

Recebido: 18/02/2026 | Aceito: 05/05/2026

DOI: <https://doi.org/10.5380/rbpef.v2.103492>

A CONTROVÉRSIA MICHELSON-MORLEY-MILLER E A NATUREZA DA CIÊNCIA: RESULTADOS DE UMA INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA

Thiago de Araújo Paula [thiago.dap@gmail.com]

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte /Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
Natal – Rio Grande do Norte - Brasil*

Juliana Mesquita Hidalgo [julianahidalgo@fisica.ufrn.br]

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte / Departamento de Física
Natal – Rio Grande do Norte - Brasil*

Resumo

O artigo investiga os impactos de uma sequência didática baseada na História e Filosofia da Ciência na compreensão da Natureza da Ciência por alunos do 2º ano do Ensino Médio. A intervenção, estruturada nos Três Momentos Pedagógicos, abordou a controvérsia envolvendo Michelson, Morley e Miller por meio de narrativas em Padlet, discussões e atividade escrita. Com abordagem qualitativa, analisaram-se textos de 14 estudantes, organizados em cinco temas: ciência como atividade coletiva, criatividade, caráter provisório, controvérsias e invisibilização de personagens. Os resultados mostram avanços na compreensão da ciência como empreendimento coletivo e provisório, além do reconhecimento de debates entre cientistas. Parte dos alunos destacou a criatividade ligada a modificações experimentais e à coleta de dados, e muitos identificaram a invisibilização de Dayton Miller. Persistiram dificuldades na articulação de aspectos epistemológicos, especialmente sobre criatividade e contextualização histórica.

Palavras-Chave: Natureza da Ciência. História e Filosofia da Ciência. Controvérsias científicas. Experimentos de Michelson-Morley-Miller. Ensino de Física.

The Michelson–Morley–Miller controversy and the Nature of Science: results from an empirical investigation

Abstract

The article investigates the impacts of a teaching sequence based on the History and Philosophy of Science on high school sophomores' understanding of the Nature of Science. The intervention, structured around the Three Pedagogical Moments, addressed the controversy involving Michelson, Morley, and Miller through narratives on Padlet, guided discussions, and an individual written task. Using a qualitative approach, the study analyzed texts produced by 14 students, organized into five themes: science as a collective activity, creativity, the tentative nature of scientific knowledge, scientific controversies, and the invisibility of certain figures. The results indicate progress in understanding science as a collective and provisional enterprise, as well as recognition of disagreements and debates among scientists. Some students highlighted creativity in experimental modifications and data collection strategies, and many identified the marginalization of Dayton Miller. Despite these advances, difficulties remained in articulating certain epistemological aspects, particularly regarding creativity and broader historical contextualization.

Keywords: Nature of Science. History and Philosophy of Science. Scientific controversies. Michelson-Morley-Miller Experiments. Physics Education.

La controversia Michelson–Morley–Miller y la Naturaleza de la Ciencia: resultados de una investigación empírica

Resumen

El artículo investiga los efectos de una secuencia didáctica basada en la Historia y Filosofía de la Ciencia en la comprensión de la Naturaleza de la Ciencia en estudiantes de secundaria. La intervención, estructurada en los Tres Momentos Pedagógicos, abordó la controversia entre Michelson, Morley y Miller mediante narrativas en Padlet, discusiones guiadas y una actividad escrita. Con enfoque cualitativo, se analizaron textos de 14 estudiantes, organizados en cinco temas: ciencia como actividad colectiva, creatividad, carácter provisional, controversias e invisibilización de personajes. Los resultados muestran avances en la comprensión de la ciencia como empresa colectiva y provisional, así como el reconocimiento de debates científicos. Algunos estudiantes destacaron la creatividad en modificaciones experimentales y recolección de datos, y muchos identificaron la invisibilización de Dayton Miller. Persistieron dificultades en aspectos epistemológicos, especialmente en creatividad y contextualización histórica.

Palabras clave: Naturaleza de la Ciencia. Historia y Filosofía de la Ciencia. Controversias científicas. Experimentos de Michelson-Morley-Miller. Enseñanza de la Física.

1. INTRODUÇÃO

A legislação brasileira cita como um dos objetivos da educação científica "*compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano e o conhecimento científico como provisório, cultural e histórico*" (Brasil, 2018, p. 324). É imprescindível que os estudantes reflitam acerca da ciência e das formas como ela é construída, sendo a História da Ciência um dos possíveis caminhos para isso (Martins, R., 2006; Sasseron & Carvalho, 2011; Guerra, 2014).

A utilização didática de episódios históricos possibilita, por exemplo, evidenciar que o processo de construção do conhecimento científico envolve "crenças, valores, disputas e controvérsias" (Forato et al., 2012, p. 125). Entende-se que:

Controvérsias científicas são constituintes produtivos do processo de elaboração de conhecimentos. Elas explicitam pressupostos teóricos e metodológicos de seus protagonistas, estimulam a criatividade, ensejam novos experimentos, viabilizam a análise de um mesmo conceito ou experimento sob diferentes perspectivas, possibilitam ver que a relação entre uma teoria/concepção teórica e seus fundamentos experimentais nada tem de trivial. (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 43).

A introdução de controvérsias históricas da ciência em sala de aula encontra significativo apoio na literatura acadêmica, que reconhece sua relevância e potencialidade para colaborar com o ensino de conteúdos científicos e da temática Natureza da Ciência (Kipnis, 2000; Niaz, 2009; Stefanidou & Vlachos, 2010).

Nesse sentido, o presente artigo focaliza uma controvérsia científica importante, envolvendo o trabalho experimental dos cientistas Albert Michelson (1852-1931), Edward Morley (1838-1923) e Dayton Miller (1866-1941), acerca do movimento da Terra em relação ao éter, meio no qual se supunha que a luz se propagava.

Nas primeiras décadas do século XX, Miller alegava ter detectado experimentalmente uma alteração na velocidade da luz em decorrência de um suposto vento do éter, diferentemente dos resultados nulos anteriores, relatados por Michelson, em 1881, pela dupla Michelson e Morley, em 1887, e por ele próprio e Morley, nos anos 1900.

Inicialmente, na década de 1880, a comunidade científica havia ficado insatisfeita com os resultados nulos, já que havia expectativa de notar efeitos do vento do éter na velocidade da luz. Com o passar do tempo, já no contexto da Teoria da Relatividade, que tinha como um de seus postulados a constância da velocidade da luz, aqueles resultados nulos foram aplaudidos. E, por outro lado, os resultados obtidos por Miller, que apontavam efeitos do suposto éter na velocidade da luz, foram vistos com desconfiança de erros. À medida que cresceu o prestígio da Teoria da Relatividade, a controvérsia foi abandonada pela comunidade científica.

Na divulgação científica e em livros didáticos, é usual encontrarmos narrativas distorcidas sobre este episódio, que citam o "experimento de Michelson-Morley" como motivação para a Teoria da Relatividade ou como uma prova dessa teoria (Collins; Pinch, 2010). Essas narrativas não relacionam o surgimento da Teoria da Relatividade a um problema teórico oriundo da incompatibilidade da mecânica clássica com o eletromagnetismo, além disso, costumam omitir a controvérsia em torno dos experimentos com o interferômetro e invisibilizam a participação de Dayton Miller (Paula, 2025).

Por outro lado, temos que a controvérsia ocorrida na época envolve tanto fatores epistemológicos como não-epistemológicos, que podem ser abordados no contexto educacional. O evento permite um estudo contextual de aspectos do desenvolvimento do conhecimento científico. Adicionalmente, podem ser abordados aspectos da Teoria da Relatividade, como o postulado da constância da velocidade da luz, bem como conceitos físicos, tais como interferência de ondas e padrões de interferência.

