 ligados aos temas “tempo de vida de uma estrela” e “diagrama HR”. Ao final das atividades os alunos devem ser capazes de compreender que uma estrela pode possuir massa maior que outra e ainda assim ter um volume menor; e que o parâmetro determinante para a sua evolução é a massa e não o seu volume.

As últimas perguntas da entrevista e do questionário procuraram determinar qual foi o contato que esses estudantes tiveram com atividades experimentais até aquele momento. Sabe-se que todos eles estão matriculados na disciplina “Introdução à Física Experimental”, que pertence ao mesmo período da matriz curricular em que está a AST929 e, portanto, sabemos que realizaram ao menos os experimentos propostos nessa disciplina. O contato que tiveram antes disso é praticamente nulo e limitou-se a atividades demonstrativas. O termo laboratório remoto é desconhecido para eles. Em face disso, os momentos posteriores da SEA que lidam com a parte experimental devem cuidar para que ocorra a devida familiarização com os recursos antes que sejam utilizados.

⁷ Estrelas tipo O possuem raios tipicamente da ordem de $10R_{\odot}$, enquanto que gigantes vermelhas possuem raios que variam de 10^2R_{\odot} até 10^3R_{\odot} . Contudo, estrelas tipo O são estrelas de alta massa, $15M_{\odot}$ a $80M_{\odot}$, enquanto que gigantes vermelhas originam-se de estrelas de baixa massa, como o Sol.

Tabela 3 – Materiais e atividades propostas no 2º momento da SEA em função das deficiências detectadas a partir dos dados coletados no 1º momento.

Tópico/Tema	Referências	Sugestão de atividades
Formato de uma estrela	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minute Physics (2014) ✓ SciBRIGHT (2019) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudo dirigido dos vídeos indicados, antes do primeiro encontro presencial;
Diferença entre o brilho das estrelas	-	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observação do céu noturno antes do encontro; ✓ Elaboração de mapas coloridos do céu, antes do primeiro encontro; ✓ Análise dos mapas elaborados, durante o encontro; ✓ Atividade prática: uma questão de perspectiva.
Tempo de vida de uma estrela		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudo dirigido, antes do encontro;
Diagrama HR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Professor Dave Explains (2018) ✓ Texto (Fonte: Wikipedia) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Breve aula expositivo-dialógica sobre o tema, com no máximo 20 min.

1 – O idioma dos vídeos é o inglês, mas todos possuem legendas em português ou traduções automáticas.

3º momento – retomada da sequência

A Fig. 3 constitui aqui o ponto central das discussões – presenciais – e institui o marco inicial de um processo dialógico que deve conduzir os estudantes à compreensão de que:

1. a estrela é um sistema em equilíbrio;
2. essas são as forças que podem estar envolvidas nesse sistema: gravitacional, devida a pressão do gás, devida à pressão de radiação. (De que forma considerar a força centrípeta do sistema?)
3. algumas dessas forças estão relacionadas com a produção de energia no núcleo da estrela;
4. o processo de instabilidade é decorrente do desequilíbrio nesse balanço de forças, causado por variações na taxa de produção de energia.

Os estudantes são questionados sobre o significado que atribuem às setas da figura e o diálogo em torno da questão fornece os elementos necessários para averiguar o andamento do processo, ter acesso a conhecimentos prévios e avaliar de maneira formativa. Esse também é o momento oportuno para: 1) revisar alguns dos tópicos da entrevista e ter uma ideia do quão eficaz foi o segundo momento da SEA e 2) apresentar aos estudantes o foco da SEA e a direção na qual ocorrerão os próximos passos.

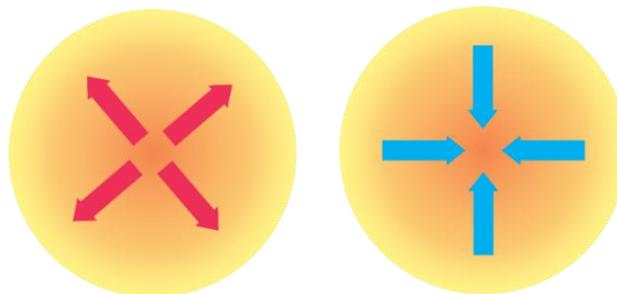


Fig. 3 – Representação da ação de grandezas vetoriais no interior estelar.

