

PROBLEMATIZANDO A NOÇÃO DE PROVA COM BASE EM ESTUDOS DE HISTÓRIA DA COSMOLOGIA E NATUREZA DA CIÊNCIA

Problematizing the notion of proof based on studies about history of cosmology and nature of science

Alexandre Bagdonas [alexandre.bagdonas@ufla.br]

Departamento de Educação em Ciências Físicas e Matemática

Universidade Federal de Lavras

Caixa Postal 3037, CEP 37200-900, Lavras, MG, Brasil

Antonio Marcelo Martins Maciel [antoniom@ufla.br]

Departamento de Educação em Ciências Físicas e Matemática

Universidade Federal de Lavras

Caixa Postal 3037, CEP 37200-900, Lavras, MG, Brasil

Cibelle Celestino Silva [cibelle@ifsc.usp.br]

Instituto de Física de São Carlos

Universidade de São Paulo

Avenida Trabalhador São-carlense, nº 400, São Carlos, São Paulo, Brasil

Maria Emilia Faria Seabra [maria.seabra@educacao.mg.gov.br]

Escola Estadual Padre José Espíndola

Secretaria do Estado de Minas Gerais

Rua Olinto Fonseca, nº 422, Pimenta, Minas Gerais, Brasil

Resumo

Pesquisas sobre visões de natureza da ciência (NdC) de alunos e professores da educação básica têm identificado, há décadas, uma predominância de visões consideradas “inadequadas”, “deformadas” ou “pouco informadas”. Boa parte dessas concepções estão relacionadas a uma confiança excessiva na autoridade da ciência, supervalorizando o papel da experimentação como forma de supostamente provar que as teorias científicas seriam verdadeiras. Essa questão se fortaleceu, na última década, como um dos desafios mais urgentes para a pesquisa em educação científica, em função do aumento do negacionismo científico, que envolve um questionamento também ingênuo da legitimidade de pesquisas científicas. Com base em estudos sobre a história da cosmologia do século XX, particularmente na controvérsia entre a teoria do Big Bang e do universo em Estado Estacionário, argumentamos que esse episódio tem potencial para promover discussões explícitas sobre o conceito de provas na ciência, e, portanto, de contribuir para a problematização de visões científicas e negacionistas na formação de professores. Esta pesquisa reforça empiricamente o argumento de que uma abordagem contextual de temas científicos, pautada na história da ciência contribui com a educação científica visando uma melhor compreensão da dinâmica científica.

Palavras-Chave: Natureza da ciência; História e filosofia da ciência; Provas científicas; Educação em astronomia; Ensino de ciências; Negacionismo científico.

Abstract

Research on views of the nature of science (NoS) among students and teachers in basic education has identified, for decades, a predominance of views considered "inadequate," "distorted," or "underinformed." Much of these conceptions are related to an excessive trust in the authority of science, overemphasizing the role of experimentation to prove that scientific theories are supposedly true. This issue has strengthened in the last decade as one of the most urgent challenges for science education research due to the rise of scientific denialism, which also involves a naive questioning of the legitimacy of scientific research. Based on studies of the history of cosmology in the 20th century, particularly in the controversy between the Big Bang theory and the Steady State universe, we argue that this episode has the potential to promote explicit

discussions about the concept of evidence in science and, therefore, to contribute to problematizing scientific and denialist views in teacher education. The present research empirically reinforces the argument that a contextual approach to scientific topics, based on the history of science, contributes to science education aiming for a better understanding of scientific dynamics.

Keywords: Nature of science; History and philosophy of science; Scientific proofs; Astronomy education; Science education; Science denialism.

INTRODUÇÃO

Antes da popularização da internet, o discurso sobre a eficácia “cientificamente comprovada” de produtos como pastas de dente e aparelhos para ginástica já aparecia frequentemente em propagandas, o que era atribuído a uma confiança excessiva na ciência, que tem sido problematizada por educadores há muito tempo. Hoje em dia, fomos para o extremo oposto, do relativismo exagerado, como o presente em setores da sociedade que negam eficácia das vacinas, mudanças climáticas e outras questões envolvendo temas científicos. Com isso, debater visões sobre a NdC continua sendo um dos desafios mais urgentes para a educação científica (Bagdonas, 2020; Pivaro & Giroto, 2020; Pereira & Gurgel, 2020; Silva & Videira, 2020).

Uma das formas de se discutir visões ingênuas sobre a ciência, promovendo uma confiança informada e crítica na ciência, que evita extremos como confiança excessiva, cientificista e tecnocrática, e, por outro lado, o relativismo extremo, é o uso de episódios históricos com vistas à discussão da NdC1 (Matthews, 1992; McComas, Almazroa & Clough, 1998; Auler & Delizoicov, 2001; Martins, 2006; Lederman 2007; Vázquez, Manassero, Acevedo-Díaz, & Acevedo-Romero, 2007; Gama, 2011; Bagdonas & Silva, 2013; Bagdonas, Zanetic & Gurgel, 2014; Hodson, 2014; Rozentalski, 2018).

O uso do termo “pós-verdade” em discussões sobre ciência consolidou-se com as possibilidades trazidas pelas novas tecnologias de interação e manifestação de discursos públicos sobre a ciência, e principalmente com o uso político do questionamento da ciência e propagação de notícias, narrativas e movimentos que se apoiam em teorias científicas falsas, como o terraplanismo e o movimento antivacina. Também de caráter polissêmica, “pós-verdade *diz respeito às circunstâncias nas quais as crenças e as convicções pessoais ou de um grupo se sobrepõem e se tornam mais importantes do que os fatos objetivos*” (McIntyre, 2018, p. 5). Nesse sentido, o significado de “pós-verdade” é algo além do que simplesmente uma “mentira”. Isso porque a pós-verdade tem relações profundas com a própria forma de enxergar e entender o mundo, sendo influenciada por convicções pessoais que podem ter raízes filosóficas, políticas ou religiosas. Quando tratamos de uma simples “mentira”, pressupomos que há um entendimento sobre a veracidade de alguma situação e essa factualidade é subvertida conscientemente. Pós-verdade é um fenômeno mais complexo, pois geralmente não há a noção de que uma informação é enganosa. As interpretações são intimamente relacionadas com visões de mundo, o que torna o trabalho de esclarecimento mais difícil do que simplesmente “desmascarar uma mentira”.

Em especial durante o período da pandemia de COVID-19, o uso do termo “cientificamente comprovado” esteve muito presente no debate midiático sobre o enfrentamento à pandemia e suas consequências políticas. A partir de uma etnografia virtual, investigando posts no twitter de usuários ligados ao presidente Jair Bolsonaro e seus seguidores durante a pandemia, Pivaro e Giroto (2022) encontraram defesas como a de que não haveria provas de que pessoas vacinadas estariam livres da Covid, e outros exemplos de visões problemáticas sobre a natureza da ciência, como uso de estatísticas, gráficos e diversos números apresentados sem contexto, alegando com isso a comprovação da eficácia do tratamento precoce.

A noção de que o conhecimento científico é provado com uso de experimentos, ou testado pelo chamado “método científico” tem incomodado os pesquisadores da área de ensino de ciências há muitas décadas. Casos emblemáticos, como as disputas envolvendo afirmações da indústria do tabaco, de que não haveria “provas” de que fumar causa câncer, ou de que não foi comprovado que existe influência humana no aquecimento global, são temas que motivaram pesquisas diversas envolvendo natureza da ciência em vertentes da educação em ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA), com base em estudos de história, filosofia e sociologia da ciência (HFSC) e mais recentemente estudos no campo de questões sócio-científicas (Auler & Delizoicov, 2001; Santos & Mortimer, 2000; Martins, 2006; Martins, 2015; Rozentalski, 2018; Forato, Carneiro, & Ferreira, 2023).

Neste texto, não intencionamos desmerecer a autoridade científica (entendendo por autoridade o reconhecimento público do valor de seu discurso). A intenção aqui é a de defender, com preocupações educacionais, a problematização dessa autoridade (Gama, 2011) tendo o intuito, inclusive, de que esta não

venha a dar lugar a autoritarismos, tanto por parte dos defensores da ciência com posturas científicas quanto de negacionistas.

INVESTIGAÇÕES DE CONCEPÇÕES DE NATUREZA DA CIÊNCIA

Compreender a ciência como uma construção humana, com metodologias próprias, que possui limitações e potencialidades, indissociável de questões sociais, habilita os indivíduos a se posicionarem criticamente em assuntos como os postos pela recente pandemia; a tomar atitudes cidadãs, responsáveis, informadas; a discernir conhecimento seguro de especulação, opinião e charlatanismo (Matthews, 1992, 1994; Martins, 1990, 2006; Martins, Silva, & Prestes, 2014; Sotério, 2021). Esse entendimento contempla o que é comumente denominado por natureza da ciência (NdC), termo polissêmico típico da área de ensino de ciências (Bejarano, Aduriz-Bravo, & Bonfim, 2019).

Desde a década de 1980 ideias sobre NdC aparecem de modo significativo na literatura científica (Hodson, 1985; Matthews, 1989; Zanetic, 1989), aperfeiçoadas e expandidas por trabalhos posteriores. Um dos trabalhos mais famosos é o de McComas, Almazroa e Clough (1998), no qual há a defesa de uma lista consensual do que seriam aspectos da NdC. Atualmente essa visão que considera uma lista de aspectos consensuais a serem ensinados foi superada, sendo que novos trabalhos discutem a NdC sob diversas perspectivas. Para mencionar alguns, podemos citar a noção de “campos teóricos” (Adúriz-Bravo, Izquierdo, & Estany, 2002), “semelhança familiar” (Irzik & Nola, 2011) e “temas e questões” (Martins, 2015).

Pesquisas sobre concepções de NdC na educação básica e formação de professores têm encontrado um predomínio de visões consideradas “deformadas” ou “inadequadas” (Gil-Pérez, Montoro, Alís, Cachapuz, & Praia, 2001; Vázquez *et al.* 2007; Azevedo & Scarpa, 2017; Rozentalski, 2018; Diniz & Júnior, 2019). Porém, os autores destacam que, em geral, mesmo quando as propostas curriculares trazem visões adequadas da NdC, e os professores também tenham visões adequadas, não há garantia de que as visões inadequadas dos estudantes sejam alteradas. Em outras palavras, a concepção adequada dos professores sobre a NdC é uma condição necessária, mas não suficiente para que seus alunos tenham concepções adequadas. Além disso, se destaca que há maior chance de alteração de concepções quando as abordagens sobre a natureza da ciência são feitas de forma explícita, e não implícita (Lederman, 1992, 2007; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Abd-El-Khalick, 2012; Rozentalski, 2018).

