

UMA PROPOSTA DE DISCUSSÃO DE CONTROVÉRSIAS HISTÓRICAS E EPISTEMOLÓGICAS ACERCA DA EVOLUÇÃO ESTELAR PARA O ENSINO MÉDIO

A PROPOSAL FOR A DISCUSSION ON HISTORICAL AND EPISTEMOLOGICAL CONTROVERSIES REGARDING STELLAR EVOLUTION FOR HIGH SCHOOL

Bruno Lopes da Costa¹, Flávia Polati², Marcelo Porto Allen³

¹ Licenciatura em Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, brunolopes56@hotmail.com

² Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, flaviapolati@gmail.com

³ Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, profmpallen@gmail.com

Resumo: Neste trabalho, apresentamos uma proposta de atividade que envolve uma discussão sobre as controvérsias históricas e epistemológicas presentes na caracterização dos tipos de estrelas a partir de sua massa e no conceito de buraco negro. A proposta foi estruturada na forma de três momentos, buscando inicialmente problematizar e contextualizar os estudantes da teoria e de todos os fatores que a cercam, questionando a linearidade do método científico e valorizando as diversas controvérsias ligadas a este tema. A atividade foi aplicada para uma turma do Ensino Médio do IFSP Câmpus São Paulo que foi observada por um período antes, e foi pensada, como está aqui descrita, para esta turma, mas pode facilmente ser adaptada para outras realidades.

Palavras-chave: Evolução Estelar; Controvérsias da Natureza da Ciência; História e Filosofia da Ciência.

Abstract: In this research, we present a proposal of activities that involves a discussion about the historical and epistemological controversies that are present in the characterization of the types of stars using the mass and in the concept of black hole. The proposal was structured in the form of three moments, trying to initially problematize and contextualize students of the theory and all the factors that surround it, questioning the linearity of the scientific method and valuing the various controversies related to this topic. The activity was applied to a high school class of IFSP Câmpus São Paulo that was observed for a period before, and thought, as described here, for this class, but can easily be adapted to other realities.

Keywords: Stellar Evolution; Nature of Science Controversy; History and philosophy of science.

INTRODUÇÃO

A história, a filosofia e a sociologia da ciência vêm sendo introduzidas em diversos currículos e documentos oficiais para a educação em ciências, tais como o *American Association for the Advancement of Science 2061 Project*, *British National Curriculum in Science*, e mais recentemente, em 1998, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), no Brasil. Atualmente pode-se dizer que há um consenso na área de pesquisa em ensino de ciências em nível mundial sobre a importância da presença da história e filosofia (HFC) em diversos níveis de ensino.

A inclusão da história, filosofia e sociologia da ciência pode ainda contribuir para apresentar um novo olhar metodológico para os conteúdos curriculares já abordados no ensino, ao explorar também os processos de construção das teorias científicas. Passa-se a defender a necessidade de abordar conteúdos não somente de ciências, mas também **sobre** as ciências, o que se passou a constituir o campo de estudo conhecido como “Natureza da Ciência” (NdC), ou seja, o estudo de aspectos que dizem como as ciências funcionam e são desenvolvidas (FORATO, 2009; MARTINS, 2007).

Além disso, Allchin (2004) argumenta que a omissão de certos detalhes no ensino de história da ciência, apresentando uma pseudohistória ou quasi-história, pode gerar visões distorcidas sobre o papel dos cientistas na sociedade e sobre a própria NdC, mesmo não sendo história falsa. Allchin também diz que o professor de ciências, apesar de não ser historiador, tende a evitar erros históricos assim como os científicos, mas, para isso, ele deve conhecer a história. Isso, então, demonstra a importância dos estudos de caso no ensino de NdC.

A tentativa de esboçar tópicos consensuais sobre a natureza da ciência tem sido objeto de investigação de um grande número de artigos até o início do século XXI, como mostram as revisões bibliográficas de Lederman (1992), Teixeira (2003) e El-Hani (2006). Entretanto, atualmente, filósofos e sociólogos das ciências vêm apontando nas últimas décadas que, devido a particularidades das diversas áreas da ciência, é difícil definir como ela é ou fazer afirmações gerais e normativas a respeito de suas metodologias e implicações. Dessa forma, há diversas críticas que a consideram limitante para o ensino de ciências a proposta de uma lista de aspectos consensuais da NdC (e.g. IRZIK; NOLA, 2010).