Os estudantes em AST929 demonstraram aqui mais segurança relativamente aos itens da avaliação diagnóstica. Eles revelaram modelos mais elaborados para descreverem e explicarem a geometria estelar. A fonte de energia da estrela, o diagrama HR, a sequência principal e a evolução estelar, que eram conceitos vagos e incoerentes, agora parecem estar razoavelmente claros para os estudantes. A consistência desse conhecimento será colocada à prova nas etapas seguintes, todavia, pelo momento, conclui-se que as intervenções propostas na Tabela 3 surtiram o efeito desejado. Com relação à Fig. 3, os estudantes reconhecem imediatamente a ação da força gravitacional no sistema, mas ainda possuem um olhar obtuso sobre a força que se contrapõe a ela. Embora associem essa força às reações nucleares, falham em explicar de que forma essas reações podem exercer força sobre a matéria. Também manifestaram um pensamento conflituoso segundo o qual a existência de uma força – não a força resultante – implica necessariamente a ocorrência de movimento.

Como uma ação de refinamento, um quinto item foi considerado nos objetivos de aprendizagem dessa fase, segundo o qual as discussões nesse momento devem conduzir o estudante à compreensão de que:

5. em um sistema em equilíbrio, existem forças atuando constantemente, algo que se pode constatar pela análise de um sistema simples, como um balão cheio de ar, por exemplo.

4º momento – análise empírica

Define-se um conjunto de estrelas do tipo cefeidas clássicas para que os estudantes busquem alguns dados e construam uma tabela semelhante à Tabela 4. As informações podem ser obtidas com auxílio de plataformas como o *VizieR Catalogue Database* (VCD)⁸. É utilizada uma planilha em que parte do preenchimento é feita de maneira automática⁹.

Tabela 4 – Informações para um conjunto de estrelas do tipo cefeidas clássicas.

Nome	ID	α (J2000) h m s	δ (J2000) ° ' "	D pc	m mag	M mag	P dias
Eta Aquilae	HD 187929	19 52 28.4	+01 00 20.4	403	3.95 (3.48 – 4.33)	-4.08	7.18
FF Aquilae	HD 176155	18 58 14.7	+17 21 39.3	547	5.35 (5.18 – 5.68)	-3.34	4.47
TT Aquilae	HD 178359	19 08 13.7	+01 17 55.1	1095	7.13 (6.46 – 7.70)	-3.07	13.75
U Aquilae	HD 183344	19 29 21.4	-07 02 38.7	1026	6.42 (6.08 – 6.86)	-3.64	7.02
RT Aurigae	HD 45412	06 28 34.0	+30 29 34.9	707	5.68 (5.00 – 5.82)	-3.57	3.73
AX Circini	HD 130702	14 52 35.3	-63 48 35.4	604	5.94 (5.65 – 6.09)	-2.97	5.27
BP Circini	HD 129708	14 46 42.0	-61 27 43.0	978	7.52 (7.31 – 7.71)	-2.43	2.40
BG Crucis	HD 108968	12 31 40.3	-59 25 26.1	556	5.49 (5.34 – 5.58)	-3.24	3.34
S Crucis	HD 112044	12 54 22.0	-58 25 50.2	954	6.73 (6.22 – 6.92)	-3.17	4.69
T Crucis	HD 107447	12 21 21.1	-62 16 53.9	856	6.56 (6.32 – 6.83)	-3.10	6.73
X Cygni	HD 197572	20 43 24.2	+35 35 16.1	1079	6.40 (5.85 – 6.91)	-3.77	16.39
SU Cygni	HD 186688	19 44 48.7	+29 15 52.9	837	6.96 (6.44 – 7.22)	-2.65	3.85

⁸ Um vídeo tutorial demonstrando o procedimento está disponível em: <<https://youtu.be/INC-D4BUeWw>>.

⁹ O arquivo da planilha está disponível em: <<https://labremoto.unifei.edu.br/src/materiais.php>>, na seção intitulada “Experimento Curva de luz”.

RS Puppis	HD 68860	08 13 04.2	-34 34 42.7	1632	7.00 (6.52 – 7.67)	-4.06	41.39
SV Vulpeculae	HD 187921	19 51 30.9	+27 27 36.8	2494	7.35 (6.72 – 7.79)	-4.63	44.99

1 - Fonte: *Vizier Data Service*, disponível em: <<https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-4>>. Catálogos: ASCC (KHARCHENKO; ROESER, 2009) e Gaia DR2 (BAILER-JONES *et al.*, 2018). Lista inicial de nomes obtida na Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Classical_Cepheid_variable. Os acessos ocorreram em 30 de outubro de 2020.

2 - α é a ascensão reta em horas sexagesimais e δ é a declinação em graus sexagesimais. Ambas as coordenadas estão no equinócio J2000 (ICRS). D é a distância em parsecs, determinada pelo método da paralaxe heliocêntrica, m é a magnitude aparente na banda V do sistema Johnson-Cousins, M é a magnitude absoluta calculada e P é o período de pulsação em dias.