Para investigar concepções de NdC alguns dos instrumentos utilizados são questionários, atividades escritas, entrevistas e observações em sala de aula. Por sua praticidade e facilidade de aplicação para muitos estudantes, os questionários têm sido muito utilizados. Questionários podem ser abertos, com questões dissertativas, ou fechados, com alternativas ou do tipo Likert, em que se investiga o grau de concordância com afirmações. Há também instrumentos mistos, que combinam essas possibilidades. Uma prática comum para se aumentar a confiabilidade de tais instrumentos é sua avaliação por outros pesquisadores, num processo de validação externa. Por outro lado, os pesquisadores reconhecem que questionários têm diversas limitações, por darem menos liberdade de expressão aos estudantes, por ser muito difícil lidar com significados sutis e com diversas interpretações dos termos de NdC. (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002; Hodson, 2014; Azevedo & Scarpa, 2017; Rozentalski, 2018; Diniz & Júnior, 2019).

Lederman *et al.* (2002) criaram métodos para avaliar as concepções de professores e alunos utilizando o questionário VNOS (Views of Nature of Science Questionnaire), que foi um dos mais utilizados no Brasil para avaliar as concepções de NdC de professores e estudantes até a primeira década do século XXI (Teixeira, Freire Jr. & El-Hani, 2009; Durbano & Prestes, 2013). Nos anos seguintes à sua popularização, questionários baseados no VNOS foram alvo de diversas críticas por, entre outras coisas, se apoiarem na chamada “visão consensual da ciência” (Irzik & Nola, 2011; Allchin, 2011; Rudge & Howe, 2013; Martins, 2015; Rozentalski, 2018).

Dentre os principais problemas apontados, estão:

1. O uso de enunciados declarativos sobre a ciência, do tipo “não existe um método científico rígido e algorítmico”, já que estes podem ser simplesmente memorizados sem compreensão efetiva.
2. Uso de questões descontextualizadas que dificulta a compreensão pela abstração das questões de NdC em situações concretas.
3. Dificuldades de escrita e expressão dos alunos que se refletem em respostas breves podendo ser interpretadas como visões inadequadas.
4. Em geral não se entrevistam todos os estudantes que respondem ao questionário, o que limita a

confiabilidade dos resultados obtidos.

O uso de enunciados declarativos sobre a ciência, curtos e generalistas, aumenta o risco de se induzir a mera memorização das respostas esperadas dos alunos, sem que de fato haja compreensão de seus significados em contextos específicos. Frases como “não é possível provar teorias com base em experimentos” podem ser assimiladas pelos estudantes e respondidas em questionários fechados como respostas adequadas, mas isso não corresponde necessariamente a um enriquecimento real de suas concepções de NdC.

Entretanto, como já discutido, com base nos resultados de pesquisas de concepções sobre NdC, sabemos que intervenções didáticas pontuais dificilmente conseguem alterações significativas das concepções dos alunos. Além disso, mesmo que isso fosse possível, em um cenário utópico em que seriam possíveis intervenções didáticas duradouras, planejadas por professores com estabilidade e tempo de dedicação à pesquisa, ainda haveria todas as complicações envolvendo as limitações das investigações sobre visões acerca da NdC. Assim, talvez seja possível apenas estremecer as concepções enraizadas sobre a NdC.

Neste artigo, cientes dessas limitações, investigamos concepções sobre ciência de licenciandos e alunos do ensino médio, com base em estudos sobre história da cosmologia do século XX¹. Vale ressaltar que as visões de NdC dos estudantes, assim como as de cientistas, em relação à cosmologia, uma área da ciência relativamente recente, podem ser diferentes das visões em relação a outras áreas do conhecimento mais estabelecidas, como, por exemplo, mecânica ou bioquímica. Os instrumentos de pesquisa utilizados foram questionários e atividades escritas realizadas em sala de aula, assim como notas de campo dos pesquisadores, que serão detalhados na seção 5. Dentre os diversos aspectos da NdC, este artigo enfatiza a questão das provas na ciência, discutindo a questão “a teoria do Big Bang foi provada?”

PROVAS NA CIÊNCIA

Uma visão do senso comum sobre as provas na ciência, é a de que testes empíricos podem provar teorias (Chalmers, 1995; Fourez 1995). Ainda que filósofos positivistas como o francês Auguste Comte (1798-1857), não tenham defendido visões como essa, é comum, em especial na pesquisa em ensino de ciências, que se classifique esse tipo de postura como oriunda de uma tradição “positivista” (Vázquez *et al.* 2007; Diniz & Júnior, 2019). Para Comte, o método seria um aspecto central do conhecimento positivo, em oposição a doutrinas religiosas, superstições e metafísicas. Ele via a história humana marcada por três etapas em evolução: 1. a teológica ou fictícia; 2. a metafísica ou abstrata 3. a científica, ou positiva. Comte defendia a importância da observação na ciência, mas não era o “positivista ingênuo” que conhecemos a partir da leitura dos que comentaram seus trabalhos no século XX. Era um pensador sofisticado que reconhecia que teorias estruturam as observações científicas, e vice-versa (Oreskes, 2019).

No século XX, filósofos da ciência como Karl Popper (1902-1994), muito influente na área de pesquisa em HFSC no ensino, criticaram com base em argumentos lógicos a noção de que seria possível provar, ou até mesmo corroborar teorias a partir de testes experimentais (Silveira, 1996). A partir da segunda metade do século XX, filósofos pós-positivistas, como Gaston Bachelard (1884-1962), Thomas Kuhn (1922-1996), Imre Lakatos (1922-1974) e Paul Feyerabend (1924-1994) consolidaram essa visão com argumentos oriundos de estudos baseados na história da ciência, tais como o reconhecimento de que as interpretações das observações científicas são influenciadas não só por teorias científicas, por elementos mas também pela linguagem, cultura e outros elementos políticos e sociais do contexto em que a comunidade científica está inserida (Chalmers, 1995; Fourez, 1995; Oreskes, 2019).

Com isso, na educação científica consolidou-se uma visão sobre a natureza da ciência que considera ingênua, ou inadequada a visão de que as teorias científicas são provadas por testes experimentais. Em especial, tem sido problematizada a noção de existência de um método científico rígido, algorítmico, em que a experimentação permitiria verificar enunciados teóricos, demonstrando a impossibilidade lógica de se provar a veracidade de teorias. Mesmo realizando muitas observações ou experimentos que confirmem previsões de uma teoria, nunca poderemos garantir que essa teoria, quando investigada com base em novos dados, não seja refutada por novos testes. Nesse sentido, concordamos com Videira que sintetiza a crítica à existência de um método científico da seguinte forma:

1 Outras revisões que contemplam cosmologias alternativas ao Big Bang com potencial para a educação científica são discutidas por Neves (2000) e Bagdonas (2020).

“Parece ser um fato incontestável que, a partir de fins da década de 1950, com as críticas que alguns dos mais famosos representantes da chamada Nova Filosofia da Ciência (Norwood Russell Hanson, Stephen Toulmin, Thomas Kuhn, Imre Lakatos e o próprio Feyerabend) dirigiram à concepção filosófica do Positivismo Lógico, quebrou-se definitivamente o encanto que a ideia de método científico exercia até então sobre cientistas, filósofos e mesmo sobre leigos. Durante 40 anos aproximadamente, a posição em favor da existência de um método científico, uma das pedras fundamentais sobre a qual se assentavam os diferentes positivismos (mas não apenas eles), entre os quais o Positivismo Lógico, foi dura e continuamente submetida a críticas de diferentes matizes. O movimento de oposição ao método científico foi tão intenso, que defendê-lo passou a representar uma posição conservadora e antiquada.” (Videira, 2006a, p. 26).

Em contraponto, com base em estudos de filósofos pós-positivistas, tem-se tornado predominante na pesquisa em ensino de ciências uma visão de que as provas científicas são influenciadas por fatores psicológicos e sociológicos (Chalmers, 1995). Para Fourez (1995, p.48), existe “anterior a todo objeto uma estrutura organizada no mundo na qual se inserem os objetos”. A construção social da realidade envolve elementos da linguagem e da cultura, que levam construção dos objetos em um processo de diálogo entre sujeitos. O que dá ao objeto seu caráter objetivo é justamente a sua construção por sujeitos. No caso da ciência, os elementos específicos de cada disciplina, o chamado “paradigma” guiam esse processo de construção social da objetividade.

“É nesse âmbito que se pode reinterpretar o que é apresentado nos manuais de ciência e em muitos artigos como “provas científicas”. Trata-se geralmente de releituras do mundo através da teoria, que tendem a torná-la crível. Assim se eu quiser “provar” que vejo verdadeiramente uma lâmpada sobre a minha mesa, só conseguirei redizer todos os elementos de interpretação que me levaram a falar de uma lâmpada. Efetuo apenas uma releitura de minha visão do mundo. Do mesmo modo, se quiser “provar” minha teoria do elétron não farei mais reler o mundo por meio desta teoria” (Fourez, 1995, pp. 57-58).

Tendo como base essas correntes filosóficas, pesquisadores da área de educação científica têm buscado problematizar, por um lado, visões dogmáticas e absolutistas, de que a ciência chegaria à verdade utilizando experimentos com resultados inequívocos. Por outro lado, se critica visões relativistas que questionam radicalmente a autoridade científica e equiparam conhecimento científico a opiniões. Como forma de evitar esses extremos, pesquisas que trazem contribuições da HFSC para a educação tendem a defender posturas moderadas diante de aspectos controversos, como as tensões entre realismo e antirrealismo, e entre racionalismo e relativismo (Bagdonas & Silva, 2013), além de reconhecer a influência de fatores políticos, sociais e culturais na construção de consensos científicos

A partir de estudos de caso sobre controvérsias contemporâneas, por exemplo sobre mudanças climáticas e pesquisas sobre os riscos do tabaco para o desenvolvimento de câncer, Naomi Oreskes argumenta que a força da ciência está exatamente em sua natureza social. Ela defende que a diversidade do debate promove força epistemológica, uma vez que *“quanto maior a diversidade e abertura de uma comunidade e mais robustos forem seus protocolos para apoiar debates abertos e livres, maior o grau de objetividade.”* (Oreskes, 2019, p.53) A socialização do conhecimento acontece, por exemplo, a partir de conferências e publicação de artigos em revistas especializadas, favorecendo a crítica construtiva. Assim, a comunidade científica busca superar vieses subjetivos de cientistas individuais ou de grupos pouco diversos, características que se alinham à visão de ciência de alguns dos filósofos da ciência pós-positivistas citados acima, como Stephen Toulmin e Paul Feyerabend. Isso contraria a visão do senso comum de ciência, segundo a qual o aumento da diversidade na ciência poderia ser problemático, dificultando a obtenção de provas na ciência, porque aumentaria o risco de interpretações enviesadas e não neutras (Bagdonas & Silva Neto, 2023).

Considerando que as alterações de concepções ingênuas são mais eficazes em abordagens explícitas sobre a natureza da ciência, optamos por desenvolver o debate sobre provas na ciência tomando como objeto de estudo a cosmologia científica.