Diante das potencialidades desse episódio, ainda pouco exploradas no contexto da inserção didática da História e da Filosofia da Ciência e, particularmente, na abordagem da temática Natureza da Ciência, elaborou-se uma sequência didática¹, almejando que estudantes da Educação Básica percebam aspectos como a cooperação, a criatividade na ciência e a invisibilização de personagens. Isso porque, como apontam Peduzzi e Raicik (2020, p. 36): "A ciência (o empreendimento científico) é uma construção coletiva; o esquecimento ou mesmo o anonimato de muitos de seus personagens é injustificável". A sequência didática focaliza também a provisoriedade do conhecimento, o papel das controvérsias na ciência e a possibilidade de divergência entre os pesquisadores (Lederman et al., 2002; Niaz, 2009).

Nesse sentido, considera-se a pertinência das reflexões sugeridas por Martins (2015, p. 721) para o contexto escolar: "Os cientistas podem discordar entre si? Quais as possíveis razões para a ocorrência de uma discordância? Houve controvérsias na história da ciência? De que tipo? Ocorrem hoje em dia? De que modo as controvérsias são resolvidas"?

Consideramos a relevância e a originalidade de uma pesquisa empírica a respeito das potencialidades do episódio da controvérsia sobre o éter para a abordagem de questões relacionadas à Natureza da Ciência na Educação Básica. Nesse contexto, a sequência didática foi aplicada em intervenção conduzida por um dos autores do presente trabalho e realizou-se uma pesquisa de natureza empírica qualitativa, que buscou investigar, utilizando o procedimento de análise de conteúdo (Bardin, 2004), se e em que medida os objetivos almejados na intervenção foram atingidos, sendo, esta, a questão de pesquisa em foco no presente trabalho.

A seguir, descrevem-se brevemente o episódio histórico e a estrutura da sequência didática, a fim de que sejam discutidos os resultados da pesquisa².

2. O EPISÓDIO HISTÓRICO

Para um físico do século XIX, toda onda se propagava por um meio. Portanto, se a luz era uma onda, era necessário existir um meio pelo qual ela se propagava, o éter.

Uma questão pertinente, nesse contexto, era medir a velocidade da Terra em relação ao éter. Caso o éter não fosse arrastado pela Terra, o movimento da Terra causaria uma espécie de vento de éter. A luz teria velocidades distintas se seu movimento estivesse a favor ou contra o vento de éter (Swenson Jr., 1970; Martins, 2005).

O texto sobre o éter, na 9ª edição da *Encyclopedia Britannica*, foi elaborado por James Maxwell (1878). Ele propôs que seria possível determinar a velocidade relativa do éter em relação à Terra se pudéssemos medir os tempos levados para a luz viajar entre dois pontos na Terra, em sentidos opostos, e comparar os resultados.

Albert Michelson aceitou o desafio e, em 1881, publicou os resultados de sua investigação com um interferômetro. Uma fonte emitiria um feixe de luz que, ao chegar numa placa de vidro *b*, se dividiria. Um feixe seguiria para o espelho *d*, e outro para o espelho *c*. Após as reflexões, o feixe percorrendo *bd* seria refratado em *b* e o feixe percorrendo *bc* seria refletido. Desse modo, se juntariam num feixe ao longo do caminho *be*, chegando, por fim, a uma luneta, por meio da qual as franjas de interferência seriam observadas (Figura 1).

¹ Sequência didática refere-se a um conjunto de atividades de ensino-aprendizagem interligadas sobre determinado tópico (Méheut & Psillos, 2004).

² Este trabalho provém como recorte da dissertação desenvolvida pelo primeiro autor, sob orientação do coautor. Vide Paula, 2025.

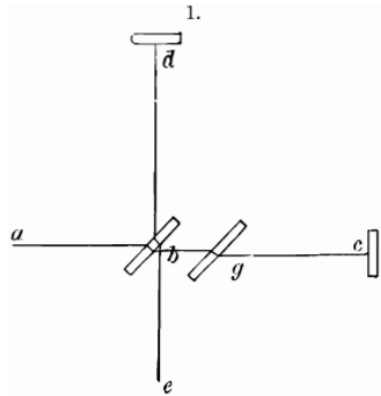


Figura 1: Diagrama do experimento. Fonte: Michelson, 1881, p. 122.

Em função do vento do éter, Michelson previa encontrar um deslocamento de aproximadamente $1/10$ da distância entre as franjas. O aparato utilizado era extremamente sensível a vibrações e a variações de temperatura, de modo que o experimento precisou ser realizado em um porão na pacata cidade de Potsdam, na Alemanha, a fim de tentar contornar aquelas adversidades (Figura 2).

Ao analisar os dados obtidos, Michelson chegou à conclusão de que não havia deslocamento das franjas de interferência. Contudo, o próprio Michelson e a comunidade científica consideravam que a sensibilidade do aparato poderia ser insuficiente para detectar o efeito (Michelson, 1881; Shankland, 1964b; Martins, R., 2023).

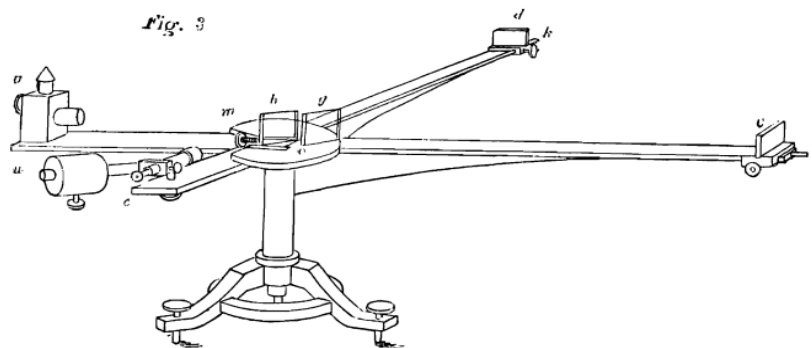


Figura 2: Representação do aparato utilizado por Michelson. Fonte: Michelson, 1881, p. 124.

Em 1882, quando retornou aos Estados Unidos, Michelson conheceu Edward Morley, que se interessou pelo problema. Teve início, então, a colaboração entre os pesquisadores. Michelson considerou a necessidade de realizar o experimento em altitude elevada. Ele apontou a possibilidade de que irregularidades da superfície da Terra pudessem aprisionar o éter (Shankland, 1964a). Morley, por sua vez, considerou a necessidade de que o experimento envolvesse a coleta de medidas por alguns minutos, todos os meses ao longo de um ano. Isto serviria para evidenciar se o efeito proveniente do movimento do sistema solar, de alguma forma, cancelasse o efeito devido ao movimento orbital da Terra (Shankland, 1964b).

Apesar dessas ponderações em relação ao protocolo, Michelson e Morley realizaram o experimento em um porão e ao longo de apenas quatro dias. Por outro lado, o aparato foi significativamente aprimorado para resolver os problemas de sensibilidade a vibrações e variações de temperatura. O caminho percorrido pela luz era cerca de dez vezes maior do que o empregado em Potsdam, a fim de que o efeito a ser observado fosse potencializado. Contudo, não se observou qualquer variação relevante na velocidade da luz. Michelson e Morley ficaram tão desanimados que acabaram abandonando momentaneamente essa linha de pesquisa. O experimento de 1887 foi frustrante para eles, na época (Swenson Jr., 1970; Michelson & Morley, 1887; Collins & Pinch, 2010; Martins, R., 2023).