Na medida em que os estudantes realizam o preenchimento da planilha fornecida, o gráfico $M_V \times \log P$ é automaticamente criado e atualizado. Para efeito de ilustração, a Figura 4 mostra o gráfico que foi construído com base nos dados da Tabela 4. Uma função polinomial do primeiro grau foi ajustada aos dados pelo método de minimização do χ -quadrado, fornecendo

$$M_V = -2.19 \log P - 1.21 \quad (\text{mag}) \quad \text{Equação 1}$$

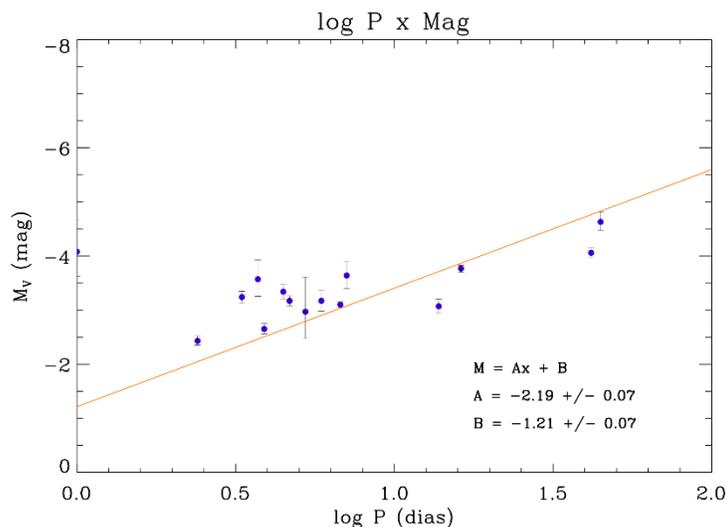


Fig. 4 – Gráfico da magnitude absoluta média (M_V) pelo logaritmo do período (dias) para os objetos da Tabela 4. Os coeficientes do ajuste e as respectivas incertezas foram obtidos através do método de minimização do χ -quadrado.

É claro que, quanto mais dados forem considerados no ajuste, mais confiável será o resultado. O experimento “Curva de luz” é utilizado em seguida como um recurso demonstrativo, para que os estudantes conheçam as características de uma curva de luz de estrela

variável. Essa etapa da SEA se encerra com a discussão dos resultados, após o que se espera que os estudantes:

1. comparem seus resultados;
2. identifiquem uma correlação entre as grandezas do gráfico;
3. expressem, de antemão, essa correlação através de uma função linear;
4. correlacionem brilho e magnitude em uma escala inversa;
5. constatem que quanto menor a magnitude absoluta média da cefeida (M_V) – isto é, quanto mais negativa – maior será o seu período;
6. citem o meio interestelar como um fator capaz de influenciar no módulo de distância;
7. identifiquem curvas de luz de uma estrela variável.

5º momento – embasamento teórico

O embasamento teórico também ocorre durante o encontro virtual (item B da Figura 2). Ele consiste em uma breve aula expositivo-dialógica abrangendo tanto conteúdo quanto experimento. Os seguintes pontos são abordados:

1. quanto menor a magnitude absoluta (M_V) de uma estrela cefeida, maior o seu brilho e maior será o período de pulsação;
2. determinação da distância até Andrômeda por Edwin Powell Hubble.
3. alcance do método período-luminosidade para a determinação de distâncias;
4. a relação da técnica com a determinação da constante de Hubble;
5. curva de luz de uma estrela cefeida: diferenças entre dados reais e dados do experimento “Curva de luz”;
6. processo de medição do fluxo: sensores e técnica de medição.

Algumas das referências empregadas nessa fase são: Kepler e Saraiva (2013), Napoleão (2018) e Machado (2020), além dos materiais disponíveis no próprio site do labremoto.

6º momento – atividade experimental

A atividade experimental investigativa baseada no “Curva de luz” é proposta no final do segundo encontro (item B da Fig. 2). Nessa ocasião o docente acessa o experimento e faz uma breve exposição com a finalidade de familiarizar os estudantes com a interface e as suas funcionalidades. Então a atividade é descrita em termos gerais para os discentes. Também é feita a apresentação do roteiro experimental¹⁰, circunstância em que o docente aproveita para elucidar quaisquer pontos que julgar pertinentes, conforme o perfil dos seus estudantes. Além do roteiro,

10 <<https://labremoto.unifei.edu.br/materials/lightCurve/Roteiro%20experimental.pdf>>.

um vídeo tutorial está disponível¹¹, onde são demonstrados o procedimento de coleta de dados e a utilização dos programas sugeridos no roteiro.

7º momento – análise dos dados coletados

O primeiro procedimento é a construção de um gráfico como aquele que é mostrado na Fig. 5. Do lado esquerdo está o gráfico que corresponde à versão do experimento que foi utilizada neste trabalho. Em uma situação real de observação existem diversos fatores que contribuem para erros estatísticos e mesmo para a perda de uma fração dos dados coletados, como as condições climáticas, erros instrumentais, entre outros. Com o objetivo de tornar a experiência mais verossímil, procurou-se simular esses fatores e o gráfico do lado direito da figura mostra o resultado após as modificações.