O BIG BANG FOI PROVADO?

Para ilustrar o conceito de prova na ciência, nossa escolha de episódio histórico foi a teoria do Big Bang, desde as primeiras propostas que levaram a sua criação durante a primeira metade do século XX, até sua consolidação como teoria hegemônica a partir da década de 1960.

A cosmologia é uma ciência cujos métodos e estratégias de investigação mudaram muito ao longo da história. Desde a Antiguidade há tentativas para se entender a origem e evolução do universo, mas a cosmologia foi considerada uma ciência no sentido contemporâneo somente no século XX. Até a primeira metade do século XX, até mesmo os cientistas que atuavam no campo da cosmologia a viam como uma ciência especial, em que o conceito de “prova científica” é complexo, distinto de outras áreas da ciência, em que há maior facilidade de realizar testes empíricos em laboratório (Martins, 1994; Kragh, 1996).

Por exemplo, o filósofo positivista Auguste Comte (1798-1857) propôs, na primeira metade do século XIX, que os fenômenos astrofísicos e cosmológicos jamais poderiam ser investigados cientificamente. Em sua visão, seria impossível obter dados empíricos sobre os corpos celestes. Ainda que Comte tenha dirigido suas críticas à possibilidade de se conhecer a composição físico-química dos astros celestes, sua opinião certamente englobava a cosmologia (Videira, 2006b).

Poucos anos depois, o estudo da composição química das estrelas a partir da espectroscopia permitiu a superação da crítica de Comte. A astrofísica se desenvolveu bastante, de forma que no início do século XX já era considerada uma ciência bem estabelecida (Videira & Ribeiro 2004). Já a cosmologia enfrentou mais alguns obstáculos até ser considerada científica, só obtendo uma aceitação mais consensual da comunidade científica na segunda metade do século XX (Brush, 1992, 1993).

A teoria do Big Bang

Na década de 1930, o russo Alexander Friedmann (1888-1925) e o belga Georges Lemaître (1894-1966) propuseram independentemente modelos de universo em expansão baseados na teoria da relatividade geral (Friedmann, 1922; Lemaître 1927). Aspectos empíricos, como o estabelecimento da relação linear entre os redshift das galáxias e sua distância, o que hoje é conhecido como Lei de Hubble, levou a maior parte dos interessados em cosmologia a preferir modelos relativísticos em expansão (Kragh, 1996). Admitindo a expansão do universo e considerando as descobertas da física de partículas, no fim da década de 1940, como suporte empírico, George Gamow (1904-1968), físico russo que se mudara para os EUA, formulou o modelo cosmológico que ficou conhecido como a teoria do Big Bang. Gamow apresentou pela primeira vez a ideia de que o universo foi quente e denso no passado em seus textos de divulgação científica no fim da década de 1930. No livro *Senhor Tompkins no País das Maravilhas* (Gamow, 1940), uma história voltada a crianças e adolescentes, o Senhor Tompkins, um bancário curioso, tem aulas sobre física com o Professor, um personagem que se mostra antenado nas descobertas científicas de seu tempo. Em um de seus sonhos, Sr. Tompkins aprende com o Professor sobre a expansão do universo e nota que o universo é cíclico, primeiro se expande e esfria, e depois se contrai e esquenta. A história foi publicada pela primeira vez na revista britânica *Discovery* (Gamow, 1938)².

Só no fim da década seguinte Gamow publicou dois artigos (Gamow, 1946; Alpher, Bethe & Gamow, 1948) que o tornaram famoso como um dos criadores da teoria posteriormente chamada de Big Bang, em tom jocoso por seus oponentes. Nesses artigos, Gamow, Alpher e Herman propuseram um modelo de universo cujo começo era muito quente e denso. A matéria era formada por uma espécie de gás de nêutrons e fôtons, chamada “ylem”, que passou a se esfriar com a expansão. Os nêutrons sofriam reações nucleares (decaimento β), originando prótons e elétrons. Eles utilizaram resultados da física nuclear para criar um modelo do estágio inicial do universo, que passou a se expandir de acordo com as equações de Friedmann-Lemaître.

O modelo de Gamow e colaboradores tinha muitos aspectos comuns ao modelo do átomo primordial, proposto por Georges Lemaître em 1931, como também supor um universo primordial muito pequeno, quente e denso, que passou a se expandir e esfriar (Lemaître, 1931). No instante inicial o volume do universo seria nulo, o que caracterizava a chamada singularidade inicial: toda a matéria existente estaria concentrada em um ponto, cuja densidade seria infinita.

2 Essa foi a primeira vez em que Gamow publicou sobre cosmologia, de forma que em seu primeiro artigo, publicado com seu colega Edward Teller, eles agradeceram ao Senhor Tompkins por lhes ter sugerido esse assunto de pesquisa (Gamow & Teller, 1939).

Tanto o modelo de Lemaître quanto o de Gamow precisaram enfrentar dois desafios que ocuparam os astrônomos e cosmólogos da época: explicar a idade do universo e a origem dos elementos químicos (Kragh, 1996). Na mesma época, surgiu uma teoria rival, que propunha respostas diferentes para essas questões.

A teoria do universo em Estado Estacionário

No começo da década de 1950, a maior parte dos pesquisadores preferia a cosmologia relativística e o universo com idade finita, mas dificilmente se considerava que esses modelos corresponderiam ao universo real. A teoria do Big Bang de Gamow ainda não havia se estabelecido como a teoria dominante. A maior parte dos cosmólogos aceitava que o universo estaria em expansão (levando em conta os trabalhos de Hubble) e acreditava que se poderia calcular a idade do universo a partir das equações de Friedmann-Lemaître. Porém, eles evitavam dizer que o universo foi criado (Kragh, 1996).

Na mesma época em que Gamow publicava desenvolvimentos de sua cosmologia com colaboradores nos EUA, uma nova teoria cosmológica rival surgiu em Cambridge, na Inglaterra. A abordagem rival logo ficou conhecida como a cosmologia do universo em Estado Estacionário. Alguns modelos baseados na nova abordagem foram propostos, sendo o mais famoso o criado em 1948 pelos físicos Hermann Bondi (1919-2005), Thomas Gold (1920-2004) e Fred Hoyle (1915-2001) (Bondi & Gold, 1948; Hoyle, 1948).

Hermann Bondi e Thomas Gold estudaram em Cambridge, onde conheceram o físico e astrônomo inglês Fred Hoyle, sendo a partir de então conhecidos como “o trio de Cambridge”. Eles frequentemente tinham conversas informais sobre cosmologia, a partir das quais acabaram desenvolvendo em conjunto um novo modelo de universo em expansão. Esses três jovens adotaram a interpretação mais comum sobre os redshift das galáxias na qual as galáxias estariam realmente se afastando. Assim, achavam que o universo não poderia ser estático, como defendeu Einstein, mas também concordavam que a teoria de Lemaître, que propunha um começo do tempo, tinha sérios problemas (Kragh, 1996).

Na primavera de 1949, Hoyle fez uma série de palestras sobre cosmologia para a rádio BBC de Londres, que foram posteriormente transcritas e publicadas na forma de um livro intitulado *The Nature of the Universe* (Hoyle, 1950), ambos fazendo bastante sucesso ao longo dos anos seguintes.

A expressão Big Bang foi popularizada por Hoyle, que se referiu de uma forma irônica, nas palestras da BBC, à teoria “que o universo começou há um tempo finito em uma grande explosão”. O trio de Cambridge concordava que a teoria de Gamow tinha sérios problemas, como determinar a idade do universo e a formação dos elementos químicos, além de dificuldades para explicar a formação das galáxias. Sobre esse assunto, Hoyle afirmou que

“...em algumas dessas teorias [da escola de pensamento da explosão] o universo parece ser mais novo do que a nossa própria galáxia, segundo as estimativas da astrofísica. Outra séria dificuldade surge quando tentamos reconciliar a ideia da expansão com a de que as galáxias devem ter se condensado a partir do material de fundo difuso. Os dois conceitos, de expansão e contração são obviamente contraditórios e é fácil mostrar, se você postular uma explosão suficientemente violenta para explicar a expansão do Universo, que as condensações que formaram as galáxias não poderiam jamais terem sido formadas.” (Hoyle, 1950, p. 120)

Assim, Hoyle questionou que se, na teoria do Big Bang, a velocidade de expansão fosse muito alta, não teria sido possível que as galáxias se formassem pela contração gravitacional da matéria dispersa pelo universo. Na teoria do universo em Estado Estacionário esse problema não está presente porque o universo sempre existiu, logo teria havido tempo suficiente para que as galáxias se formassem.

Outro fator que o trio de Cambridge via como um grande defeito das teorias de Gamow e Lemaître era a necessidade de introduzir o conceito de uma criação abrupta em um instante definido. Na teoria de Hoyle, Bondi e Gold a criação é lenta e contínua, de forma a conduzir à formação de novas galáxias: “esse é provavelmente o mais surpreendente conceito de todo este livro. Eu me vi forçado a assumir que a natureza do Universo requer uma criação contínua – o perpétuo vir a ser da nova matéria” (Hoyle, 1950, p. 122).

Não se sabe ao certo como surgiu a ideia de um universo em expansão com criação de matéria nas

discussões entre Hoyle, Bondi e Gold. Mas é provável que tenha sido Thomas Gold a propô-la, como uma ideia inicial, vista como uma especulação interessante, não como uma possibilidade física. Em dezembro de 1946, Hoyle era um crítico da proposta de Gamow de que os elementos pesados teriam surgido durante um estágio primordial do universo e investigava a possibilidade de que eles fossem fabricados nas estrelas. Uma pergunta que surgiu de seu trabalho, feita por seu ex-supervisor, era “de onde veio o hidrogênio?”. *“Isso fez com que ele estivesse bastante receptivo à ideia de Gold de criação contínua de matéria”* (Kragh 1996 p. 176).

Em 1948, Bondi e Gold (1948) propuseram uma versão mais qualitativa da teoria do universo em Estado Estacionário, partindo de dois postulados relacionados entre si:

1. O universo deve ter sempre o mesmo aspecto, em larga escala, para qualquer observador, em qualquer posição no espaço e no tempo.
2. Como o universo está em expansão, para que a densidade média se mantenha constante, a matéria deve ser continuamente criada numa taxa determinada pela velocidade de expansão.

O primeiro dos postulados é conhecido como “Princípio Cosmológico Perfeito” no qual todos os lugares do universo são semelhantes no tempo e no espaço, pois não há nenhum observador privilegiado.