Ao olharmos para a História da Ciência, vemos que o objetivo original do experimento com o interferômetro nada tinha a ver com a Relatividade e, inclusive, vinha sendo realizado antes do surgimento

dessa teoria. Tampouco tinha como objetivo testar a existência do éter. Pelo contrário, partia da concepção de que o éter existia (o que era amplamente aceito na época), para tentar medir a velocidade orbital da Terra. É importante destacarmos também que os resultados desses experimentos não foram interpretados, nesse momento, como uma ameaça ou uma refutação da hipótese do éter. No final do século XIX, o éter ocupava um lugar central na física teórica, estando profundamente associado à teoria ondulatória da luz e às tentativas de compreender interações eletromagnéticas. A rejeição dessa entidade implicaria uma reconfiguração profunda das bases conceituais da física então vigente. Nesse contexto, os resultados nulos obtidos com o interferômetro motivaram diferentes tentativas de explicação que buscavam conciliar os dados experimentais com a estrutura conceitual vigente.

Em 1893, Dayton Miller se juntou a Morley nas investigações. Em julho de 1905, Morley e Miller levaram o aparato para uma colina, em Cleveland. Relataram que não haviam conseguido eliminar totalmente os problemas relacionados à temperatura e, por fim, concluíram que não havia “*indicação de um vento de éter através do interferômetro*” (Morley & Miller, 1907, p. 525).

Em 1905, Einstein havia publicado trabalhos em que apresentava a Teoria da Relatividade Especial. Ele não havia se baseado nos resultados dos experimentos do interferômetro para a formulação daquela teoria (Martins, 2005). A associação direta entre os experimentos e o surgimento da Teoria da Relatividade constitui, em grande medida, uma reconstrução retrospectiva equivocada, bastante difundida em materiais didáticos e de divulgação científica. Em muitos relatos, o experimento de 1887 aparece como responsável por “derrubar o éter” ou motivar diretamente a formulação da Relatividade. Contudo, uma análise histórica não sustenta tais conexões. A constância da velocidade da luz foi introduzida por Einstein como um postulado da teoria, e não como uma conclusão derivada dos experimentos interferométricos. Morley e Miller, por sua vez, não estavam preocupados em “provar” a Teoria da Relatividade. Pelo contrário, haviam ficado frustrados por não terem notado qualquer variação da velocidade da luz em seus experimentos.

Após esses resultados negativos, Miller dirigiu sua atenção a outros temas e Morley se aposentou. Somente nos anos 1920, Miller voltou a se dedicar à questão. Entre abril de 1921 e dezembro do mesmo ano, Miller realizou medidas com o mesmo aparato que ele e Morley já haviam utilizado. Dessa vez, montou o aparato no observatório do Monte Wilson, a uma altitude aproximada de 1500 metros. Os resultados obtidos foram diferentes dos anteriores: Miller alegava ter medido um deslocamento das franjas causado pelo vento de éter, ainda que este fosse da ordem de 1/10 daquele previsto pela teoria (Miller, 1922).

Miller prosseguiu aperfeiçoando suas pesquisas. Entre 1922 e 1923, o aparato esteve de volta a Cleveland, onde passou por uma série de testes para melhorias. Miller realizou mais de cem mil medições, totalizando 4400 voltas do interferômetro entre abril e setembro de 1925 (Miller, 1926).

Na época, uma série de cientistas, incluindo o próprio Michelson, passaram a se dedicar à realização de experimentos com interferômetros cada vez mais sofisticados, com o intuito de testar os resultados de Miller. Todos obtiveram resultados nulos e, numa conferência realizada no topo do Monte Wilson, em 1927, Miller se viu como o único a anunciar resultados positivos. Curiosamente, Miller também era o único que havia cumprido todo o protocolo pensado por Michelson e Morley, incluindo realizar o experimento em altitude elevada e repetir as medidas ao longo das estações do ano (Collins & Pinch, 2010).

A comunidade científica, contudo, acabou perdendo o interesse pelos resultados de Miller. Esses eram uma anomalia indesejada no contexto de aceitação da Teoria da Relatividade, que tinha como postulado fundamental a constância da velocidade da luz (Collins & Pinch, 2010). Miller faleceu, em 1941, convencido de que estava certo. Posteriormente, Robert Shankland (1908-1982) e sua equipe analisaram os dados de Miller com supercomputadores. Chegaram à conclusão de que o efeito do vento de éter, que Miller alegava ter detectado, correspondia a erros experimentais oriundos de efeitos térmicos (Shankland et al., 1955).

Analisando este episódio histórico da Física Moderna, percebem-se oportunidades para ensinar sobre a Natureza da Ciência de modo historicamente contextualizado (Lederman et al., 2002; Niaz, 2009; Forato et al., 2012; Martins, A., 2015; Peduzzi; Raicik, 2020).

A ciência transparece como construção social coletiva. As limitações tecnológicas relacionadas às pesquisas permitem perceber a ciência inserida naquele contexto histórico em particular. Pode-se também compreender aspectos relacionados à provisoriidade do conhecimento científico, uma vez que o episódio nos permite acompanhar a transição das expectativas em relação ao éter com o decorrer do tempo. Diversos outros aspectos como o papel da criatividade e da imaginação na ciência podem ser discutidos. Por envolver uma controvérsia científica, o episódio dos experimentos com o interferômetro nos permite perceber que o desenvolvimento da ciência envolve a competição de teorias e explicações rivais. Outro aspecto muito

significativo a ser explorado por meio da contextualização da participação de Miller nas pesquisas é a invisibilização de personagens da História da Ciência³.

Para levar o episódio histórico ao contexto educacional, há necessidade de adequações: *“Transformar conteúdos da História e da Filosofia da Ciência em conteúdos adequados à escola básica requer admitir uma mudança de nicho epistemológico”* (Forato et al., 2012, p. 127). A partir dessa perspectiva, traz-se a estrutura da sequência didática elaborada, a fim de discutir os resultados da pesquisa realizada por ocasião da sua aplicação.

3. CARACTERIZAÇÃO DA INTERVENÇÃO

A incorporação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) ao ensino tem sido apontada como uma estratégia relevante para tornar as práticas pedagógicas mais significativas e próximas do universo cultural dos estudantes, que já convivem cotidianamente com ambientes digitais e redes de comunicação. Nesse contexto, o uso de recursos virtuais pode favorecer a construção de aprendizagens mais dinâmicas, interativas e colaborativas, ampliando as possibilidades de mediação pedagógica para além das práticas tradicionais baseadas exclusivamente na aula expositiva (Manhães, 2016; Soares et al., 2016). No campo da inserção didática da História e Filosofia da Ciência, tais ferramentas também podem contribuir para a apresentação de narrativas históricas, documentos, imagens e discussões em formatos multimodais, potencializando o engajamento dos estudantes e favorecendo a construção coletiva de interpretações sobre episódios históricos da ciência. Considerando essas potencialidades, optou-se neste trabalho pela utilização do Padlet, uma plataforma digital que funciona como um mural interativo e colaborativo, permitindo organizar textos, imagens e comentários em um ambiente visualmente acessível e dinâmico, o que o torna particularmente adequado para a exploração didática de narrativas históricas e para a promoção de interações entre os estudantes.

Elaborou-se uma série de textos e narrativas histórico-pedagógicas⁴: “Controvérsias na ciência?”, “A física dos experimentos”, “O experimento de Potsdam”⁵, “O experimento de Michelson e Morley, 1887”, “Morley e o invisível Miller”⁶ e “Miller contra o mundo”. São textos curtos, de 2 a 3 páginas, em linguagem acessível e ilustrados. Esses materiais de leitura foram organizados no Padlet intitulado “Caminhos científicos: os experimentos de Michelson-Morley-Miller”⁷.