Além disso, há uma diferença entre o que é ensinado e aquilo que é aprendido, e dessa forma, resumir o ensino da NdC a frases simples e categóricas pode contribuir para uma visão distorcida dela (BAGDONAS et al., 2015), e contribuir para fomentar visões construtivistas radicais que levem os estudantes a desacreditar da credibilidade da ciência.

Tendo em vista essas controvérsias, é importante levantar que, dada a complexidade destas questões, é bastante arriscado estabelecer uma “concepção correta de ciência” como se ela fosse uma visão “verdadeira”. Assim como se propõe que uma visão dogmática ciência seja evitada, o mesmo se aplica às teorias sobre a natureza da ciência (HENRIQUE, 2011).

Algumas das questões não consensuais da natureza da ciência que estejam em aberto nas discussões filosóficas podem ter grandes potencialidades para ser discutidas no ensino de astronomia em razão deste conhecimento possuir certa especificidade que outros ramos não possuem. Dessa forma, apresentamos neste trabalho uma proposta de discussão das controvérsias epistemológicas e históricas, tratando da natureza da ciência, sobre o conceito de massa e sua importância na caracterização dos tipos de estrelas e buracos negros. Apresentamos alguns resultados do desenvolvimento desta proposta em turmas de 3^o ano do ensino médio de uma escola técnica federal.

UMA PROPOSTA DE DISCUSSÃO SOBRE OS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRELAS E BURACOS NEGROS: “IGNORÂNCIA EM MASSA”

A discussão acerca das controvérsias históricas e epistemológicas envolvendo o conceito de massa e a classificação das estrelas e buracos negros foi estruturada em um plano de aula organizado em três momentos centrais: um introdutório e de contextualização, um de protagonismo dos alunos e um de discussão das teorias que envolvem a importância da massa na evolução estelar, englobando vários fatores de epistemologia da ciência e do contexto social.

Denominamos a proposta estruturada em "Ignorância em Massa" como um trocadilho com a palavra "massa", que pode significar um grande número de pessoas e o assunto "massa no processo de evolução estelar", que é o alvo das controvérsias valorizadas ao longo da discussão proposta.

Primeiro momento: introdução a astronomia e formas de se observar o céu

Essa parte da aula tem duração estimada de 20 minutos, e busca contextualizar os alunos na temática, além de mostrar as dificuldades experimentais e as raízes culturais da astronomia.

Na introdução ressaltamos a importância para o desenvolvimento da sociedade, e como ela foi e é estudada, através de uma ilustração dos equipamentos utilizados ao longo da história para a observação celeste. Mostramos o Stonehenge como exemplo de uso da astronomia na antiguidade, depois seguimos para instrumentos cada vez mais refinados: astrolábio, gnômon e sextante. Depois, mostramos a luneta de Galileu como um marco de uma mudança na forma de se fazer astronomia, e então os equipamentos mais modernos, como telescópios de rádio e o próprio LIGO.

A partir disso, lançamos a ideia de que é possível estudar o céu não só através de observações, mas também de cálculos teóricos. Para exemplificar, falamos sobre as estrelas Sirius A e Sirius B e como se deu a hipótese de que poderia se tratar de um sistema de estrelas, e esse assunto é a gênese da atividade proposta.

Segundo momento: calculando a massa de Sirius A e B, implicações

Essa parte da aula, com duração aproximada de meia hora, tem como objetivo colocar o foco nos alunos e promover discussões sobre a importância da teoria na ciência e que influências ela tem, além de prepará-los para o momento seguinte.

Dividimos a turma em grupos e fornecemos os dados da distância angular entre Sirius A e Sirius B, em segundos de grau ($7,5''$), distância entre a Terra e o centro de massa do sistema, em parsecs ($2,67\text{pc}$), a razão da distância entre cada estrela e o centro de massa ($R_B/R_A = 2$) e o período da órbita (50 anos). Além disso, mostramos a forma particular da Lei de Kepler generalizada (fazendo uma breve discussão sobre sua origem) para um binário de estrelas para que os alunos pudessem calcular as massas. Os dados e a fórmula em questão estão disponíveis no site "Astronomia e Astrofísica" (KEPLER e SARAIVA, 2014), . Para que não seja apenas um processo mecânico de aplicação de fórmula, discutimos as unidades: utilizar parsecs e segundos equivale a utilizar unidades astronômicas e radianos, o

que facilita as contas, pois a constante de Kepler passa a valer 1 e também vale a aproximação $\sin\theta \approx \theta$, sendo θ a distância angular entre as estrelas.