Sendo assim, num universo estacionário a taxa de expansão é constante e nunca pode mudar. Os componentes do universo, como as galáxias, estrelas e planetas envelhecem, mas novos átomos são criados para substituí-los, de forma que a idade média dos corpos do universo é sempre a mesma. Bondi e Gold (1948) afirmaram que as leis da física devem ser constantes para que os experimentos na Terra sejam reproduzíveis. Argumentaram que o universo não pode mudar em larga escala, pois mudanças no universo acarretariam mudanças nas leis da física. Assim, eles partiram do postulado do Princípio Cosmológico Perfeito por razões puramente filosóficas.

Ainda que seu artigo contivesse poucas equações, Bondi e Gold conseguiram chegar a um grande número de previsões testáveis, pois todas as características do universo devem obedecer ao Princípio Cosmológico Perfeito. Assim, previsões sobre, por exemplo, a taxa de expansão dada pela constante de Hubble, as densidades de matéria e radiação, assim como a média de idade das galáxias observadas devem ser sempre as mesmas, ou seja, constantes no tempo.

A taxa de criação de matéria também pode ser estimada quantitativamente, equivalendo à massa de um átomo de hidrogênio criado a cada bilhão de anos, em um volume de um litro. Ela era tão baixa que não poderia ser detectada experimentalmente. Essa proposta ousada contribuiu para que muitos astrônomos que seguiam a tradição empirista não levassem a teoria muito a sério (North, 1965; Harrison, 1981; Kragh, 1996).

No começo da década de 1950 a teoria do universo em Estado Estacionário se estabeleceu como um dos modelos cosmológicos disponíveis, entre vários outros, mas não chamou a atenção de muitos cientistas. Apenas alguns estudiosos britânicos, como os cosmólogos William McCrea (1904-1999) e Dennis Sciama (1926-1999), publicaram artigos científicos comentando e desenvolvendo a teoria. No entanto, as palestras e livros populares escritos por Hoyle contribuíram para que a teoria ficasse conhecida entre o público em geral (Kragh, 2004).

O desfecho da controvérsia

Em 1964, os físicos estadunidenses Arno Penzias (1933-) e Robert Woodrow Wilson (1936-) encontraram um ruído de fundo desconhecido detectado por uma antena de rádio da empresa de telecomunicações *Bell Laboratories*. Após várias tentativas sem sucesso de identificar a fonte do ruído, notaram que ele persistia em todas as direções, entendendo se tratar de uma radiação na faixa de micro-ondas, o que correspondia a uma temperatura de aproximadamente 3 K.

Na mesma época, dois físicos teóricos que trabalhavam em Princeton, o estadunidense Robert Dicke (1916-1997) e o canadense James Peebles (1935-), estavam investigando um modelo de universo oscilante, do tipo que já havia sido proposto por Friedmann. Nesses processos de expansão e contração, os elementos químicos seriam criados e destruídos. Eles estimaram a temperatura da radiação de fundo desse universo primordial em cerca de 10 K. Em 1965, Dicke, Peebles e outros colaboradores trabalhavam nesse modelo e chegaram a construir um equipamento para detectar a radiação prevista. Quando Penzias percebeu que a radiação encontrada por acaso podia ser o que os físicos teóricos estavam procurando, ele procurou Dicke. Então, em julho de 1965, Penzias e Wilson publicaram um artigo no *Astrophysical Journal*

Letters em colaboração com os físicos teóricos de Princeton, apresentando sua descoberta experimental e estimando uma temperatura de 3.51 K, sem mencionar as implicações na cosmologia (Kragh, 1996).

As interpretações cosmológicas dessa descoberta foram feitas por Dicke e Peebles, considerando a radiação encontrada como um fóssil do universo primordial que ficou conhecida como radiação cósmica de fundo (RCF). Isso mostrava que, nos estágios iniciais do universo, a temperatura e a densidade eram muito altas, como previa a teoria do Big Bang. Devido a esse trabalho, Penzias e Wilson receberam o Prêmio Nobel de Física em 1978. Posteriormente, em 2006, outro prêmio Nobel foi dado a John C. Mather e George F. Smoot, líderes do grupo de pesquisa que criou o satélite COBE, medindo com precisão muito maior a radiação de fundo de micro-ondas, confirmando mais uma vez o modelo padrão da cosmologia e teoria do Big Bang.

Para os defensores da teoria do Big Bang, a previsão da RCF foi considerada como uma “prova” da teoria, pois a previsão de sua temperatura foi vista como um sucesso de uma conjectura ousada. Com isso, a teoria do universo em Estado Estacionário, o principal programa de pesquisa rival à Teoria do Big Bang, foi seriamente desafiada pelas observações da radioastronomia e quasares que indicavam mudanças importantes nos valores previstos para a temperatura, pressão e outras grandezas físicas ao longo da história do universo. A teoria tornou-se ainda mais marginalizada com a descoberta da radiação de fundo de micro-ondas, pois, não havia uma previsão anterior sobre sua existência (Kragh, 1996). A maioria dos cientistas que se dedicavam à teoria do universo em Estado Estacionário abandonou, passando a atuar em outros campos da física e da astronomia. Bondi e Gold perderam o interesse pela cosmologia e passaram a estudar com sucesso outros campos da física e da astronomia. Uma possível explicação para que eles desistissem da teoria pode ser o fato de que Bondi ser um grande admirador da teoria de Popper e o conceito de refutabilidade, sendo compreensível que quando se consolidou uma forte evidência não explicada anteriormente pela teoria do universo em Estado Estacionário, ele tenha preferido abandoná-la (Brush, 1993).

Após 1965, jovens físicos e astrônomos desenvolveram a teoria do Big Bang, que passou a ser conhecida como “modelo padrão da cosmologia” e que teria superado as teorias rivais pela boa adequação às observações astronômicas:

“Por que escolhemos o “modelo padrão”? E como ele suplantou as outras teorias, inclusive a teoria do universo em Estado Estacionário? É um tributo à objetividade da astrofísica moderna o fato de que esse consenso não tenha sido atingido por mudanças de preferências filosóficas ou pela influência de mandarins da astrofísica, mas sim pela pressão dos dados empíricos (Weinberg, 1977, p.17).”

Porém, a ênfase em fatores puramente empíricos como sendo decisivos para a aceitação do modelo padrão na cosmologia foi superada por historiadores da cosmologia que investigaram outros tipos de influências para sua aceitação, incluindo questões sociais, culturais e econômicas. Por exemplo, alguns fatores que influenciaram o fortalecimento da teoria do Big Bang foram o crescimento do número de cientistas, a variedade de problemas de pesquisa disponíveis para os jovens, a criação de novas instituições de pesquisa e formas de treino, como livros didáticos (Susalla, 2013), a realização de debates em conferências sobre diversos aspectos da astronomia, principalmente quasares, origem dos elementos químicos, e radioastronomia, a consolidação de novos grupos de pesquisa, além da publicação e adoção de livros didáticos nas universidades, tais como *Gravitation and Cosmology* (Weinberg, 1972) e *Physical Cosmology*, (Peebles, 1971); e até mesmo pela influência inusitada de publicações sobre cosmologia em obras de divulgação científica, que influenciaram não só a população leiga, mas também jovens cientistas interessados em estudar cosmologia (Bagdonas & Kojevnikov, 2021).

Mas afinal, o universo sempre existiu ou teve um começo no tempo?

Segundo alguns defensores de teorias cosmológicas alternativas (Assis & Neves, 1995; Neves, 2000; Assis, Neves & Soares, 2008; Lopéz-Corredoria, 2014), a teoria do Big Bang não foi aceita pela maior parte de seus adeptos porque lhes foram apresentadas as alternativas, mostrando os argumentos a partir dos quais eles fizeram a sua escolha, mas sim por uma espécie de doutrinação científica a partir da escrita de uma história da cosmologia triunfalista. Como o modelo padrão da cosmologia recebe muito mais verbas e atenção dos pesquisadores, ele é, evidentemente, mais desenvolvido que teorias alternativas³. As

3 As ideias de Naomi Oreskes sobre a contribuição da diversidade para o fortalecimento da objetividade foram ilustradas por estudos de física da matéria condensada na URSS por Silva Neto & Bagdonas (2024); e em estudos sobre a cosmologia do século XX com foco em Friedmann e Lemaître (Bagdonas & Silva Neto, 2023).

dificuldades encontradas pelos defensores de teorias alternativas ao “modelo padrão” da cosmologia em divulgar suas teorias científicas foram criticadas, devido ao predomínio de uma única visão sobre as demais.

A maior parte da comunidade científica aceita a teoria do Big Bang, que propõe que o universo teve um começo há cerca de 13 bilhões de anos. Essa posição reforça a resposta dada pela maior parte das religiões, que propõe um universo criado no passado, com uma idade finita. Tanto que muitas vezes o modelo do Big Bang foi visto como dando suporte à visão de um universo criado, compatível com o cristianismo. Porém, não é possível dar uma resposta definitiva para essa pergunta, porque o conhecimento científico não é constituído de verdades absolutas. Sendo assim não se pode afirmar que a ideia de que o universo teve um começo foi provada, ou mesmo aceita de forma unânime na comunidade científica. Ainda há muitas dúvidas sobre o assunto, o que nos leva a uma pluralidade de teorias possíveis para explicar o surgimento do universo (Bagdonas, 2011, p.112).

Assim, voltando à questão que norteia este artigo, a teoria do Big Bang se tornou uma teoria aceita pela maioria da comunidade científica, mas, como qualquer teoria científica, não pôde ser provada de forma definitiva por experimentos. Quando analisamos as razões para que sua aceitação seja majoritária pela comunidade científica, vemos que existem diversos fatores complexos, disputas, influências de aspectos epistêmicos e não epistêmicos.

ENSINO DE COSMOLOGIA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Em um estudo sobre o estado da arte das pesquisas sobre ensino de cosmologia no Brasil, Gonçalves, Horvath e Bretones (2022, p. 4) elaboraram a categoria “D6: História, Filosofia e NdC: Pesquisas com abordagens de fatos históricos. Com aspectos relativos à filosofia ou epistemologia da ciência, tais como: concepção de ciência, de cientista, de método(s) científico(s), formulação e desenvolvimento de teorias científicas, paradigmas e modelos científicos”.

De um total de 199 trabalhos analisados, 42 adotavam abordagens baseadas na história e filosofia da ciência. Nesse sentido, notamos que a história da cosmologia do século XX tem sido abordada por pesquisadores da área de ensino de ciências como fonte de casos para promover discussões sobre NdC (Arthur, 2010; Bagdonas, 2011, 2015; Azevedo, 2011; Skolimowski, 2014; Bagdonas, Zanetic & Gurgel 2014, 2017, 2018; Seabra, 2018; Silva, 2020).

Nesta seção, vamos abordar como, com base nas discussões anteriores, as concepções de NdC foram investigadas na formação inicial de professores em uma disciplina de história da ciência, e em seguida no ensino médio, em aulas de física.