Com base no gráfico, os estudantes estimam parâmetros como o período e os valores de máximo e de mínimo. Embora isso seja suficiente para discussões mais simples, a análise pode ser estendida. Uma boa alternativa é investigar que tipo de função se ajusta aos dados. Pode-se solicitar que os estudantes consultem a literatura para obterem sugestões ou o professor pode sugerir algo ele mesmo. A Equação 2 é uma variação das funções que são tipicamente empregadas em ajustes de curva de luz de estrelas variáveis do tipo cefeidas (TANVIR *et al.*, 2005; BHARDWAJ *et al.*, 2017 e RAGOSTA *et al.*, 2019) e foi empregada no experimento em questão para simular o comportamento do brilho da fonte.

$$W(t) = B + A \sum_{n=1}^k \frac{1}{n} \text{sen}(n\omega_L t) \quad \text{Equação 2}$$

No caso da AST929, os estudantes estão apenas no início do curso superior e não possuem as ferramentas necessárias para procederem ao ajuste de uma função dessa natureza. Contudo, a situação pode ser contornada satisfatoriamente com o auxílio da plataforma Desmos¹². Estritamente falando, eles não realizam um ajuste, mas sim uma estimativa meramente visual dos parâmetros. A plataforma permite criar controles interativos para cada parâmetro a ser ajustado e o usuário pode modificá-los e observar o resultado.

Durante essa fase é primordial que se discutam as diferenças entre os dados fornecidos pelo experimento e dados reais. Primeiramente, a versão atual do experimento fornece as medidas de tempo em segundos. Sabe-se, no entanto, que as cefeidas apresentam períodos que vão desde aproximadamente um até cem dias. Um fator de escala pode ser empregado para as medidas de tempo, de forma que cada segundo corresponderia a um dia.

¹¹ O vídeo tutorial está disponível em <<https://youtu.be/jGUWTxixkC4>>.

¹² <<https://www.desmos.com>>

O segundo item que deve pertencer às discussões refere-se ao significado do eixo vertical nos gráficos. O experimento fornece valores da diferença de potencial do detector, que não podem ser convertidos para nenhuma das grandezas que usualmente expressam o brilho da fonte, ao menos não sem um procedimento de calibração. Entretanto, pelas características do detector é possível saber que existe linearidade entre a intensidade luminosa, ou o fluxo recebido, e a diferença de potencial medida. Além disso, as medidas não levam em consideração a distância da fonte, ao menos na versão do experimento que foi empregada durante a primeira aplicação da SEA.

A fase da análise encerra-se com a seguinte proposição aos estudantes: ordenemos as cefeidas “observadas” de acordo com o brilho, da menos brilhante para a mais brilhante. Isso deve levantar alguns questionamentos e evocar conhecimentos que estão diretamente ligados aos objetivos da SEA: por que as medidas de ddp não podem ser utilizadas como critério de classificação? Como podemos obter o brilho a partir dos dados que foram coletados? Que relação existe entre o período e o brilho? De que forma determinamos essa relação? Do ponto de vista da Física, qual a explicação para isso? Se pensarmos sobre a cadeia de questões, é quase como se estivéssemos percorrendo a SEA no sentido contrário para encontrar as respostas e, nesse processo, conceitos, modelos, práticas... começam a coalescer e formar uma estrutura mais complexa e robusta.

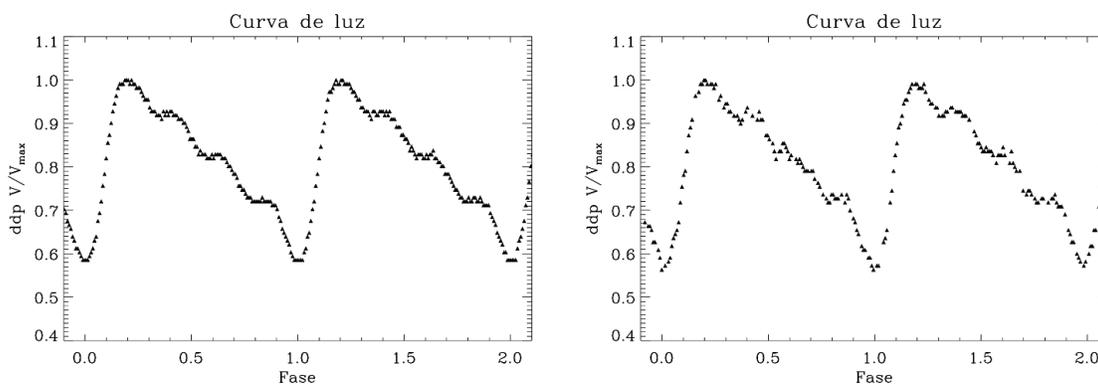


Fig. 5 – Gráficos obtidos a partir dos dados coletados com o “Curva de luz”. Foram feitas 50 medidas por segundo durante 20 segundos e o período de pulsação da fonte é de 4 segundos. As condições são idênticas em ambos os casos. À esquerda: versão original do experimento. À direita: versão do experimento após refinamento. Foram introduzidos erros aleatórios nas medidas e existe 20% de probabilidade de que a medida não seja realizada em um dado instante.