Além disso, perguntamos se esses cálculos poderiam ser feitos antes de observar as duas estrelas ou apenas depois, o que resgata o primeiro momento, além de mostrar que a teoria pode guiar a experimentação e vice versa. Essa discussão é iniciada após os alunos fazerem a conta pode ser estendida até completar o tempo destinado à atividade. No final, mostramos uma foto em escala de Sirius A e Sirius B, com o objetivo de contrastar a diferença de tamanho com a razão entre as massas obtidas. Perguntamos que tipo de estrela é Sírius B (Fig. 1), pergunta a ser respondida até o final da aula.

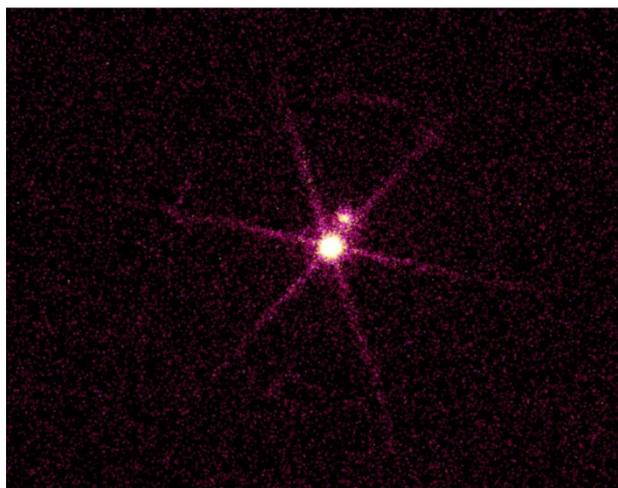


Figura 1: Imagem de raios X emitidos por Sírius A e Sírius B (fonte: NASA)

Terceiro momento: a evolução estelar e teorias contemporâneas

Este momento da aula, com duração aproximada de 40 minutos e maior foco no professor, tem como objetivo mostrar aos alunos a evolução da teoria, enfatizando a controvérsia no conceito de buraco negro e diferentes interpretações, passando por alguns aspectos sociais da época referida e mostrando a repercussão na mídia atual.

Começamos por introduzir a relação entre massa e tamanho de uma anã branca, citando o personagem histórico Subrahmanyan Chandrasekhar, que foi homenageado com um *doodle* do Google no seu 107º aniversário, o que serve para aproximar o assunto dos alunos. Aqui, damos ênfase que ele tinha apenas 20 anos quando propôs o valor de massa crítica de 1,4 massas solares devido à pressão de degenerescência relativística (neste caso, damos argumentos de que o colapso gravitacional muda a estrutura atômica e a pressão mencionada é devida aos elétrons), e que já havia uma teoria para isso antes dele propor esse número que não levava em conta a relatividade. Pode-se também mostrar a relação entre a massa de uma anã branca e a de sua progenitora, que é explorado por Kepler e Saraiva (2014), como um adicional.

Nesse momento, questionamos o que acontece quando uma estrela que, após colapsar e perder massa, ainda tem mais de 1,4 massas solares, e introduzimos o conceito de buraco negro, que é “aquilo que não é explicado pela teoria”, ou, para Chandrasekhar, um objeto de densidade infinita e extensão infinitesimal. Mostramos a controvérsia que isso gerou na comunidade científica e a

posição contrária de Eddington. Na conferência de 1935 da Royal Astronomical Society, ele disse:

[...] eu não sei se vou sair dessa conferência vivo, mas não existe essa coisa de pressão de degenerescência relativística [...] várias coisas poderiam acontecer para salvar a estrela, mas eu quero mais proteção que isso, eu acho que deveria haver uma lei da natureza para impedir que uma estrela se comporte desta maneira absurda.

A seguir, introduzimos o conceito de estrela de nêutrons de maneira análoga à anã branca, mas dizendo que a estrutura do núcleo atômico é que se desfaz, e os elétrons são ligados aos prótons devido à alta energia do colapso gravitacional, aumentando a quantidade de nêutrons.