Propôs-se a utilização do Padlet em uma sequência didática estruturada de acordo com a dinâmica metodológica dos Três Momentos Pedagógicos (Delizoicov, Angotti & Pernambuco, 2002). A intervenção didática ocorreu em escola localizada na cidade de Parnamirim, no estado do Rio Grande do Norte. Envolveu a participação de 14 estudantes do 2º ano do Ensino Médio, com idades entre 16 e 18 anos. Foi conduzida como atividade optativa pelo professor de Física da escola, primeiro autor do presente trabalho. Ocorreu ao longo de dez dias, incluindo encontros presenciais e atividades extraclasse orientadas pelo professor⁸.

No momento de problematização inicial, o professor explicou a proposta geral da intervenção. Em seguida, exibiu o vídeo de divulgação científica “Introdução à Experiência de Michelson-Morley | A Relatividade Especial | Física | Khan Academy”⁹.

³ Considerando o episódio histórico, julga-se que este pode exemplificar determinados aspectos da Natureza da Ciência. Outros aspectos poderiam ser citados a partir do mesmo episódio, assim como outros episódios poderiam evidenciar os mesmos ou, ainda, outros aspectos da ciência. Assim como Forato et al. (2017, p. 3512), argumenta-se aqui que “apresentar um conjunto de aspectos da NDC não significa, necessariamente, que se está defendendo uma visão essencialista das ciências. Abordagens historiográficas atuais exemplificam fatores epistêmicos e não epistêmicos envolvidos na elaboração de conceitos e teorias das ciências, que podem se modificar de um contexto para outro, de uma ciência para outra. Cada episódio e abordagem podem evidenciar um conjunto peculiar de NDC.”

⁴ Esses textos de conteúdo histórico, elaborados para utilização no contexto educacional, constituem um dos recursos propostos com maior frequência para a inserção didática da história da ciência (Schirmer & Sauerwein, 2015; Oliveira et al., 2021).

⁵ Este texto apresenta o experimento de 1881, acompanhado dos seus resultados, e introduz a reflexão de que este não foi ponto de partida para a Teoria da Relatividade Especial.

⁶ Esta narrativa histórico-pedagógica é finalizada com uma reflexão sobre a relação entre os experimentos e a Relatividade Especial, buscando problematizar visões distorcidas a esse respeito. De modo ilustrativo, citamos aqui a seguinte passagem da narrativa: “Mas será que o éter estava ameaçado pela não detecção de alterações na velocidade da luz decorrentes do seu suposto vento? A comunidade científica aceitava que o experimento de 1887 trazia complicações à teoria do éter, mas não a via como ameaçada pelo experimento. Dito isto, houve tentativas de explicar os resultados nulos.”

⁷ Textos disponíveis para download no Padlet: <https://padlet.com/caminhoscientificos/caminhos-cient-ficos-os-experimentos-de-michelson-morley-mil-q1n80jlqe5wnf997>

⁸ A realização da pesquisa foi autorizada pelos devidos responsáveis conforme Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (vide Paula, 2025).

⁹ Vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=bv2ataBdQ78>

Após a exibição do vídeo, os participantes foram apresentados a questões, dentre as quais se destacam: O que seria o éter, de acordo com o vídeo, para a física do século XIX? Que relação existiria entre medir a velocidade da luz em diferentes direções e medir a velocidade da Terra em relação ao éter? Qual era a proposta do experimento de Michelson-Morley? Para que ele serviria? Quais foram os resultados do experimento de Michelson-Morley? A que conclusão eles chegaram? Como esse experimento foi visto na física, quando realizado no século XIX? Que explicações surgiram para aquele “resultado falho”, isto é, para a não detecção de alguma diferença na velocidade da luz em direções diversas em função do vento do éter? Como a hipótese do éter foi afetada após o experimento? Em relação a como os cientistas trabalham na ciência, que aspectos do episódio apresentado indicam que a produção de conhecimento é uma atividade coletiva? Que aspectos do episódio indicam que o conhecimento científico pode mudar ao longo do tempo?

Concluída a segunda exibição do vídeo, o professor-mediador retomou as questões propostas para reflexão. Observou-se que a maioria dos participantes evitava falar, aguardando que alguém comentasse antes de concordar. Ficou evidente que, para o grupo, a conceituação do éter e o objetivo dos cientistas não estavam claros a partir do que havia sido exibido pelo vídeo. Os participantes comentaram que não conseguiam responder adequadamente e que algumas perguntas não tinham respostas no vídeo. Demonstraram, explicitamente, curiosidade em relação ao tema, indicando que o objetivo de gerar a percepção da necessidade de adquirir novos conhecimentos foi alcançado.

No momento de construção do conhecimento, ao longo de uma semana, os participantes realizaram a leitura extraclasse individual dos textos e narrativas histórico-pedagógicas, à medida que foram progressivamente disponibilizados pelo professor no Padlet. Após a leitura de cada texto ou narrativa, os estudantes tinham 24 horas para comentá-lo, destacando o que entenderam a partir da leitura, o que mais chamou a atenção e o que não compreenderam. A Figura 3 mostra uma captura de tela do Padlet após as atividades de leitura e postagens de comentários, ilustrando, por meio do seu aspecto geral, a estrutura da página: cada texto disponibilizado para leitura é seguido logo abaixo por postagens dos estudantes.



Figura 3: Aspecto geral do padlet após as leituras e postagens de comentários. Informações que permitem a identificação dos participantes estão cobertas em vermelho.

Fonte: captura de tela e edição própria.

Ainda na etapa de construção do conhecimento, o professor mediou, de forma presencial, a retomada das leituras e a discussão coletiva acerca do episódio histórico, dos aspectos físicos envolvidos e das dimensões relativas à Natureza da Ciência contempladas na proposta. Os participantes puderam esclarecer suas dúvidas, sendo estas principalmente relacionadas aos aspectos físicos dos experimentos com o interferômetro. Também compartilharam suas impressões e opiniões sobre o que leram.

Destaca-se aqui a importância dos comentários dos participantes no Padlet, retomados pelo professor-mediador para direcionar esta etapa da intervenção. Nas postagens, os participantes haviam citado, por exemplo, a existência de controvérsias na ciência, a provisoriabilidade do conhecimento científico, a construção coletiva e a não neutralidade da ciência como o que mais chamava a atenção. Alguns deles citaram a ausência da referência a Miller no nome como os experimentos costumam ser conhecidos, isto é,

“o experimento de Michelson-Morley”. Dessa forma, trouxeram, de forma explícita, no contato com as leituras, aspectos da ciência que tencionávamos atingir como objetivos gerais da proposta. Esses comentários possibilitaram que o momento de discussão coletiva fosse mais rico e interessante.

A etapa final de implementação da sequência didática consistiu em uma atividade escrita individual. Cada participante deveria recorrer às narrativas histórico-pedagógicas previamente estudadas para identificar e apresentar evidências que contextualizassem explicitamente, por meio do episódio histórico, aspectos da Natureza da Ciência citados nas discussões. Os aspectos abordados incluíam: a ciência como atividade coletiva humana, o papel da criatividade na ciência, a provisoriedade do conhecimento científico, a existência de controvérsias e a possibilidade de discordância entre cientistas e, por fim, a invisibilização de personagens da ciência. Essas dimensões podem ser notadas em diversos elementos constitutivos do episódio tratado na intervenção. Por exemplo, as mudanças de concepções sobre o éter e a variabilidade ou não da velocidade da luz são indícios que apontam a provisoriedade do conhecimento científico. Conexões nesse sentido eram esperadas nas atividades escritas, uma vez que haviam sido estabelecidas nas leituras e discussões.

O Quadro 1 sintetiza as etapas da intervenção¹⁰.

Quadro 1: Síntese das etapas da intervenção. Fonte: autoria própria.