8º momento – encerramento da sequência

Uma avaliação somativa é realizada no último momento. Considerando os objetivos de aprendizagem e os indicadores da Tabela 1, são sugeridas as seguintes perguntas de base:

- 1) As cefeidas são estrelas cujo brilho varia ao longo do tempo e de forma periódica. O que causa a variação do brilho?
- 2) Se fizermos várias observações de uma estrela do tipo cefeida durante muito tempo e construirmos um gráfico colocando o brilho dessa estrela no eixo vertical e o momento da observação no eixo horizontal, como seria esse gráfico?
- 3) Sobre o período das variações de brilho de uma cefeida, qual é a ordem de grandeza? Minutos, horas, dias, anos...?
- 4) Se considerarmos um conjunto de estrelas cefeidas e fizermos um gráfico colocando a magnitude dessas estrelas no eixo vertical e o seu período de pulsação no eixo horizontal, que tipo de curva os pontos do gráfico descreveriam? Uma reta, uma parábola, uma curva exponencial, logarítmico...?
- 5) De que forma nós podemos empregar a relação período-luminosidade de estrelas cefeidas para determinar a distância de uma estrela?

Outras questões poderão ser incluídas na avaliação, à critério do professor. A ideia é confirmar a existência de certos indicadores de aprendizagem que, por qualquer razão, não tenham se manifestado em outros momentos da SEA ou que simplesmente não tenham sido detectados. Ao mesmo tempo, a avaliação somativa deve cumprir o seu papel de mostrar aos estudantes a evolução que tiveram. Assim sendo, o docente não deve tomar os resultados dessa fase como principal critério de avaliação dos discentes.

Do ponto de vista geral, as respostas que os alunos em AST929 forneceram para as questões de 1 a 5 revelaram:

- a) que eles associam a variabilidade a fatores como pressão e temperatura, e também a forças como gravidade e “*repulsão da radiação* (A16)”. Embora os elementos essenciais estejam presentes nas respostas, o modelo ainda é bastante vulnerável (essa constatação já havia ocorrido durante o terceiro momento da sequência);
- b) que eles reconhecem a variação do brilho como um fenômeno periódico e não citam outras particularidades da curva de luz como, por exemplo, seu caráter assimétrico;
- c) que embora eles apontem a existência de uma relação entre o período e a luminosidade de estrelas cefeidas, a natureza logarítmica dessa relação ainda não está clara;
- d) que eles sabem, teoricamente, de que forma o módulo de distância e a relação período-luminosidade podem ser utilizados para determinar a distância de uma estrela cefeida.

Esses resultados fornecem indicativos de que as discussões nos quarto e sétimo momentos da sequência precisam dar maior ênfase à análise dos gráficos, ao significado dos eixos e à distribuição dos dados.

V. Considerações finais

A versão do “Curva de luz” que foi utilizada durante a aplicação da SEA fornece medidas de tempo, em segundos, e de diferença de potencial do detector, a qual possui uma relação linear com o fluxo. As medidas não levam em consideração a distância da fonte e, por esse motivo, não é possível que sejam utilizadas para realizar determinações de distância ou de luminosidade. Essas limitações, entretanto, não oferecem nenhum prejuízo à SEA, pois ela foi estruturada de forma a mitigar justamente essas carências. Para aplicações futuras da SEA, no entanto, ou mesmo para o uso isolado do “Curva de luz” como um recurso didático, seria interessante que essas limitações não mais existissem. Pensando nisso, algumas modificações foram feitas: a) foi introduzido um fator de escala para as medidas de tempo. Embora a coleta de dados ocorra em uma escala de segundos, as medidas são fornecidas em dias, o que é compatível com casos de observações de cefeidas; b) as medidas do detector passaram a ser fornecidas em magnitudes absolutas ou relativas. No caso de magnitudes absolutas, os valores são obtidos através da relação período-luminosidade apresentada por Carrol e Ostlie (2007). As magnitudes aparentes são fornecidas pelo módulo de distância (Equação 3), sem levar em consideração o efeito da extinção interestelar.

$$m - M = 5 \log d - 5 \quad \text{Equação 3}$$

A distância é definida arbitrariamente pelo programa e pode assumir valores entre um mil e 10 mil parsecs. Seu valor permanece incógnito para os usuários e a sua determinação faz parte dos objetivos da proposta para a utilização da nova versão do experimento; c) foram introduzidos erros aleatórios nos valores da magnitude. Esses erros obedecem a uma distribuição normal de probabilidades cuja dispersão corresponde a erros fotométricos típicos na região do visível. Essas mudanças já foram implementadas.