O caso histórico escolhido para esse trecho da aula foi o Nobel pela primeira observação de pulsares, que ocorreu antes mesmo da sua proposição teórica (aqui rompendo com a regularidade do método científico, já que no outro caso foi o contrário).

Aqui, mostra-se que o Nobel foi dado a A. Hewish por um trabalho desenvolvido por sua orientanda de doutorado, S.J. Bell (HEWISH et al., 1968) em que eles detectaram ondas de rádio de período extremamente preciso, que foi publicado na Nature. Citamos, também, que isso é sempre citado como exemplo de machismo na ciência, principalmente entre as feministas (e.g. Tribuna Feminista, 2016), que atribuem o fato da S.J. Bell não ter ganhado o Nobel a ela ser mulher. Podemos contrastar isso citando que, mesmo na época, muitas pessoas defenderam a entrega do prêmio à Bell, e que ela mesma diz que não recebeu o Nobel por ser apenas uma estudante, e que o fato de ela não ter ganhado o prêmio serviu para impulsionar sua carreira, conforme uma entrevista que ela deu recentemente (BBC, 2017), que pode ser mostrada diretamente aos alunos.

Prosseguimos com a aula dizendo que as interpretações para as ondas de rádio oriundas de pulsares (mas não se sabia disso na época) foram as mais variadas, já que, no artigo de Bell, ela diz que não pode ter vindo de nenhum lugar da Terra, sendo até visto como sinais alienígenas. Também citamos o uso do telescópio de rádio que foi mostrado no início da aula. Depois, introduzimos as ideias mais modernas e o conceito de pulsar: estrela de nêutrons com campo magnético não alinhado com o eixo de rotação.

Depois disso, enfatizamos as incertezas nas observações astronômicas ao mostrar um gráfico com a massa de vários pulsares já observados e sua barra de erro (KEPLER e SARAIVA, 2014), e conflitamos os alunos dizendo que alguns têm massa inferior ao limite de Chandrasekhar para anãs brancas, o que pode confundir na atividade (e esse é o objetivo aqui), e citamos a explosão de supernova que gera uma estrela de nêutrons, em que há mais perda de massa. Dizemos que, observacionalmente, o que difere uma estrela de nêutrons de uma anã branca de mesma massa é o tipo de radiação emitida.

Para encerrar o tema da evolução estelar, mostramos que há outros modelos para estrelas mais massivas, como a “estrela estranha”, em que um dos inúmeros modelos possíveis para ela é o de Ivanenko e Kurdgelaidze (1970), que é difícil de ser observada pelos métodos atuais (aqui, a teoria precede a observação), pois está em um estado em que o quark de sabor *strange* é estável, e isso afeta tudo o que toca uma estrela que obedeça este modelo, se ela existir, então ela emite apenas radiação de corpo negro. Então, retomamos a definição de buraco negro,

mas agora utilizamos a dada por Schwarzschild, e citamos a velocidade de escape acima da velocidade da luz e a influência da teoria da relatividade, conforme é mostrado no *site* “*knowing the universe and its secrets*”, mas sem citar a rotação, e mostramos que, nessa teoria, dada uma massa, há um raio máximo para um buraco negro. Por último, mostramos um gráfico com o limite de massa de uma estrela de nêutrons que definiria o buraco negro, que se encontra no mesmo *site*, mas dissemos que esse limite pode variar se houver outros tipos de estrela.

Como último tema, escolhemos a detecção de ondas gravitacionais por ser atual. Primeiramente, falamos de ordem de grandeza (uma barra de um metro deforma de um tamanho menor que o raio de um próton) e dificuldades de medição (o instrumento de medida também deforma), e então explicamos o funcionamento do LIGO: dois braços de 4km em que é lançado e refletido um laser, que depois é re combinado formando um padrão de interferência. Após isso, citamos a primeira detecção de “colisão de dois buracos negros”, e questionamos os alunos: “sabemos apenas a massa, como podemos saber que é um buraco negro?”

Então, mostramos detecção mais recente de ondas gravitacionais, divulgada em 16/10/2017, a primeira em que telescópios observaram a radiação dos objetos que geraram essas ondas, e detectaram algo que corresponde ao modelo de estrela de nêutron. Esse caso foi acompanhado ao vivo por alguns sites (e.g. Science Alert, 2017), que reproduziram *tweets* oficiais do LIGO. Mostramos as implicações disso no modelo que temos, como ondas gravitacionais se propagarem na velocidade da luz e a produção de metais pesados analisada por espectrometria.