Investigações na formação inicial de professores

A pesquisa se deu em uma disciplina de História da Ciência para a um curso de Licenciatura em Ciências, ministrado pela orientadora da dissertação de mestrado (Bagdonas, 2011). A intervenção teve 5 aulas, cada uma com uma questão central, abordando as diferenças entre cosmologia e astronomia, relações entre ciência e religião e como inserir essas questões na educação básica (Bagdonas & Silva, 2015). Neste artigo, discutimos os dados da aula 3, que foi sobre natureza da ciência e provas na ciência.

Por estarmos cientes de algumas das limitações do uso de questionários fechados que foram discutidas na seção 1, empregamos questionários mistos, com questões dissertativas e de múltipla escolha. Estas últimas usaram a escala Likert para investigar a concordância dos estudantes sobre afirmações sobre a NdC. Algumas delas tinham como objetivo detectar visões ingênuas, tais como: “O conhecimento científico é confiável porque é provado objetivamente através de experimentos, conforme o método científico.” As demais afirmações, que não serão abordadas neste artigo, tratavam de outros aspectos da NdC, em especial sobre critérios de demarcação e relações entre ciência e religião.

O questionário Likert foi respondido por 17 alunos no pré-teste, e por 16 no pós-teste, já que um estudante desistiu da disciplina.

Quadro 1 – Concordância com a afirmação “O conhecimento científico é confiável porque é provado objetivamente através de experimentos, conforme o método científico”. O grau de concordância foi indicado de -2 (discordo totalmente) até 2 (concordo totalmente).

Grau de concordância	-2	-1	0	1	2
Pré teste	1	4	2	9	1
Pós teste	3	1	0	8	4

Houve variações pequenas de concordância em relação à afirmação. Nas respostas antes da intervenção, havia 10 concordâncias, somando os graus 1 e 2, enquanto nas respostas depois da intervenção houve 12 concordâncias. Para elucidar esse aumento de 1 para 4 no grau 2 de concordância, pedimos aos alunos, após a intervenção, justificativas por escrito de suas respostas dadas aos questionários Likert, chegando assim a um maior detalhamento de suas concepções.

“GRAU DE CONCORDÂNCIA 2:

- 1) *Na sentença acima, apenas trocaria a palavra "provado" por "inferido" ou "deduzido". A palavra "provado" dá a ideia de que um conhecimento científico é "verdadeiro", "imutável" e "absoluto", o que não ocorre.*
- 2) *É confiável, mutável e não é absoluto.*
- 3) *Concordo que o conhecimento científico é confiável, pois o método científico comprova as teorias. Porém é muito limitado, ou seja, há muitas perguntas sem respostas.*

GRAU DE CONCORDÂNCIA 1:

- 1) *"Provado" por vários métodos.*
- 2) *Por mais que seja provado objetivamente através de experimentos, pode haver erros. Trata-se de conhecimento que podem se alterar.*
- 3) *Na verdade o conhecimento científico mostra evidências para os acontecimentos, mas não provado, pois é mutável. Uma análise errada do experimento pode gerar conclusões erradas* (Bagdonas, 2011, p. 189).

A partir da análise das justificativas, há indícios de que boa parte do que pareciam ser concepções ingênuas pelas respostas do questionário fechado, puderam ser interpretadas como concepções que usam o termo “provado” com concessões, ou aspas, cientes da limitação da intensidade desse tipo de certeza nas ciências.

Notamos assim indícios de que ao se depararem com asserções em questionários fechados, utilizando termos como “provado” sem um contexto ou discussões sobre seus possíveis sentidos, estudantes que não tinham concepções ingênuas ficaram inseguros ao responder. Daí a importância de entrevistas para esclarecer os sentidos atribuídos a termos consagrados como ingênuos.

Ao longo da pesquisa, percebemos as limitações envolvidas no uso de questionários fechados, do tipo Likert, para captar elementos sutis sobre as concepções dos licenciandos, em particular sobre os diferentes sentidos atribuídos ao termo “provado”. Muitas concepções que pareciam ingênuas pela resposta dada aos questionários pré-teste e pós-teste, mostraram-se na verdade mais adequadas quando analisadas com outros instrumentos.

Para contornar as limitações do uso de questionários fechados, na intervenção realizada no ensino superior, os licenciandos escreveram um ensaio final após instruções explícitas sobre o conceito de provas na ciência.

Em suas trajetórias no curso de licenciatura, até o início da intervenção didática aqui discutida, os licenciandos tinham tido pouco contato com discussões explícitas sobre NdC. Por isso, era esperado que suas concepções iniciais fossem em sua maioria próximas do senso comum. Além disso, como a intervenção foi de 5 aulas em uma disciplina, as mudanças de concepções foram sutis. Mas foram encontrados diversos indícios de ruptura com relação às concepções ingênuas, como os demonstrados acima nas justificativas pela escolha do termo “provado”.

Ao final da intervenção foi pedido aos alunos que escrevessem um ensaio final sobre o conceito de provas na ciência, com base na leitura do seguinte trecho do livro “O Universo: teorias sobre sua origem e

evolução" (Martins, 1994, p. 1):

"Atualmente, a ciência predomina. É dessa ciência que muitos esperam obter a resposta às suas indagações sobre a origem do universo. Muitas vezes, lemos notícias em jornais e revistas apresentando pesquisas recentes sobre a formação do universo. Na tentativa de chamar a atenção para uma nova descoberta, os jornalistas às vezes exageram sua importância e publicam manchetes do tipo: "Acaba de ser provado que o universo começou de uma explosão". Mas foi provado, mesmo? As notícias, quase sempre, dão a impressão de que acabaram todos os mistérios, que não há mais dúvidas sobre o início e evolução do cosmo. Mas a verdade não é exatamente essa. Há dezenas de anos, os jornais repetem as mesmas manchetes, com notícias diferentes. Quem se der ao trabalho de consultar tudo o que já se publicou sobre o assunto, verá que os meios de comunicação revelam sempre um enorme otimismo. O resultado de cada nova pesquisa é apresentado como se tivesse sido conseguida a solução final. Mas se a notícia de trinta anos atrás fosse correta, não poderiam ter surgido todas as notícias dos anos seguintes - até hoje - repetindo sempre que um certo cientista ou grupo de pesquisadores "acaba de provar" que o universo começou assim e assim."

No enunciado de orientação para a escrita do ensaio final, também foram apresentados aos estudantes diferentes sentidos para o termo "provar" presentes no dicionário Michaelis e apresentadas as seguintes questões:

"Prova sf (lat proba) Dicionário Michaelis

1 Filos Aquilo que serve para estabelecer uma verdade por verificação ou demonstração. 2 Aquilo que mostra ou confirma a verdade de um fato.

3 Testemunho. 4 Indício, mostra, sinal. 5 Competência, porfia. 6 Exame ou cada uma das partes dele. 7 Ensaio, experiência. 8 Demonstração. 9 Provação, situação afeitiva, transe. 10 Ato de provar, de experimentar o sabor de uma substância alimentar. 11 Mat Operação pela qual se verifica a exatidão de um cálculo.

- a) Você acredita que a teoria do Big Bang está provada?*
- b) Em que sentido você está usando o termo "provado?"*

Após discussões explícitas sobre o conceito de "provas", a maioria dos alunos considerou que o Big Bang não está provado.

As produções dos alunos no ensaio final foram categorizadas, considerando que a mesma afirmação de um aluno pode ser classificada em mais de uma categoria. Assim, o número total é maior do que o número de alunos que responderam à atividade. As categorias estão no quadro 2 (Bagdonas, 2011).

Portanto, ainda que persistam algumas visões ingênuas entre os investigados, em que notamos em especial influência de notícias de divulgação científica como sobre o LHC que teria supostamente provado o Big Bang, notamos um predomínio de visões mais sofisticadas, que mostraram aceitação das visões discutidas ao longo da intervenção. "A maior parte dos ensaios mostrou reflexões ricas sobre a questão das provas na ciência, uma vez que reconheceram que o Big Bang não está provado, no sentido de ser uma verdade absoluta, mas que estaria "provado" porque, embora não definitivas, há evidências a favor de sua aceitação" (Bagdonas, 2011, p. 226).

Quadro 2 – Produções no ensaio final sobre se o “O Big Bang está provado?”

Categoria	Alunos	Número
O Big Bang não está “provado”, no sentido de verdade absoluta	1-3, 5-12	11
O Big Bang está “provado”, no sentido de “indício, mostra, sinal”	1, 3-5, 6, 9, 10, 13	8
O Big Bang não está provado porque não há verdades absolutas na ciência	7, 11, 12	3
Faltam evidências para que se possa considerar o Big Bang provado	2, 8	2
O Big Bang está provado experimentalmente pelo LHC	4	1

A seguir, analisaremos outra intervenção semelhante, também realizada em uma pesquisa de mestrado, mas agora em aulas do ensino médio (Seabra, 2018).

Investigações em aulas do ensino médio

Esta investigação também foi baseada em estudos históricos sobre cosmologia no século XX. Além das fontes secundárias de história da cosmologia já citadas na seção 3, a principal fonte histórica empregada por Seabra (2018) foi o livro *A escuridão da noite: um enigma do universo* (Harrisson, 1987), que levou à proposta da questão problematizadora inicial “Por que o céu com infinitas estrelas não é claro à noite?”, que ficou conhecida como *Paradoxo de Olbers*. Ele foi formulado por Heinrich Olbers (1758-1840) no início do século XIX e tem sido discutido por diversos autores desde então. Dentre as tentativas de solução interessantes está a proposta pelo poeta, editor e crítico literário estadunidense Edgar Allan Poe (1809-1849) de que o céu não é brilhante à noite porque, como a velocidade da luz é finita, ainda não houve tempo para que as estrelas mais distantes de nós tenham viajado pelo universo e nos atingido.

A pesquisa tinha originalmente outros objetivos de investigação, como compreender as visões dos alunos sobre a forma e evolução do universo. Porém neste artigo selecionamos apenas, como na seção anterior, a visões dos alunos sobre “provas” na ciência.

A pesquisa foi desenvolvida em horário regular, junto a uma turma da primeira série do ensino médio, composta por 22 estudantes, em um colégio da rede particular da cidade de Lavras (Campanha Nacional das Escolas da Comunidade-CNEC-Juventino Dias). A pesquisa tinha originalmente outros objetivos de investigação, como compreender as visões dos alunos sobre a forma e evolução do universo. Porém neste artigo selecionamos apenas, como na seção anterior, a visões dos alunos sobre “provas” na ciência.

A primeira discussão relevante apareceu na primeira aula, ao se debater a questão “As religiões também buscam entender a origem do universo: qual é a diferença entre cosmologia e religião? E entre cosmologia e filosofia?”. A religião era mencionada apenas como forma de levantar com os estudantes a questão da demarcação entre ciência e outras esferas humanas, não sendo objetivo da intervenção discutir relações entre ciência e religião⁴.