Com as modificações feitas passam a ser possíveis novas abordagens. Uma particularmente interessante é aquela em que os estudantes primeiro obtêm a relação período-luminosidade com o experimento. Então, são realizados ensaios onde as distâncias são definidas arbitrariamente pelo programa e podem ser determinadas teoricamente. Essa possibilidade tem impacto sobretudo nos sexto e sétimo momentos da SEA e será considerada em aplicações futuras. A Tabela 5 mostra em que pontos essas modificações têm repercussão, em termos de indicadores e objetivos de aprendizagem.

Tabela 5 – Indicadores de aprendizagem e respectivos momento da SEA em que puderam ser detectados.

Indicadores	Momento
i. Relacionar período de pulsação com os processos de produção de energia e com a massa;	3, 5, 8
ii. Definir magnitude absoluta, relacionar fluxo, luminosidade e magnitude; *	5, 8, {6, 7}
iii. Construir um gráfico da magnitude absoluta pelo período de pulsação; *	4, {7}
iv. Elaborar hipóteses sobre o comportamento dos dados;	4, 5, 6
v. Deduzir o tipo de função que se ajusta aos dados;	4, 6
vi. Realizar ajustes aos dados; *	4, 6, 7
vii. Relacionar magnitude absoluta, magnitude aparente e módulo de distância; *	4, 5, 8, {6, 7}
viii. Expressar a magnitude absoluta como uma característica intrínseca da fonte; *	[5], {6, 7}
ix. Obter informações empíricas a partir das bases de dados e de experimentos;	4, 6, 7
x. Interpretar essas informações e construir gráficos a partir delas; *	4, 6, 7
xi. Definir métodos para determinação dos parâmetros e argumentar sobre suas limitações; *	7
xii. Estimar os erros do método escolhido; *	7
xiii. Reconhecer a relação período-luminosidade como um método de determinação de distâncias; *	5, 7, 8

[] – Os termos entre colchetes indicam um momento específico da SEA em que era esperado que o respectivo indicador de aprendizagem pudesse ser detectado, mas não foi.

{ } – Os termos entre chaves indicam os momentos da SEA onde espera-se que o indicador de aprendizagem passe a se manifestar, após as modificações que foram feitas no experimento.

* – Indicadores de aprendizagem sobre os quais as modificações realizadas no “Curva de luz” devem repercutir.

Considerando os indicadores de aprendizagem, pode-se dizer que o resultado da SEA foi satisfatório. Contudo, no decorrer do processo, algumas fragilidades foram desvendadas e levaram a pensar indicadores específicos que não haviam sido considerados inicialmente. Examinemos um exemplo. Os estudantes demonstraram uma compreensão adequada do processo de instabilidade nas estrelas, relacionando-o com grandezas como a pressão do gás e a força gravitacional e associaram a variabilidade do brilho da estrela ao desequilíbrio do sistema. Entretanto, ainda falharam em explicar exatamente o que leva a esse desequilíbrio e não se pôde determinar por certo se isso ocorreu devido à mera imprecisão da linguagem ou a uma deficiência do conhecimento científico. Perguntas mais pontuais e mais simples durante os momentos dialógicos e nas atividades podem prover as evidências de que precisamos para sabermos ao certo o que se passa. Subjacentes a essas perguntas encontram-se os indicadores i e

ii da Tabela 6. Por outro lado, se considerarmos que possa ser a linguagem o ponto fraco do processo, então devemos recorrer basicamente a duas ações: a) trabalhar a linguagem científica e a precisão durante toda a SEA e b) implementar ferramentas alternativas para a avaliação da aprendizagem, nas quais a linguagem não seja um elemento basilar, além dos instrumentos que já são empregados. Uma excelente opção é a construção de mapas mentais pelos estudantes, para que possam demonstrar de que forma concebem a organização do conhecimento, a estrutura e a relação entre os conceitos. Essas ações estão relacionadas com os itens iii e iv da Tabela 6. Ficam sinalizadas, portanto, mais algumas ações para o refinamento da SEA.

Tabela 6 – Indicadores de aprendizagem adicionais a serem considerados na SEA e objetivo(s) de aprendizagem ao qual estão relacionados.