Por último, podemos mostrar uma reportagem que foi ao ar na TV aberta sobre o mesmo caso no mesmo dia da divulgação do LIGO (Jornal Nacional, 2017), que mostrou a última observação. Aqui, ela foi colocada como comprovação da teoria de Einstein e experimento crucial, apenas como recurso para aumentar a audiência, além deles chamarem atenção para a quantidade de ouro produzida de maneira sensacionalista.

ALGUNS RESULTADOS

A aula foi aplicada em duas turmas de 3º ano do Ensino Médio integrado ao Técnico em Informática, do IFSP - Câmpus São Paulo. A atividade foi desenvolvida em uma aula dupla, de aproximadamente 1h30min no total. A seguir, apresentamos, por limitações de espaço, apenas algumas impressões dos processos de ensino e aprendizagem desenvolvidos durante a aplicação das atividades.

A impressão aparente dos alunos foi que ficaram bem entusiasmados com a temática por se tratar de uma atividade nova e incomum. Nas duas turmas, todos os alunos se envolveram amplamente com a discussão, provavelmente por terem sido avisados previamente da existência de uma “atividade para nota”. No entanto, durante toda a apresentação da regência, os alunos prestaram bastante atenção e se demonstraram interessados pelo tema, que para eles era bastante inusitado.

Durante a aplicação da atividade de determinar a massa de Sírius A e B, os alunos se dedicaram bastante, em grupos definidos pela própria disposição das bancadas. A turma par (que realizou a atividade primeiro) foi mais rápida e a turma ímpar gerou mais debate em dois dos três grupos. Isso determinou a duração da aula, que foi de uma hora para a turma par e 1h20min para a turma ímpar.

Apesar disso, algumas alunas da turma ímpar, que faziam um grupo, não pareciam tão interessadas, mas queriam realizar a atividade e pediram ajuda para compreender os cálculos. Foram auxiliadas individualmente e aparentemente entenderam o processo mecânico de se fazer a conta, apenas.

Uma reação interessante de um aluno da turma par, quando dissemos “e vocês perceberam que a massa de B é metade da massa de A”, foi dizer “mas vocês que disseram isso para a gente”, ao apontar para a expressão que relacionava as massas, na lousa, o que demonstrou uma boa capacidade de atribuir significado físico às expressões matemáticas.

No terceiro momento da aula, a frase do Eddington causou certa confusão nos alunos de ambas as partes da turma, que passaram a prestar mais atenção, com exceção de um dos grupos da turma ímpar, o mesmo que apresentou dificuldade na atividade do momento anterior.

Na controvérsia do Nobel dos pulsares, é interessante notar que boa parte dos alunos já esperava que o prêmio tivesse sido dado a Hewish quando questionados, o que mostra que os alunos sabem que, na história da ciência, é comum dar crédito a homens, e identificaram isso como um problema.

Quando citamos a primeira detecção de “colisão de dois buracos negros”, e questionamos os alunos: “sabemos apenas a massa, como podemos saber que é um buraco negro?”, eles apenas fizeram silêncio nesse momento, prestando atenção. Esse instante é crucial para um dos objetivos da aula que é mostrar que a ciência não é feita de verdades absolutas, pois já havíamos falado de outros modelos que poderiam contradizer a teoria vigente. No entanto, deixamos os alunos tirarem suas próprias conclusões e pudemos checar, nas respostas dadas na atividade do segundo momento, que os alunos tinham tendência a dar uma resposta objetiva para as situações. Poderíamos ter trabalhado melhor esse ponto.

Finalmente, uma coisa importante foi que os alunos perceberam que o experimento LIGO não foi um experimento crucial para comprovar a relatividade geral do Einstein e que a notícia dada pelo Jornal Nacional foi montada de forma sensacionalista. Isso foi importante para deixar eles atentos a respeito do perigo do senso comum composto por manipulação midiática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão aberta sobre aspectos controversos da natureza da ciência pode contribuir para a construção de visões mais críticas dos estudantes acerca tanto dos conhecimentos científicos que a controvérsia envolve, como da maneira como tal conhecimento foi construído e consolidado ao longo da história.