Problematização do conhecimento	Construção do conhecimento	Aplicação do conhecimento
Objetivo: Despertar nos estudantes a curiosidade e a percepção de que o conhecimento inicial de que dispõem é incompleto, evidenciando a necessidade de conhecer mais	Objetivo: Estabelecer a interação coletiva Oportunizar situação para que os estudantes exponham dúvidas e percepções sobre as leituras Promover a compreensão de aspectos científicos, históricos, e relacionados à NdC Construção de conhecimento sobre as temáticas (a ciência como atividade coletiva humana; a criatividade na ciência; a provisoriedade do conhecimento científico; as controvérsias científicas e a possibilidade de discordância entre cientistas; a invisibilização de personagens da ciência)	Objetivo: Realizar reflexão escrita sobre a NdC Relacionar o episódio histórico a dimensões da ciência abordadas no diálogo coletivo
Atividades: Exibição do vídeo "Introdução à Experiência de Michelson-Morley A Relatividade Especial Física" Disponibilização de questionamentos sobre o vídeo Segunda exibição do vídeo, orientada por questionamentos Diálogo coletivo sobre o vídeo	Atividades: Leituras extraclasse dos textos e narrativas histórico-pedagógicas Comentários extraclasse no Padlet Retomada presencial das leituras Diálogo coletivo presencial, mediado pelo professor, sobre o episódio histórico, aspectos físicos e relativos à NdC	Atividades: Atividade escrita individual extraclasse, retomando o episódio histórico e aspectos da NdC

A seguir, apresentam-se a metodologia e os resultados da pesquisa que buscou investigar se, e em que medida os objetivos almejados na intervenção foram atingidos.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

Considerando os objetivos propostos em termos de discussões historicamente contextualizadas de aspectos relacionados à Natureza da Ciência, buscou-se identificar possíveis impactos da implementação da sequência

¹⁰ Um relato detalhado e fundamentado da intervenção está disponível em Paula, 2025.

didática. Foi realizada uma investigação de natureza empírica e qualitativa. Para efeito de pesquisa, foram analisadas, segundo procedimento de análise de conteúdo (Bardin, 2004), as produções escritas individuais realizadas pelos participantes, com o intuito de identificar elementos que evidenciassem reflexões contextualizadas por meio do episódio sobre dimensões da ciência.

Realizou-se, primeiramente, uma leitura exploratória da produção escrita de cada participante. Essa leitura inicial evidenciou que a análise poderia ser conduzida com base em critérios estabelecidos *a priori*, relacionados a cada um dos aspectos da Natureza da Ciência selecionados como objetivos da proposta didática. Foram, assim, organizados cinco blocos temáticos. A seguir, lista-se cada bloco acompanhado de um descritivo resumido, exemplificando expectativas de contextualização dos aspectos por meio do episódio histórico a serem contempladas pelos participantes:

- Bloco 1: Ciência como atividade coletiva humana - Nas narrativas histórico-pedagógicas, são citadas a participação e a interação de vários personagens. Além de Michelson, Morley e Miller, o episódio histórico envolveu outros cientistas, tais como Hippolyte Fizeau, Alexander Graham Bell, Hermann von Helmholtz, Lorde Kelvin, Hendrik Lorentz, Albert Einstein, Ludwik Silberstein, Henry Gale e Robert Shankland. Como as narrativas demonstram, estes estiveram envolvidos de diversas formas, seja indiretamente, no financiamento ou encorajamento das pesquisas, seja diretamente, na realização dos testes ou na revisão dos resultados e teorias que os embasavam.
- Bloco 2: Papel da criatividade na ciência - Michelson se inspirou não somente em trabalhos científicos anteriores, mas também em sua experiência profissional como marinheiro para desenvolver o experimento que testaria o vento de éter. Se a Terra se move no éter, tal como um barco se move no mar, então deveria ser possível construir um instrumento que medisse a velocidade da Terra em relação ao éter. A analogia pensada por Michelson demonstra que o experimento provém de um lugar de imaginação e de um corpo de conhecimentos que o antecede. Também evidenciam a criatividade na ciência, a elaboração do engenhoso aparato experimental e as diversas modificações nele realizadas pelos cientistas, a fim de contornar os problemas de sensibilidade às vibrações e variações na temperatura. O protocolo estabelecido para a realização dos testes e as diversas modificações sugeridas nesse protocolo também ilustram a criatividade dos pesquisadores.
- Bloco 3: Provisoriedade do conhecimento científico - Poderiam ser citadas, por exemplo, as mudanças de concepções sobre o éter e a variabilidade ou não da velocidade da luz. Antes considerados anômalos, os resultados nulos obtidos por Michelson, em 1881, pela dupla Michelson e Morley, em 1887, e por Miller e Morley, nos anos 1900, passaram a ser vistos favoravelmente no contexto da Teoria da Relatividade. Em contraste, o resultado divulgado por Miller na década de 1920 foi recebido com desconfiança, embora, anteriormente à aceitação da Teoria da Relatividade, estivesse de acordo com as expectativas da comunidade científica.
- Bloco 4: Controvérsias e discordâncias entre cientistas - O episódio traz uma controvérsia *de fato*, isto é, uma disputa pública e persistente, na qual a discordância diz respeito às bases observacionais de uma alegação. A controvérsia a respeito das investigações sobre o éter envolveu aspectos epistêmicos e não-epistêmicos, e se desenvolveu por décadas até o seu desaparecimento.
- Bloco 5: Invisibilização de personagens na História da Ciência - A invisibilização de Miller ao alegar ter obtido resultados que contrariavam as expectativas da comunidade científica na década de 1920.

Embora houvesse expectativas quanto às respostas dos participantes, em razão dos conteúdos abordados e dos blocos temáticos previamente definidos com base nos objetivos da sequência didática, as categorias de análise não foram estabelecidas *a priori*. Elas emergiram da leitura atenta e da identificação das ideias centrais presentes nas produções escritas dos participantes, em consonância com os pressupostos da metodologia de análise de conteúdo (Bardin, 2004).

Dessa forma, cada bloco temático reúne um conjunto de categorias nas quais os participantes foram classificados com base nas informações extraídas de suas produções escritas. Essas categorias possibilitam a organização analítica dos dados e evidenciam as múltiplas dimensões segundo as quais os estudantes interpretaram o episódio histórico e reconheceram nele características da ciência. Os resultados da análise das produções foram cotejados com eventuais contribuições apresentadas pelos participantes ao longo da implementação da sequência didática. Cabe destacar que um mesmo indivíduo pôde ser incluído em mais de uma categoria, conforme a diversidade de aspectos identificados em sua produção¹¹.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

¹¹ Foram realizados registros de áudio das discussões e interações ao longo da aplicação da sequência didática. As transcrições das falas dos participantes estão disponíveis em Paula, 2025.

Quatorze estudantes participaram da intervenção e realizaram a atividade escrita final, sendo estes nomeados nas discussões a seguir como P_n, com n variando de 1 a 14. Nesta seção, apresentam-se os resultados da análise das produções escritas.

5.1 Bloco 1: Ciência como atividade coletiva humana

No primeiro bloco, foram analisadas as características identificadas pelos participantes, no episódio histórico, que demonstrariam ser a ciência uma atividade coletiva humana. Os resultados obtidos foram organizados no Quadro 2.

Quadro 2: Resultados do Bloco 1. Fonte: Autoria própria.