Indicadores de aprendizagem adicionais	Objetivo
i. Citar fatores que influenciam na pressão;	a
ii. Citar fatores que têm influência na temperatura;	
iii. Utilizar linguagem científica para explicar o processo de instabilidade;	a, b
iv. Construir mapas mentais: instabilidade de uma estrela e relação período-luminosidade;	

Naquilo que diz respeito à estrutura da SEA, devemos refletir sobre algumas dimensões, quais sejam, duração, qualidade, dificuldade e exequibilidade. A duração da sequência foi adequada conforme a proposta apresentada. Deve-se ter em mente que os momentos da SEA estão distribuídos de forma que certas atividades ocorrem fora do espaço e do tempo da sala de aula, seja ela presencial ou virtual. Dentro desses parâmetros, a proposta pôde ser realizada completamente, embora alguns estudantes tenham manifestado certo desconforto com relação ao tempo, sobretudo durante a atividade experimental.

Quando nos referimos à qualidade da sequência é preciso ter em mente que esse parâmetro possui correlação com as demais dimensões que citamos anteriormente e não deve ser analisado isoladamente. A dificuldade de se executar os passos dentro do tempo previsto, por exemplo, pode comprometer a qualidade. Uma sequência bem planejada reservará o tempo necessário para que as atividades propostas possam ser realizadas. Nesse quesito, como já foi mencionado, observamos resultados positivos. Outro fator que certifica a qualidade da SEA tem a ver com a clareza das instruções e a compreensão dos procedimentos. Os vídeos tutoriais e textos elaborados foram utilizados pelos estudantes sem problemas. No entanto, eles nem sempre demonstraram compreensão do conteúdo ou do procedimento em questão. Certos momentos exigiram nada além de habilidades cognitivas inferiores como cópia, repetição e comparação, principalmente aqueles em que recursos desconhecidos foram introduzidos. Detectamos aqui

uma possível fragilidade do projeto, a qual demanda ações de refinamento. A sequência pode se tornar melhor se os estudantes já estiverem familiarizados com esses recursos de antemão, talvez em um momento prévio da disciplina. Se isso não for uma possibilidade, talvez a familiarização possa ocorrer durante o terceiro momento. Quiçá até seja conveniente a criação de um momento inteiramente novo, entre os terceiro e quarto momentos, onde seriam apresentadas as ferramentas utilizadas na sequência.

No quadro geral, a SEA na sua forma atual trouxe resultados satisfatórios, a despeito das carências que foram observadas. As alterações que devem ocorrer no projeto, frutos das investigações deste trabalho, não devem enfrentar obstáculos e irão contribuir, certamente, para elevar o potencial da SEA em termos de aprendizagem.

Referências

AMORIM, A. Observação visual de Eta Aquilae: uma atividade multidisciplinar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 1., 2011, Rio de Janeiro. **Atas [...]**, Rio de Janeiro: UNIRIO; São Carlos: UFSCar, 2011.

BAILER-JONES, C. A. L. *et al.* Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2. **The Astronomical Journal**, v. 156, n. 2, 2018.

BAILEY, J. M.; SLATER, T. F. A review of astronomy education research. **Astronomy Education Review**, v. 2, n. 2, p. 20-45, 2003.

BARTELMÉBS, R. C. Concepções de estudantes de licenciatura em Ciências Biológicas e Ciências Exatas sobre conceitos básicos de Astronomia. **Revista Espaço Pedagógico**, v. 25, n. 2, p. 277-296, 2018.

BHARDWAJ, A. *et al.* Multiwavelength Light-Curve Analysis of Cepheid Variables. **Proceedings of the International Astronomical Union**, v. 14, S339, p. 287-290, 2017.

BRETONES, P. S.; MEGID NETO, J. An analysis of papers on astronomy education in proceedings of IAU meetings from 1988 to 2006. **Astronomy Education Review**, v. 10, n. 1, p. 10-18, 2011.

BRETONES, P. S.; ORTELAN, G. B. Temas e conteúdos abordados em teses e dissertações sobre educação em astronomia no Brasil. II SNEA, II, 2012, São Paulo. **Atas [...]**. São Paulo, SP, 2012.

BUSSE, B.; BRETONES, P. S. Educação em Astronomia nos Trabalhos dos ENPECs de 1997 a 2011. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, **Atas [...]**. v. 9, 2013.

CARROLL, B. W.; OSTLIE, D. A. **An introduction to modern astrophysics**. 2. ed. San Francisco: Pearson; Addison Wesley, 2007.

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

DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE [DBRC]. Design-Based Research: An emerging paradigm for educational inquiry. **Educational Researcher**, v. 32, n. 1, p. 5-8, 2003.

EASTERDAY, M. W.; LEWIS, D. R.; GERBER, E. M. Design-Based Research process: Problems, phases, and applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE LEARNING SCIENCES, 1, 2014. **Proceedings...** p. 317-324.