Durante a aula, principalmente no terceiro momento, condensamos uma grande quantidade de informações em um curto período de tempo, o que foi intencional devido ao conhecimento prévio sobre a turma, que deixa a aula fluir rapidamente, mas pode-se fazer alguns recortes para adequar essa aula a outras realidades facilmente. Consideramos como prioridade manter os diferentes modelos de evolução estelar e a controvérsia acerca do conceito de buraco negro.

A aula desenvolvida buscou ainda encorajar os estudantes a não dar uma resposta final às questões propostas em alguns momentos, diferente do que é comumente feito nas aulas de física. Essa ferramenta pode cativar os alunos, mas

deve ser inserida com cuidado no contexto da turma, evidência disso é a persistência dos alunos em querer dar uma resposta objetiva à questão da evolução estelar, mesmo sem dados suficientes para tal.

Por fim, ressaltamos que, ao tratar das controvérsias históricas e epistemológicas da evolução estelar, buscamos evidenciar como a ciência é provisória e assim pode se alterar nos diferentes períodos históricos, como é o caso do momento em que citamos a entrevista da J. Bell no plano de aula. Essa entrevista é de uma data posterior à aplicação no IFSP e acrescenta um conteúdo rico que é diretamente ligado ao objetivo principal da aula.

REFERÊNCIAS

1035 January 11 meeting of the Royal Astronomical Society. **The Observatory**, v.58, 1935, p.33-41. Disponível em <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1935Obs....58...33.>>. Acesso em 22/10/2017

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, 13 (3), p.179-195, 2004.

BAGDONAS, A., ZANETIC, J., GURGEL, I. **Controvérsias sobre a Natureza da Ciência como enfoque curricular para o ensino de física: o ensino de História da Cosmologia por meio de um jogo didático**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Instituto de Física, São Paulo, 2015.

FORATO, T. C. de M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Google Doodles. **S. Chandrasekhar's 107th Birthday**. Disponível em <<https://www.google.com/doodles/s-chandrasekhars-107th-birthday>>. Acesso em 20/10/2017.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo. Instituto de Física, São Paulo – SP.

HEWISH, A., BELL, S. J., PILKINGTON, J. D. H., SCOTT, P. F., COLLINS, R. A. Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. **Nature**, v.217, 1968, p.709-713.

HORGAN, J. Profile: Subrahanyan Chandrasekhar – Confronting the Final Limit. **Scientific American**, v. 270, 1994, p. 32-33. doi: 10.1038/scientificamerican0394-32

IRZIK, G., NOLAN, R. **A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education**. Springer Science+Business Media B.V. 2010, p. 591-607.

IVANENKO, D., KURDGELAI DZE, D. F. Remarks on Quark Stars. **Lettere Nuovo Cimento** (1969-1970), v. 2, n. 1, p. 13-16, 1969.

Jocelyn Bell Burnell doesn't mind Nobel overlook – BBC News. Disponível em <<http://www.bbc.com/news/av/science-environment-42165491/jocelyn-bell-burnell-doesn-t-mind-nobel-overlook>>.

Jocelyn Bell la mujer que descubrió los Pulsares – TribunaFeminista. Disponível em <<http://www.tribunafeminista.org/2016/07/jocelyn-bell-la-mujer-que-descubrio-los-pulsares/>>.

Jornal Nacional (16/10/2017). Astrônomos observam um dos eventos mais violentos do universo. Disponível em <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/10/astronomos-observam-um-dos-eventos-mais-violentos-do-universo.html>>. Acesso em 20/10/2017.

KEPLER, S. O., SARAIVA, M. S. O. **Astronomia e Astrofísica**. Disponível em <<http://astro.if.ufrgs.br/>>. Acesso em 20/10/2017.

Knowing the Universe and its Secrets. The Mystery of Black Holes. Disponível em <http://nrumiano.free.fr/Estars/b_holes.html>. Acesso em 22/10/2017.

LEDERMAN, N. G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

Science Alert. Live Blog: The Huge Gravitational Wave Discovery We've Been Waiting For Is Here. Disponível em <<https://www.sciencealert.com/ligo-gravitational-waves-neutron-stars-space-physics-news-october-2017>>.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.24, n.1, p.112-131, 2007.