De um total de 18 respostas, 12 apontaram que a principal diferença entre ciência e religião está associada à “prova”, ou seja, as ciências seriam baseadas em provas, ou no método científico, mencionado explicitamente por três estudantes. Já as religiões foram caracterizadas como algo em que se acredita ou não, sem a necessidade de evidências. A seguir apresentamos três exemplos de respostas, empregando pseudônimos para os nomes dos alunos (Seabra, 2018, p.60):

4 Sobre este assunto, ver Bagdonas & Silva (2015).

“Na ciência existe um método, que serve para mostrar que ao seguir os passos do método, algo em estudo está correto, uma teoria, por exemplo. Você tem ideia de como é, vai lá e prova se tá certo usando o método. Daí vêm leis e teorias. Já religião não tem essas coisas, e você acredita em Deus sem ter como provar isso, mas acredita que ele existe ou não (Adilson).”

Ciência tem método científico. Religião tem que acreditar sem o método para mostrar se está certo ou não (João).

As duas existem há muito tempo, acho que elas surgiram com o homem e suas curiosidades sobre o mundo, mas tem papéis diferentes. Ciência só existe porque você consegue provar algo. Religião existe com dependência da sua fé e não de provas (Berenice).

Então, após algumas mudanças de planejamento causadas por avaliações externas da rede a qual a escola particular faz parte, continuou-se o estudo sobre cosmologia e o Paradoxo de Olbers. Em uma das atividades foi proposta a questão: “você acha que ainda há dúvidas relacionadas à expansão do universo? Ou trata-se de uma teoria já bem consolidada dentro da cosmologia?”. Neste caso houve unanimidade, todos consideraram que o Big Bang e a expansão estão bem estabelecidos e que não há dúvidas.

Isso nos levou a notar uma falha de planejamento, pois, como as teorias alternativas ao Big Bang são razoavelmente complicadas e havia pouco tempo disponível no contexto da escola particular, houve poucos momentos explícitos de discussões de dúvidas sobre a teoria do Big Bang, ou sobre a possibilidade de explicações diferentes. Nos estudos históricos, tais como a proposta discutida na seção anterior, desenvolvida na formação inicial de professores, encontramos uma série de possibilidades para planejar futuras intervenções com mais espaço para abordar teorias alternativas.⁵

A última atividade implementada teve como guia a questão: o Big Bang está provado? Dos 19 alunos presentes, 14 opinaram que o Big Bang está provado, e 5 que não está. Nesse debate, não foi possível perceber o detalhamento dos argumentos dos alunos. Boa parte das justificativas foram expressas de forma bem simples, em frases curtas, o que dificulta entendermos com maior complexidade suas visões de NdC:

“Sim, porque é graças ao Big Bang que se criou o universo (Marly).

Sim, pois de acordo com alguns estudos, ainda existem provas de que ele existiu, como por exemplo, algumas partículas e choques (Marlene).

Não, porque todo tempo surge cientistas justificando a criação do universo (Primo).

Não, é apenas a teoria mais aceita hoje em dia (Vilma).

No caso da estudante Vilma, analisando sua resposta dada a outra questão (“O universo teve um começo ou sempre existiu”), vemos que apesar de ter respondido que o Big Bang não foi provado, ela tem um grau alto de confiança na teoria:

“Claro que teve um começo, e foi o Big Bang, já vi muita coisa sobre isso, não tem como tá errado (Vilma).”

Esse resultado era esperado dada a complexidade dos estudos tanto de cosmologia quanto de NdC, para estudantes do ensino médio. Identificamos que a persistência de concepções ingênuas se deu,

⁵ Em uma carta aberta à comunidade científica internacional 33 cientistas, sendo três deles brasileiros: André Koch Torres Assis (Unicamp), Marcos César Danhoni Neves (UEM) e Domingos S. L. Soares (UFMG), criticaram as dificuldades enfrentadas pelos defensores de teorias cosmológicas alternativas ao pedir financiamento para realizar pesquisas e publicar artigos que forneçam evidências contrárias ao modelo dominante (Bagdonas, 2020).

possivelmente, porque não houve uma discussão explícita sobre a NdC, e pouca discussão também sobre o conceito de “provas” na ciência.⁶

Então, foram conduzidos estudos adicionais, utilizando trechos de documentários e outros materiais didáticos escolhidos pela professora. Um deles foi a peça Big Bang Brasil, que tinha sido empregada na dissertação de Bagdonas (2011). Durante a discussão da peça, foi mencionado que Einstein cometeu um erro ao se deparar com a proposta de Friedmann. Isso chamou a atenção dos alunos, e produziu uma discussão interessante sobre o papel do erro na ciência⁷:

“Nossa, o Einstein errou? Pensei que ele só acertava. Todo mundo fala que ele é superinteligente! (Primo).”

Além disso, novos argumentos contrários às visões de cientistas como gênios, que desenvolveram suas teorias sozinhos e ao acaso, assim como o próprio método científico ressurgiram, o que mostra possíveis indícios de mudanças nas visões ingênuas que antes os estudantes possuíam:

“É interessante ver que entre eles (os cientistas) há diferenças. Mostra que eles aprendem com os outros e não nascem sabendo tudo. É igual uma sala de aula, quando não concordamos com algo debatemos. Aprendemos muito nessas diferenças (Berenice).”

“A tecnologia proporcionou um avanço na visão do universo. Vemos isso com a evolução do próprio telescópio. Mas mesmo com todos esses avanços, nunca existiu um único caminho, que devia ser seguido por todos. O legal é ver que descobertas acontecem sem você estar esperando por elas, como no caso do Penzias e Wilson (Vilma).”

“Muitos fazem a ciência, mas nem todos os nomes são lembrados. Se você der a sorte de dar a cartada final, é como o jogador que faz o gool da vitória, é lembrado para sempre. Acho que estudar a história da ciência ajuda nisso (João).”

“Hubble tem até telescópio com o nome dele, mas ele não fez nada sozinho, isso não aparece muito nas pesquisas, né? (José Alves).”

Além disso, avaliando a atividade como um todo, a professora refletiu que ao discutir as respostas ao Paradoxo de Olbers, ainda que não houvesse evidências por escrito das concepções de NdC dos alunos, já que esse não era o foco principal da pesquisa, foi possível notar que os alunos falavam sobre um processo no qual os erros e acertos de muitos cientistas estavam presentes. Isso pode ter ajudado a problematizar a visão distorcida sobre a ciência, de que ela seria feita por gênios que sempre acertam e de que novos conhecimentos científicos só são obtidos quando o método científico é seguido como uma receita de bolo, e que outros fatores não influenciam a construção da ciência, tais como preferências epistemológicas, fatores sociais, políticos, religiosos e outros.

Já no estudo em aulas do ensino médio, apesar das inúmeras dificuldades encontradas na inserção efetiva da história e filosofia da ciência de modo regular, percebemos nas produções escritas dos alunos ao

⁶ Mesmo a professora, que fazia mestrado à época, não tinha tido disciplinas de Filosofia da Ciência nem mesmo no âmbito da pós-graduação.

⁷ Nesse sentido, por concordarmos com as críticas a visão consensual da NdC, neste artigo usamos os termos “ingênuas” ou “inadequadas” com ressalvas, reconhecendo que eventualmente algumas destas concepções na verdade envolvem aspectos controversos (Bagdonas & Silva, 2013; Rozentalski & Porto, 2013; Bagdonas, Zanetic & Gurgel, 2014; Rozentalski, 2018).

longo das aulas indícios de visões ricas sobre natureza da ciência, tais como perceber que não existe um método científico rígido, a noção de que para se chegar a uma teoria o processo é longo, cheio de erros e acertos de muitas pessoas, o que implica que o ser humano sempre teve sucessos e fracassos na busca de compreender a natureza e a sociedade

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas sobre HFSC na educação científica tem problematizado a noção de provas na ciência como algo definitivo, seguro, que se consegue após uma teoria passar por testes confiáveis. Por outro lado, para lidar com os desafios contemporâneos ligados ao fortalecimento de visões negacionistas da ciência, torna-se importante ensinar sobre a natureza da ciência de modo crítico e reflexivo. Para isso, é importante, mais do que nunca, trazer casos históricos que permitam trazer discussões explícitas sobre a natureza da ciência, inclusive de alguns de seus aspectos controversos (Bagdonas & Silva, 2013; Martins, 2019; Bagdonas, 2020).

Neste artigo analisamos duas investigações distintas sobre concepções de NdC, uma na educação básica e outra na formação inicial de professores que abordaram a noção de prova na ciência, tomando o caso de provas de teorias cosmológicas do início do século XX. Em ambas notamos um predomínio de concepções ingênuas, como um empirismo do senso comum, que exagera o papel das observações como fonte de confirmação ou prova das teorias científicas.

Os primeiros resultados, oriundos das investigações das concepções dos estudantes, mostram a pouca eficácia em alterar tais concepções. Entretanto, mediante a identificação de tais concepções, podemos problematizá-las, originando avanços com algumas rupturas e avanços.

Identificamos, como caminho possível para tais problematizações, as intervenções baseadas no uso da HFSC no ensino, discutindo aspectos normalmente negligenciados no ensino tradicional, como o contexto cultural, político e religioso em que os cientistas criaram suas propostas, assim como possíveis influências complexas e diversas nas interpretações que foram feitas dos dados observacionais, como, por exemplo, fontes para dar suporte a diferentes teorias cosmológicas.

Na educação básica, um evento interessante foi o reconhecimento de um aluno de que “gênios como Einstein” podem cometer erros, já na formação inicial de professores, ainda que fossem poucos alunos em relação ao total, notamos defesas mais sofisticadas de que não existem provas absolutas na ciência, após a problematização do entendimento do conceito de provas, tanto no trecho do livro “O Universo: teorias sobre sua origem e evolução” (Martins, 1994) e a definição apresentada por dicionários. Percebemos a partir da análise textos escritos, que respostas obtidas pelo questionário do tipo Likert que a princípio pareciam muito ingênuas obtidas pelo questionário do tipo Likert usavam o termo “provado” em um sentido mais flexível, como sinônimo de embasado por evidências experimentais.

Esses resultados consideram a relevância de estarmos atentos às concepções dos estudantes e reforçam o argumento presente há décadas na literatura, tanto empírico quanto teórico, de que aspectos da HFSC podem ser um caminho promissor para se discutir explicitamente sobre NdC e que tal intencionalidade deve estar presente na organização do trabalho docente (Abd-El-Khalick & Lederman 2000, Abd-El-Khalick, 2012; Rozentalski, 2018).