FRAKNOI, A. An Introduction. In: FRAKNOI, A (Ed). **The universe at your fingertips: an astronomy activity and resource notebook**. Estados Unidos da América. Project Astro. 1995. Cap. 1, p. 1-4.

GONZAGA, E. P.; VOELZKE, M. R. Análise das concepções astronômicas apresentadas por professores de algumas escolas estaduais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 1-12, 2011.

GUISASOLA, J. *et al.* Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. **Physics Education Research**, v. 13, n. 2, 020139, 2017.

IACHEL, G. O conhecimento prévio de alunos do ensino médio sobre as estrelas. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 12, p. 7-29, 2011.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

KHARCHENKO, N. V.; ROESER, S. “VizieR Online Data Catalog: All-Sky Compiled Catalogue of 2.5 million stars (Kharchenko+ 2009)”, **VizieR Online Data Catalog**, 2009.

LANGHI, R. **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. Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 373-399, 2011.

LEITE, C.; HOSOUME, Y. 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, 1999.

LEITE, C. **Os professores de ciências e suas formas de pensar a astronomia**. 2002. Dissertação (Mestrado em Educação) - Instituto de Física e Faculdade de Educação, USP.

MACHADO, D. I. Estrelas variáveis no contexto educacional: uma proposta envolvendo a observação de cefeidas clássicas no ensino médio. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 28, p. 7-25, 2020.

MATTEI, J. A. *et al.* Hands-On Astrophysics: Variable stars in the math/science lab. In: **Astronomy Education: Current Developments, Future Coordination**. p. 247, 1996.

MATTEI, J. A.; PERCY, J. R. Hands-On Astrophysics: Variable Stars in Math, Science, and Computer Education. In: **Amateur-Professional Partnerships in Astronomy**. p. 296. 2000.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

MÉHEUT, M. Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 605-618, 2004.

MINUTE PHYSICS (26 de agosto de 2014). Why are stars star-shaped? [Vídeo]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VVAKFJ8VVp4&feature=emb_logo> (3m28). Acesso em: 28 out. 2020.

NAPOLEÃO, T. A. J. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio**: Uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis. 2018. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

NUSSBAUM, J. Astronomy teaching: challenges and problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING ASTRONOMY, IVth, 1990, Barcelona. Investigación didáctica en Astronomía: una selección bibliográfica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 3, p. 387-389, 1995.

PERCY, J. R. Variable stars, photoelectric photometry, science education, and the AAVSO. **Experimental Astronomy**, v. 5, n. 1-2, p. 121-128, 1994.

PERCY, J. R.; MATTEI, J. A. Variable Stars in Your Classroom. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**, v. 92, p. 322, 1998.

PROFESSOR DAVE EXPLAINS (24 de agosto de 2018). The Life and Death of Stars: White Dwarfs, Supernovae, Neutron Stars, and Black Holes [Vídeo]. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4xIQGbYur9Q>>. (16m35) Acesso em: 25 out. 2020.

PSILLOS, D. *et al.* **Iterative desing of teaching-learning sequences**. Springer, 2016.

RAGOSTA *et al.* The VMC survey – XXXV. model fitting of LMC Cepheid light curves. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 490, Issue 4, p. 4975-4984, 2019.

RODRIGUES, F. M.; LANGHI, R. As produções científicas nos simpósios nacionais de educação em astronomia: afinal, sobre o que estamos publicando? In: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, V, 2018, Londrina. **Atas** [...].

SCIBRIGHT (12 de outubro de 2019). Why are planets round? [Vídeo]. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0OeJSzp1SGE>> (3m30). Acesso em: 28 out. 2020.

SLATER, S. J. *et al.* iSTAR First Light: Characterizing Astronomy Education Research Dissertations In The iSTAR Database. **Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)**, v. 3, n. 2, p. 125-140, 2016.

SOUZA E MELO, C. A. F. de Concepções Alternativas em Astronomia no Ensino Superior. **Novas Edições Acadêmicas**, março, 2020.

TANVIR N. R.; HENDRY M. A.; WATKINS A.; KANBUR S. M.; BERDNIKOV L. N.; NGEOW C. C. Determination of Cepheid parameters by light-curve template fitting. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 363, Issue 3, p. 749-762, 2005.

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

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

WALL, C. A. A review of research related to astronomy education. **School Science and Mathematics**, v. 73, n. 8, p. 653-669, 1973.

WANG, F.; HANNAFIN, M. J. Design-Based Research and technology-enhanced learning environments. **Educational technology research and development**, v. 53, n. 4, p. 5-23, 2005.

WILSON, R. **Astronomy through the ages: the story of the human attempt to understand the universe**. CRC Press, 2018.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).