Categoria	Evidências mencionadas	Participante
A	Colaboração/atuação de Michelson, Morley e Miller	P ₄ , P ₇ , P ₁₁ , P ₁₃
B	Colaboração entre Michelson e Morley, em 1887	P ₆ , P ₇ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂
C	Colaboração entre outros cientistas, citados nominalmente, além de Michelson, Morley e Miller	P ₇ , P ₈
D	Colaboração/interação entre cientistas em equipe	P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₅ , P ₆ , P ₈
E	Atuação da comunidade científica	P ₁ , P ₃
F	Debates e controvérsias	P ₁ , P ₆ , P ₉ , P ₁₃ , P ₁₄

Na categoria A, foram inseridos os participantes P₄, P₇, P₁₁ e P₁₃. Esta se refere às menções à atuação de Michelson, Morley e Miller, citados nominalmente, como evidência do caráter coletivo da ciência. P₁₃ e P₄ fizeram apenas uma menção superficial, referindo-se, respectivamente, aos “experimentos relacionado [sic] ao éter entre os cientistas Albert Michelson, Edward Morley e Dayton Miller” e “experimento conduzido por três pesquisadores (Miller, Michelson e Morley)”. P₇ e P₁₁ também citaram os três pesquisadores, mas trouxeram especificidades em termos das atuações. P₇ mencionou a colaboração entre Michelson e Morley e a atuação posterior de Miller nas investigações. P₁₁ mencionou a colaboração entre Michelson e Morley, em 1887, e entre Morley e Miller, na primeira década do século XX.

Na categoria B, foram incluídos aqueles que mencionaram a colaboração entre Michelson e Morley, em 1887: P₆, P₇, P₁₀, P₁₁ e P₁₂. Desse grupo, P₇ e P₁₁ já haviam sido incluídos na categoria A, uma vez que citaram também a colaboração de Miller.

Destacam-se aqui, especificamente, os casos de P₆, P₁₀ e P₁₂. Ao citarem os pesquisadores envolvidos na investigação, nenhum dos três participantes mencionou o nome de Miller. Assim, tem-se que, ao mencionarem exclusivamente a atuação de Michelson e Morley, no experimento de 1887, esses indivíduos acabaram reproduzindo narrativas usuais na divulgação científica e livros didáticos, que invisibilizam a participação de Miller nas investigações - algo “injustificável”, como nos dizem Peduzzi e Raicik (2020).

Quanto à inclusão de P₆ na categoria B, é importante pontuar que, embora o participante não tenha citado o nome de Miller na atividade escrita final, ele o havia feito por ocasião de atividade anterior, realizada no Padlet, ao comentar a respeito das narrativas. Naquelas circunstâncias, P₆ havia mencionado a atuação de Miller em seus comentários sobre o texto “Miller contra o mundo”. Assim, há um contraste entre a resposta do participante àquela situação anterior e o que ele registrou na atividade escrita final. Observa-se, ainda, que, nesta última atividade, ele acrescentou apontamentos de caráter geral, os quais o levaram à inclusão em outras categorias relativas a esse mesmo bloco, como será discutido adiante.

Idealmente, a inclusão de um participante exclusivamente na categoria B (casos de P₁₀ e P₁₂) não seria desejável. Isso em virtude do conteúdo presente nas narrativas debatidas na intervenção, que ressaltam Miller como um dos protagonistas nas investigações e contrastam com a distorção histórica de reduzir todo esse rico episódio a um único experimento conduzido por Michelson e Morley, em 1887.

A próxima categoria, C, abrange os participantes P₇ e P₈, que mencionaram a atuação de outros cientistas nas investigações, além de Michelson, Morley e Miller. P₇ foi o único a mencionar a contribuição de Hippolyte Fizeau no debate sobre o éter, bem como o incentivo dado a Miller por Albert Einstein e Hendrik Lorentz para “refazer os experimentos”. P₈, por sua vez, também mencionou Albert Einstein. Contudo, o fez de maneira distorcida, em registros que vão de encontro aos conteúdos trazidos pelas narrativas na intervenção: “Miller [...] também trocava cartas com Einstein para que ambos pudessem se ajudar e apoiar um ao outro em seus experimentos, ainda que fossem contrários, quando Einstein discorda de Miller e formula a Teoria da Relatividade [...]”. É problemática a suposta relação registrada pelo participante entre a

discordância de Einstein e a formulação da Teoria da Relatividade, uma vez que as narrativas disponibilizadas no Padlet ratificam que os experimentos de Michelson, Morley e Miller não serviram como gênese para a elaboração da Teoria da Relatividade.

A categoria D incluiu P₁, P₂, P₃, P₅, P₆ e P₈. Os registros desses participantes indicaram, de modo geral, interação, colaboração ou trabalho em equipe realizados por cientistas. P₅ afirmou que “cientistas compartilham informações”, ao passo que P₃ indicou que “os cientistas trabalharam juntos nos seus experimentos”. P₈ foi incluído nesta categoria por mencionar que Miller trabalhou “com outros cientistas em seus projetos”. Já P₆ lembrou “os debates, as montagens e as criações de teorias efetuadas pela colaboração dos cientistas citados nos textos”. A menção aos debates chama a atenção na produção escrita deste participante. Retoma-se este ponto na discussão da categoria F.

Ainda entre os participantes incluídos na categoria D, notaram-se comentários gerais bem elaborados:

[...] o trabalho colaborativo e o debate entre cientistas de diferentes regiões e especialidades mostram como o avanço do conhecimento científico depende da contribuição e do consenso dentro de uma comunidade científica. Este aspecto coletivo é evidente nas interações e disputas entre os cientistas dos textos, que frequentemente se apoiam uns aos outros e ao mesmo tempo contestam ideias que não compartilham [P₁].

[...] outros cientistas se envolvem no experimento e justamente em um contexto cultural de termos científicos, áreas de estudo que envolvem eles, fica claro de que ia ocorrer que mais indivíduos criariam interesse pelo que era debatido [P₂].

Os dois participantes fizeram menção aos debates e foram os únicos a destacar que os cientistas provinham de áreas de estudo diferentes, possivelmente em referência às formações e atuações profissionais distintas de Michelson e Morley citadas nas narrativas.

A categoria E foi estabelecida para incluir os estudantes que mencionaram, de modo geral, a atuação da comunidade científica: P₁ e P₃. P₁ registrou que “o avanço do conhecimento científico depende da contribuição e do consenso dentro de uma comunidade científica”. Além do comentário sobre o qual se tratou na categoria anterior, P₃ citou também como evidência de ser a ciência uma atividade coletiva o modo “como a comunidade científica reagia aos resultados dos experimentos”, sendo o único participante a mencionar este ponto.

Por fim, a categoria F refere-se aos participantes P₁, P₆, P₉, P₁₃ e P₁₄, que citaram os debates e as controvérsias como evidência do caráter coletivo da ciência. Considerando que as controvérsias científicas constituem o tema central da proposta implementada, esta categoria numerosa em termos de participantes reveste-se de particular importância. Em trechos elaborados por P₁ e P₆, já transcritos para a presente análise, são mencionados debates, sendo estes também destacados pelos participantes como aspectos do trabalho coletivo na ciência. Já em declaração mais breve, P₁₄ pontuou que “o debate foi fundamental”.

Incluídos nessa categoria, P₉ e P₁₃ usaram como evidências do caráter coletivo da ciência as controvérsias entre Isaac Newton e Robert Hooke sobre a óptica e a controvérsia envolvendo Percival Lowell, que alegava ter detectado canais em Marte com um telescópio, e outros cientistas que discordaram dessas alegações ao repetirem as observações. Apesar de a intervenção didática abordar quase que exclusivamente o episódio do éter, esses exemplos são contemplados em passagem do texto “Controvérsias na Ciência?”, a primeira leitura indicada aos estudantes. O fato de P₉ e P₁₃ apontarem esses casos como evidência da dimensão coletiva da ciência foi positivo, pois essa conexão não havia sido provocada pelo professor-mediador nos diálogos presenciais.