Nas duas investigações, como a instrução sobre o conceito de “provas” na ciência não era o objetivo de ensino central das atividades didáticas, principalmente na educação básica, houve pouco espaço para o debate em sala de aula sobre as concepções ingênuas dos alunos, mas as pequenas intervenções já apresentam indícios de rupturas. Isso mostra a importância, principalmente em tempos atuais, de favorecer o aprendizado coletivo numa perspectiva crítica. Porém, atentos que a problematização da autoridade da ciência deve ser feita de forma moderada, evitando o fortalecimento tanto do cientificismo quanto de movimentos negacionistas, que podem se aproveitar das discussões sobre a dinâmica do fazer ciência para tentar desacreditá-la.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Angela Bagdonas, Johnnie Pereira e Phelipe Góis pela revisão do artigo. Alexandre Bagdonas recebeu financiamento da FAPESP #2008/07928-0, Cibelle Celestino Silva recebeu financiamento pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq #312588/2021-6

REFERÊNCIAS

Abd-El-Khalick, Fouad. (2012). Nature of Science in Science Education: Toward a Coherent Framework for

Synergistic Research and Development. In Barry Frase, Kenneth Tobin, & Campbell McRobbie (Orgs.), *Second International Handbook of Science and Education* (pp. 1041-1060, Vol. 2). Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer. http://doi.org/doi: 10.1007/978-1-4020-9041-7_69

Abd-El-Khalick, Fouad, & Lederman, Norman G. (2000). Improving science teachers conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701. <https://doi.org/10.1080/09500690050044044>

Adúriz-Bravo, Augistin, Izquierdo, Mercè, & Estany, Anna. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 465-476.

Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>

Alpher, Ralph, Bethe, Hans, & Gamow, George. (1948). The Origin of Chemical Elements, *Physical Review*, 73(7), 803-804. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.73.803>

Alpher, Ralph, & Hermann, Robert. (2001). *Genesis of the Big Bang*, Oxford: Oxford University Press. https://books.google.com.br/books/about/Genesis_of_the_Big_Bang.html?hl=fr&id=t8zhBwAAQBAJ&redir_esc=y

Alters, Brian J. (1997). Whose nature of science?. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199701\)34:1<39::AID-TEA4>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199701)34:1<39::AID-TEA4>3.0.CO;2-P)

Arthury, Luiz H. M. (2010). *A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92475>

Assis, André K. T. & Neves, Marcos C. D. (1995). History of the 2.7K temperature prior to Penzias and Wilson. *Apeiron*, 3(2), 79-87. <https://philpapers.org/rec/ASSHOT>

Assis, André K. T., Neves, Marcos C. D., & Soares, Domingos S. (2008). A cosmologia de Hubble: De um universo finito em expansão a um universo infinito no espaço e no tempo. (pp. 199-221). In M. C. D. Neves e J. A. P.d. Silva (Editores), *Evolução e Revoluções: O Mundo em Transição*. Maringá, PR: Massoni e LCV. https://www.researchgate.net/publication/315009336_A_cosmologia_de_Hubble_De_um_universo_finito_em_expansao_a_um_universo_infinito_no_espaço_e_no_tempo

Auler, Décio, & Delizoicov, Demétrio. (2001). Alfabetização científico-tecnológica para quê?. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 3(2), 122-134. <https://doi.org/10.1590/1983-21172001030203>

Azevedo, Hernani (2011). *Competência comunicativa de futuros professores frente à diversidade religiosa na abordagem do Tema “origens do universo”*. (Dissertação de mestrado), Faculdade de Ciências. Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP. <https://repositorio.unesp.br/items/43f247cd-85e3-46c9-86dc-4d8f28af6690>

Azevedo, Natália H., & Scarpa, Daniela L. (2017). Um levantamento em larga escala das concepções de natureza da ciência de graduandos de biologia brasileiros e os possíveis elementos formativos associados. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 19, 484-511. <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190121>

Bagdonas, Alexandre. (2011). *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia*. (Dissertação de mestrado), Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. <https://doi.org/10.11606/d.81.2011.tde-19072011-112602>

Bagdonas, Alexandre & Silva, Cibelle. (2013). Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica. In Cibelle Silva & Maria Elice B. Prestes (Orgs.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. (p. 229-244) (1a ed.). São Carlos, SP: Tipographia.

<https://repositorio.usp.br/item/002456687>

Bagdonas, Alexandre, Zanetic, João, & Gurgel, Ivã. (2014). 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. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(2), 242-260.
<http://dx.doi.org/10.53727/rbhc.v7i2.199>

Bagdonas, Alexandre. (2015). *Controvérsias envolvendo a natureza da ciência em sequências didáticas sobre cosmologia*. (Tese de doutorado). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. <https://doi.org/10.11606/T.81.2015.tde-14092015-112555>

Bagdonas, Alexandre, & Silva, Cibelle. (2015). Enhancing Teachers' Awareness About Relations Between Science and Religion. *Science & Education*, 24(9-10), 1173-1199. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9781-7>

Bagdonas, Alexandre, Zanetic, João, & Gurgel, Ivã (2017). Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. *Revista Brasileiro de Ensino de Física*, 39(2), e2602. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0257>

Bagdonas, Alexandre, Zanetic, João, & Gurgel, Ivã. (2018). O maior erro de Einstein? Debatendo o papel dos erros na ciência através de um jogo didático sobre cosmologia. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 35(1), 97-117. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n1p97>

Bagdonas, Alexandre. (2020). A favor e contra o método: a tensão entre racionalismo e anarquismo epistemológico na controvérsia entre Big Bang e estado estacionário. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1250-1277. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1250>

Bagdonas, Alexandre, & Kojevnikov, Alexei. (2021). Funny origins of the Big Bang theory. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 51(1), 87-137. <http://dx.doi.org/10.1525/hsns.2021.51.1.87>

Bagdonas, Alexandre, & Silva, Climério. (2023). O papel epistêmico da diversidade e as origens metafísicas da teoria do Big Bang: reflexões para a educação científica. *Ciência & Educação (Bauru)*, 29, e23029. <https://doi.org/10.1590/1516-731320230029>

Bejarano, Nelson R. R.; Aduriz-Bravo, Augustín.; Bonfim, Carolina S. (2019). Natureza da Ciência (NOS): para além do consenso. *Ciência & Educação (Bauru)*, 25(4), 967-982. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190040008>

Bondi, Hermann, & Gold, Thomas. (1948). The Steady-State Theory of the Expanding Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 198, 252–270. <https://doi.org/10.1093/mnras/108.3.252>

Gonçalves, Paula C. D. S., Horvath, Jorge E., & Bretones, Paulo. S. (2022). Estado da Arte de pesquisas sobre a Educação em Cosmologia. *Ciência & Educação (Bauru)*, 28, e22044. <https://doi.org/10.1590/1516-731320220044>

Brush, Stephen G. (1992). How cosmology became a science, *Scientific American*, 267, 62-70. <https://www.scientificamerican.com/article/how-cosmology-became-a-science/>

Brush, Stephen G. (1993). Prediction and Theory Evaluation: Cosmic Microwaves and the Revival of the Big Bang, *Perspectives on Science*, 1, 565-602. https://doi.org/10.1162/posc_a_00447

Chalmers, Alan F. (1993). *O que é ciência afinal?* São Paulo, SP: Brasiliense.. https://books.google.com.br/books/about/O_que_é_ciéncia_afinal.html?id=NgtAAACAAJ&redir_esc=y

Durbano, João Paulo M., & Prestes, Maria Elice B. (2013). Comparação das ferramentas VNOS-C e VOSE para obtenção de concepções de alunos do IB/USP acerca da Natureza da Ciência. In Cibelle Silva & ; Maria Elice B. Prestes (Orgs.). Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas. (pp. 229-244) (1a ed.). São Carlos, SP: Tipographia. https://www.researchgate.net/publication/281593038_Comparacao_das_ferramentas_VNOS-C_e_VOSE_para_obtencao_de_concepcoes_de_alunos_do_IBUSP_acerca_da_Natureza_da_Ciencia

Diniz, Natália P., & Rezende Junior, Mikael F. (2019). Percepções de alunos e professores sobre a natureza da ciência e o trabalho científico nas produções acadêmicas da área de educação em ciências. *Educere: revista de educação da Unipar*, 19(1),-29-71.
<http://dx.doi.org/10.25110/educere.v19i1.2019.6805>

Eflin, Juli, Glennan, S., & Reish, G. (1999). The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107-116.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199901\)36:1<107::AID-TEA7>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199901)36:1<107::AID-TEA7>3.0.CO;2-3)

Forato, Thaís Cyrino. Carneiro, Isabelle Priscila, & Ferreira, Gabriela Kaiana. (2023). History of Physics and Socio-Scientific Issues: Approaching Gender and Social Justice. In Mehmet Fatih Taşar & Paula R. L. Heron (Eds.) *The International Handbook of Physics Education Research: Special Topics*, (pp.1-30, cap.8). AIP Publishing Books. https://doi.org/10.1063/9780735425514_008

Fourez, Gerard. (1995). *A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências*. São Paulo, SP: Unesp.
https://books.google.com.br/books/about/A_construcao_das_ciencias.html?id=1_67UeNoxvQC&redir_esc=y

Friedmann, Alexander. (1922). Über die krümmung des raumes, *Zeitschrift für Physik*, 10, 377-386. [tradução para o inglês, On the curvature of space). In Jeremy Bernstein & Gerald Feinberg (Eds.) *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, (p. 49-59), New York, United States of America: Columbia University Press, 1986. <https://doi.org/10.1007/BF01332580>

Gama, Leandro Daros. (2011). Autoridade da ciência e educação: abrindo caixas pretas com a problematização de discursos da mídia e temas da física. (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.. <https://doi.org/10.11606/D.81.2011.tde-30092011-145842>.

Gamow, George. (1938). A toy universe, Discovery. *The Popular Journal of knowledge*, 19(12),431-439.

Gamow, Gamow, & Teller, Edward. (1939). On the origin of great nebulae. *Physical Review*, 55(7), 654-657. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.55.654>

Gamow, George. (1940). George. Mr Tompkins in Wonderland. Cambridge, United States of America: Cambridge University Press. <https://www.arvindguptatoys.com/arvindgupta/tompkins.pdf>

Gamow, George. (1946). Expanding universe and the origin of elements, *Physical Review*, 70(7-8), 572-573. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.70.572.2>

Gil-Pérez, Daniel, Montoro, Isabel F., Alís, Jaime C., Cachapuz, Antonio & Praia, João. (2001). Para uma Imagem Não-deformada do Trabalho Científico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(2), 125-153. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>

Harrisson, Edward. (1987). *Darkness at night: a riddle of the universe*, Cambridge, United States of America: Harvard University Press..
https://books.google.com.br/books/about/Darkness_at_Night.html?id=IRKYueWVftYC&redir_esc=y

Harrisson, Edward. R. (1981). *Cosmology. The Science of the Universe*. Cambridge, United States of America:Cambridge University Press,
https://books.google.com.br/books/about/Cosmology.html?id=vLEiPwAACAAJ&redir_esc=y

Hodson, Derek. (1985). Philosophy of Science, Science and Science Education. *Studies in Science Education*, 12 (1), 25-57. <https://doi.org/10.1080/03057268508559922>

Hodson, Derek. (2014). Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases. (911-970) In: Michael R. Matthews (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* I(Vol. 3) (pp. 911-970) Dordrecht: Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7654-8_28

Hoyle, Fred. (1948). A new model for the Expanding Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical*

Society, 198, 372–382. [10.1093/mnras/108.5.372](https://doi.org/10.1093/mnras/108.5.372)
https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1948MNRAS.108..372H/doi:10.1093/mnras/108.5.372

Hoyle, Fred. (1950). *The nature of the universe*, Oxford: Blackwell, 1952.
https://books.google.com.br/books/about/The_Nature_of_the_Universe.html?id=U_rJzgEACAAJ&redir_esc=y

Irzik, Gurol., & Nola, Robert. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-010-9293-4>

Kragh, Helge. (1996). *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. Princeton, United States of America: Princeton University Press..
https://books.google.com.br/books/about/Cosmology_and_Controversy.html?id=Fg6zQgAACAAJ&redir_esc=y

Kragh, Helge. (2004). *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology*. London, United Kingdom: Imperial College Press.
https://books.google.com.br/books/about/Matter_and_Spirit_in_the_Universe.html?id=iyaiDORGpQC&redir_esc=y

Kragh, Helge. (2011). On modern cosmology and its place in science education. *Science & Education*, 20, 343-357. <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-010-9271-x>

Lederman, Norman G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of research in science teaching*, 29(4), 331-359.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660290404>

Lederman, Norman G., Abd-El-Khalick, Fouad, Bell, Randy L., & Schwartz, Renné S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of research in science teaching*, 39(6), 497-521. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.10034>

Lederman, Norman. (2007). Nature of science: past, present, and future. In Sandra Abell & Norman Lederman (Eds.). *Handbook of research on science education* (pp. 831-880). Mahwah, United States of America: Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9780203824696>

Lemaître, Georges. (1927). Un Univers Homogène de Masse Constante et de Rayon Croissant Rendant Compte de la Vitesse Radiale des Nébuleuses Extra-Galactiques, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 47, 49. Bibcode 1927ASSB...47...49L
<https://archives.uclouvain.be/ark:/33176/dli000000eVnQ#?c=0&m=0&s=0&cv=0>

Lemaître, Georges. (1931). The beginning of the world from the point of view of quantum theory. *Nature*, 127(3210), 706-706. <https://doi.org/10.1038/127706B0>

López-Corredoira, Martin. (2014). Non-standard models and the sociology of cosmology. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, 86-96.
<https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2013.11.005>

Martins, André Ferrer Pinto. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703-737.
<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703>

Martins, André Ferrer Pinto. (2019). História, Filosofia e Sociologia da Ciência: mais do que nunca!. In André Ferrer Pinto Martins (Org.). *Física, Cultura e Ensino de Ciências*. (pp. 195-214), São Paulo, SP: Livraria da Física.
https://books.google.com.br/books/about/Fisica_Cultura_Ensino_De_Ci%C3%A3ncias.html?id=BdQYxgEACAAJ&redir_esc=y

Martins, Roberto de Andrade. (1990). Sobre o papel da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, 9, 3-5.
https://www.researchgate.net/publication/275833103_Sobre_o_papel_da_historia_da_ciencia_no_ensin

o

Martins, Roberto de Andrade. (1994). *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo, SP: Moderna. <https://www.ghtc.usp.br/Universo/>

Martins, Roberto de Andrade. (2006). Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In Cibelle Silva.(Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. (p.xxi-xxxiv) São Paulo, SP: Livraria da Física. https://books.google.com.br/books/about/Estudos_de_Hist%C3%B3ria_e_Filosofia_das_Ci.html?hl=pt-BR&id=F750RivGOAgC&redir_esc=y

Martins, Roberto de Andrade, Silva, Cibelle, & Prestes, Maria Elice. (2014). History and philosophy of science in science education in Brazil. In: Michael. R. Mathews, *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. (pp. 2271-2298). Dordrecht, The Netherlands: Springer.. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_70

Mathews, Michael R. (1989). History, philosophy, and science teaching: a brief review. *Synthese*, 80, (1), 1-7. <https://www.jstor.org/stable/20116664>

Mathews, Michael R. (1992). History, Philosophy, and Science Teaching: the present rapprochement. *Science & Education*, 1, 11-47. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00430208>

Mathews, Michael R. (1994). Historia y Epistemología de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanzas de las ciencias*, 12(2), 225-277. <https://core.ac.uk/download/pdf/13273449.pdf>

Mathews, Michael. R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In: Myint S. Khine (ed.). *Advances in Nature of Science Research*. (pp. 3-6) Dordrecht, The Netherlands: Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2457-0_1

McComas, William. F., Almazroa, Hiya,. & Clough, Michael P. (1998). The nature of science in science education: An introduction. *Science & Education*, 7, 511-532. <https://doi.org/10.1023/A:1008642510402>

McIntyre, Lee. (2018). *Post-truth*. Cambridge, United States of America: MIT Press. <http://dx.doi.org/10.31577/orgf.2019.26210>

Neves, Marcos C. D. (2000). A questão controversa da cosmologia moderna: Hubble e o infinito parte 1. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 17(2), 189-204. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6772/0>

North, John David. (1965). *Measure of the universe: a history of modern cosmology*. (ed. 1991). New York, United States of America: Dover. https://books.google.com.br/books/about/The_Measure_of_the_Universe.html?id=wFVAAAAIAAJ&redir_esc=y

Oreskes, Naomi. (2019). *Why trust science?* Princeton, United States of America: Princeton University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/pls.2020.13>

Peebles, James. (1971) *Physical Cosmology*, Princeton, United States of America: Princeton University Press. https://books.google.com.br/books/about/Principles_of_Physical_Cosmology.html?id=AmlEt6TJ6jAC&redir_esc=y

Pereira, Felipe P. C. & Gurgel, Ivã. (2020). O ensino da Natureza da Ciência como forma de resistência aos movimentos Anticiência: o realismo estrutural como contraponto ao relativismo epistêmico. *Caderno Brasileiro de Ensino De Física*, 37(3), 1278–1319. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1278>

Pivaro, Gabriela Fasolo, & Júnior, Gildo Girotto. (2020). O ataque organizado à ciência como forma de manipulação: do aquecimento global ao coronavírus. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1074-1098. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1074>

- Pivaro, Gabriela Fasolo, & Júnior, Gildo Girotto. (2022). Qual ciência é negada nas redes sociais? Reflexões de uma pesquisa etnográfica em uma comunidade virtual negacionista. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(1), 435-458. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p435>
- Rozentalski, Evandro F., & Porto, Paulo A. (2013). Uma questão não consensual no ensino de química–o caso dos orbitais. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (n. extra), 3109-3113. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308280>
- Rozentalski, Evandro F. (2018). Indo além da Natureza da Ciência: o filosofar sobre a Química por meio da ética química. (Tese de doutorado). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. <https://doi.org/10.11606/T.81.2018.tde-16072018-141205>.
- Rudge, David W., & Howe, Eric M. (2013). Whiter the VNOS. In Cibelle Silva & Maria Elice Prestes. (Eds.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp.225–234). São Carlos, SP: Tipographia Editora Expressa. <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/84>
- Santos, Wildson L. P., & Mortimer, Eduardo F. (2000). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em educação em ciências*, 2(2), 1-23. <https://doi.org/10.1590/1983-21172000020202%20>
- Seabra, Maria. (2018). *Problematizando o estudo da cosmologia para a Educação Básica: Por que a noite é escura?* (Dissertação de mestrado). Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/32836>
- Silva Neto, Clímerio, & Bagdonas, Alexandre. (2024). Elétrons livres e coletivismo: sobre o papel epistêmico da diversidade na história da física da matéria condensada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20230312. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0312>
- Silva, Rômulo Ramunch Mourão. (2020) *A Cosmologia em revista: uma Ciência SuperInteressante?* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba, MG. <http://bdtd.ufmt.edu.br/handle/123456789/1436>
- Silva, Vinícius Carvalho, & Videira, Antonio Augusto Passos. (2020). Como as ciências morrem? Os ataques ao conhecimento na era da pós-verdade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1041-1073. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1041>
- Silveira, Fernando Lang. (1996). A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo. *Caderno Brasileiro De Ensino de Física*, 13(3), 197–218. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7046>
- Skolimowski, Kellen N. (2014). Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino. (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. <https://doi.org/10.11606/D.81.2014.tde-09042015-154106>
- Sotério, Carolina. (2021). The provisional nature of science evidenced in times of pandemic. *Alternautas*, 8 (1), 82-99. <https://doi.org/10.31273/alternautas.v8i1.1121>
- Susalla, Peter (2013). *The Last Dim Horizon: Scientific Cosmology in Twentieth-century America* Thesis (Ph. D. thesis)- The University of Wisconsin, Madison, United States of America. <https://www.proquest.com/openview/07d88f187ccff1638b0ee6b8d4efe77f1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>
- Teixeira, Elder S., Freire Jr, Olival, & El-Hani, Charbel N. (2009). A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. *Ciência & Educação (Bauru)*, 15(3), 529-556. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132009000300006>
- Vázquez, Ángel, Manassero, María A., Acevedo-Díaz, José Antonio, & Acevedo-Romero, Pilar. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista electrónica de enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 331-363. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92040201>

Videira, Antonio A. P. (2006a). Breves considerações sobre a natureza do método científico. In Cibelle Silva. *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para a aplicação no Ensino*. (pp.22-40). São Paulo, SP: Livraria da Física.
https://books.google.com.br/books?id=F750RivGOAgC&pg=PA23&hl=pt-BR&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false

Videira, Antonio A. P. (2006b). Princípios em Cosmologia In Roberto de Andrade Martins, Guillermo Boido, & Victor Rodríguez. (Eds.). *Física: Estudos Filosóficos e Históricos*.(pp. 1-18) Campinas, SP: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul AFHIC. <https://philpapers.org/rec/MARFEF-4>

Videira, Antonio A. P. & Ribeiro, Marcelo B. (2004). Cosmologia e Pluralismo Teórico. *Scientiae Studia (USP)*, São Paulo, 2(4), 519-535. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662004000400004>

Weinberg, Steven. (1972). *Gravitation and Cosmology*. New York, United States of America: John Wiley. <https://books.google.com.br/books?id=XLbvAAAAMAAJ>

Weinberg, Steven. (1977). *The first three minutes*. New York, United States of America: Bantam, https://books.google.com.br/books/about/The_First_Three_Minutes.html?id=nvgoAAAAAYAAJ&redir_esc=y

Zanetic, João. (1989). *Física também é cultura*. (Tese de doutorado), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. <https://repositorio.usp.br/item/000731157>

Recebido em: 29.09.2023

Aceito em: 29.05.2024