De maneira geral, foram satisfatórios os resultados notados nas produções escritas finais dos participantes em termos da percepção da dimensão coletiva da ciência por meio do episódio histórico. P₂ e P₄ fizeram menção também ao contexto cultural em que o episódio histórico se situa. P₄, por exemplo, comentou: “É importante ressaltar que no contexto que os cientistas estavam inseridos, o Éter era praticamente uma certeza absoluta, revelando o pensamento coletivo e cultural (devido à crença da existência do Éter)”. O comentário do participante demonstra uma compreensão adequada do contexto teórico em que as investigações transcorreram. Em contraste, pontua-se como negativo o comentário problemático de P₈, apontando uma suposta relação entre os experimentos do interferômetro e a gênese da Teoria da Relatividade. Esta é uma visão distorcida sobre o episódio à qual as narrativas explicitamente se contrapõem. Também pontua-se como indesejável a menção exclusiva ao experimento de Michelson e Morley, de 1887,

sem o devido apontamento da participação de Miller nas investigações, como notado nas produções escritas de P₁₀ e P₁₂.

5.2 Bloco 2 – Papel da criatividade na ciência

Neste segundo bloco, analisa-se se os participantes identificaram no episódio histórico elementos demonstrativos do papel da criatividade na construção do conhecimento científico. O Quadro 3 sistematiza os resultados obtidos.

Quadro 3: Resultados do Bloco 2. Fonte: Autoria própria.

Categoria	Evidências mencionadas	Participante
A	Características e modificações do aparato experimental	P ₉ , P ₁₁ , P ₁₃
B	Características do protocolo experimental	P ₉ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃
C	Não mencionou	P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇ , P ₈ , P ₁₀ , P ₁₄

Nas categorias A e B, classificam-se os participantes que mencionaram aspectos relacionados ao aparato experimental e ao protocolo, respectivamente. Os estudantes P₉, P₁₁, P₁₃ foram classificados em ambas as categorias, enquanto P₁₂ se limitou a mencionar o protocolo experimental, sendo, portanto, classificado apenas na categoria B.

P₉ e P₁₃ apresentaram como evidência da criatividade na ciência, respectivamente, a realização do experimento em local aberto a uma certa altitude e a repetição do experimento em diferentes épocas do ano. Ambos destacaram as modificações no aparato experimental. P₁₂ mencionou a necessidade de realizar o experimento em dias e horários distintos, bem como a condição de realizá-lo em um porão. Nestas respostas, nota-se, particularmente, a atenção dos participantes a detalhes significativos das investigações.

P₁₁ trouxe, em sua produção escrita, diversos pontos relevantes ao tratar da criatividade na ciência: a construção do aparato por Michelson, a elaboração do protocolo experimental, as alterações realizadas no experimento, incluindo mudanças nos materiais, e “Miller e sua ideia de levar o interferômetro para o topo do Monte Wilson”. Ele foi o único participante a mencionar um exemplo emblemático do papel da criatividade no episódio: a inspiração de Michelson na analogia entre um barco se movendo no mar e a Terra se movendo no éter. A menção realizada pelo participante indica, ainda, a efetividade das discussões coletivas quanto a dirimir dúvidas e colaborar para a compreensão do episódio. A referida passagem havia sido explicada pelo professor-mediador na discussão coletiva, uma vez que, em seu comentário no Padlet sobre a narrativa que a trazia, P₁₁ havia demonstrado dificuldade em compreendê-la.

Em geral, nesse bloco de análise, observou-se uma redução na diversidade das respostas em comparação ao bloco anterior. Enquanto a análise referente ao primeiro bloco evidenciou uma ampla gama de respostas, quanto ao segundo bloco, os estudantes foram mais convergentes em suas observações. Foram satisfatórios os resultados observados nas produções dos participantes que contribuíram com suas percepções acerca de como a criatividade na ciência se manifestou no episódio. Em especial, destacam-se as reflexões de P₁₁, já citadas anteriormente. Por outro lado, nota-se que uma parcela significativa dos participantes (P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, P₆, P₇, P₈, P₁₀ e P₁₄), incluídos na categoria C, não mencionaram, em suas produções escritas, qualquer indicativo referente ao fato de o episódio demonstrar características de criatividade na ciência. Não ficou claro o motivo de tantos participantes não abordarem esse aspecto, e somente esse, em seus trabalhos. Contudo, é importante destacar que os participantes podem ter tido, de fato, dificuldade em reconhecer aspectos criativos no episódio histórico, uma vez que já vinham demonstrando dificuldades em reconhecer a importância da criatividade na prática científica. Nos meses anteriores à intervenção, o professor-mediador havia conduzido discussões exploratórias em sala de aula a fim de sondar visões sobre a ciência sustentadas pelos estudantes. Nessas ocasiões, observou, de modo geral, que os estudantes apresentavam concepções simplificadas sobre a ciência, como as visões empírico-indutivista e algorítmica, as quais, segundo Gil-Pérez e colaboradores (2001), tendem a minimizar o papel da criatividade na prática científica.

5.3 Bloco 3 – Provisoriedade do conhecimento científico

No terceiro bloco, foram analisadas as produções escritas quanto às características identificadas pelos participantes, no episódio histórico, que evidenciariam a provisoriedade do conhecimento científico. Os resultados obtidos estão organizados no Quadro 4, a seguir.

Quadro 4: Resultados do Bloco 3. Fonte: Autoria própria.

Categoria	Evidências mencionadas	Participante
A	A hipótese do éter	P ₁ , P ₃ , P ₄ , P ₆ , P ₇ , P ₈ , P ₉ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃
B	O trabalho de Michelson	P ₁₂
C	Falhas e resultados diferentes obtidos por Michelson e Morley	P ₁₀
D	Não mencionou	P ₂ , P ₅ , P ₁₄

Como evidência da provisoriedade do conhecimento, P₁₂ trouxe a expectativa inicial de Michelson e os resultados obtidos por ele, em 1881: “Contudo, durante seu próprio experimento, o próprio Michelson descobre que sua hipótese estava errada ao estudar que não havia diferença na velocidade da luz nas direções e sentidos considerados”. Anteriormente, no Padlet, Michelson havia sido o único cientista mencionado nominalmente por P₁₂, o que ocorreu em seu comentário sobre a narrativa “O experimento de Postdam”. É possível que o estudante tenha se interessado ou se agradado mais pelo caso de Michelson, escolhendo-o como ilustrativo.

Em geral, os participantes, com exceção de P₂, P₅ e P₁₄ trouxeram, como esperado, as modificações nas concepções em relação ao éter luminífero como evidência da provisoriedade do conhecimento científico, de forma que foram classificados na categoria A. Alguns escritos mais robustos nessa direção podem ser destacados como exemplo:

Diante desse cenário, onde o Éter era uma certeza absoluta, é de suma importância destacar a efemeridade das teorias na ciência, que a cada dia nascem, “morrem” e se reconstróem como uma fênix a cada descoberta, teoria, questionamento e pensamento [P₄].

Também não podemos esquecer o fato que o conhecimento científico pode mudar ao longo dos tempos, como podemos compreender com fato que “o vento de éter e o éter” deixaram de existir de acordo com as descobertas e experimentos realizados ao longo do texto 3 ao 6 [P₆].

Ao falarmos sobre a provisoriedade do conhecimento científico, vemos no texto 3 a partir do experimento de Michelson, como o éter que antes era concordado pela maioria da comunidade científica que existia foi na verdade começado a ser questionado quanto a sua veracidade [P₇].

As respostas transcritas demonstram articulação, no sentido de que aspectos como mudanças nas concepções em relação ao éter remetem à provisoriedade do conhecimento. Essa dimensão da ciência pode, efetivamente, ser contextualizada por meio do exemplo histórico. Contudo, é importante notar, nessas falas, traços que remetem a uma suposta derrubada da teoria do éter pelos experimentos com o interferômetro, sendo este um aspecto que se distancia do conteúdo trazido pelas narrativas estudadas na intervenção, as quais justamente procuram se opor a esse tipo de entendimento.

Alguns participantes demonstraram dificuldade ainda na compreensão do episódio, não chegando a estabelecer articulações adequadas. Ao tentar comentar sobre a provisoriedade do conhecimento, P₁₀, mais uma vez, trouxe apenas Michelson e Morley como exemplo em sua produção escrita: “como podemos perceber nas postagens 3, 4 e 5, Michelson e Morley a todo tempo testavam experimentos e descobrir coisas e sempre falharam, ou sempre dava resultados diferentes”. O participante teve alguma dificuldade quanto a esse aspecto, tal como já havia demonstrado no primeiro bloco. Michelson e Morley chegaram ao resultado de que a velocidade da luz não era alterada, o que, de fato, representava uma falha, se considerada a perspectiva da década de 1880, segundo a qual o vento do éter modificaria a velocidade da luz. Por outro lado, esse resultado se manteve nos experimentos da dupla de cientistas, sendo incorreta a afirmação de que “sempre dava resultados diferentes”, a menos que ele tenha pretendido dizer “resultados diferentes *do esperado pela comunidade científica*”. É interessante pontuar, no caso de P₁₀, que as dificuldades de entendimento parecem ter se mantido incólumes ao longo da intervenção. Ainda nos comentários deixados pelo estudante no Padlet, notavam-se afirmações distorcidas, tais como “a decepção de Michelson e Miller por ter achado a variação da velocidade da luz em seus experimentos”.

À exceção de algumas distorções pontuais, como as observadas na produção de P₁₀, em geral, também quanto a este bloco, foram satisfatórios os desempenhos dos participantes.

5.4 Bloco 4- Controvérsias científicas e discordâncias entre cientistas

Neste quarto bloco, analisou-se se e como os estudantes identificaram, no episódio histórico, características que demonstrassem a existência de controvérsias científicas e a possibilidade de discordância entre cientistas. Os resultados estão organizados no Quadro 5.

Esperava-se que todos os participantes mencionassem a controvérsia estabelecida em torno dos resultados de Miller, uma vez que esse aspecto havia sido abordado no diálogo coletivo e nas narrativas, principalmente no texto “Miller contra o mundo”. Quatro estudantes, P₃, P₇, P₈ e P₁₁ o fizeram, sendo incluídos na categoria A. Dentre as passagens observadas nas produções escritas, destacam-se:

Discordância entre cientistas pode ser mostrada com Miller discordando dos resultados nulos dos cientistas e tentando mostrar que ele estava certo [P₃].

[...] encontramos uma controvérsia de fato em que Miller estava achando um resultado sobre seu experimento, enquanto Michelson e outros cientistas utilizando os mesmos equipamentos encontraram resultados totalmente diferentes [P₇].

Miller registrou alguma alteração na velocidade da luz e publicou esses resultados, “criando” a controvérsia científica já que diferentes participantes obtiveram resultados diferentes [P₁₁].

Possivelmente tendo em mente o desacordo sobre a variação ou não da velocidade da luz, P₈ apontou uma disputa entre Miller e seus resultados e Einstein e a postulação da Teoria da Relatividade Especial.

Quadro 5: Resultados do Bloco 4. Fonte: Autoria própria.

Categoria	Evidências mencionadas	Participante
A	Resultados de Miller	P ₃ , P ₇ , P ₈ , P ₁₁
B	Experimentos sobre o éter	P ₂ , P ₄ , P ₉ , P ₁₃
C	Resultados de Michelson, em 1881	P ₆
D	Controvérsias citadas na primeira narrativa, adicionais ao episódio do éter	P ₅ , P ₉ , P ₁₂ , P ₁₃
E	Comentário geral sobre as controvérsias na ciência	P ₁
F	Não mencionou	P ₁₀ , P ₁₄

Incluídos na categoria B, P₂, P₄, P₉ e P₁₃ citaram os experimentos sobre o éter, os quais são pontos centrais da controvérsia estudada. Esperava-se que, quanto a esses elementos, as produções escritas dos participantes classificados na categoria B fossem mais detalhadas, uma vez que os comentários deixados por eles no Padlet, ao longo das leituras, eram mais substanciais se comparados aos contidos na atividade final.

Registrado na categoria C, P₆ citou os resultados nulos de Michelson, em 1881, em contraste com as expectativas do próprio cientista e da comunidade científica. Pode-se argumentar que os resultados de Michelson foram frustrantes, tendo em vista o que se supunha em relação aos efeitos do éter, na época. Contudo, este ponto específico, isoladamente, não caracteriza uma controvérsia, mas sim um impacto diante de resultados inesperados. Seria conveniente que o participante tivesse desenvolvido sua argumentação.

Os participantes foram instruídos a trazerem, na atividade escrita, elementos relacionados ao episódio das investigações do interferômetro. Contudo, P₅, P₉, P₁₂ e P₁₃, alocados categoria D, citaram episódios gerais que, no texto “Controvérsias na ciência?”, o primeiro postado no Padlet, ilustravam possíveis tipos de controvérsia. P₉ e P₁₃ trouxeram esses casos em conjunto com os experimentos do éter (por isso, foram incluídos também na categoria B). P₅, contudo, comentou exclusivamente sobre o caso de Percival Lowell e suas alegações sobre a existência de canais em Marte. P₁₂, por sua vez, citou a controvérsia envolvendo Newton e Hooke sobre a dispersão da luz branca num prisma.

Na categoria E, incluímos o participante P₁, que trouxe um comentário geral, porém substancial, sobre a forma como as controvérsias científicas são tratadas nas leituras propostas na intervenção:

As controvérsias científicas são destacadas de forma significativa nos textos, onde debates acirrados entre cientistas ilustram a natureza contestável do conhecimento. Essas controvérsias não só mostram a dinâmica da ciência como um campo de discussão contínua,

mas também refletem a possibilidade de discordância entre cientistas, que pode levar ao aprimoramento das teorias e ao avanço do conhecimento [P₁].

Apenas dois estudantes, incluídos na categoria F, P₁₀ e P₁₄, não fizeram qualquer menção a controvérsias científicas em suas produções escritas, embora este tenha sido o aspecto da Natureza da Ciência fundamental na intervenção didática.

Em suma, notou-se que nove dos quatorze participantes relacionaram satisfatoriamente, em suas produções escritas, o episódio histórico central da intervenção à existência de controvérsias e à possibilidade de desacordo entre os cientistas. Contudo, alguns trabalhos foram mais articulados nesse sentido, enquanto outros o fizeram de forma mais sintética do que o esperado. Notou-se, ainda, menção a outras controvérsias científicas, citadas de passagem na narrativa “Controvérsias na ciência?”, a título de exemplificação dos possíveis tipos de controvérsias. Ainda que não correspondam ao que havia sido solicitado pelo professor-mediador, essas menções, bem como a consideração geral sobre o tema, manifestada por um dos participantes, representam contribuições significativas tendo em vista a compreensão sobre a ciência.

5.5 Bloco 5 – Invisibilização de personagens da História da Ciência

No quinto bloco, analisaram-se passagens escritas pelos participantes que relacionam características do episódio histórico à invisibilização de cientistas. Os resultados estão organizados no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6: Resultados do Bloco 5. Fonte: Autoria própria.

Categoria	Evidências mencionadas	Participante
A	Miller foi desconsiderado	P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇ , P ₈ , P ₉ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃
B	Explicou o que seria a invisibilização	P ₁
C	Não mencionou	P ₁₄

Foi bastante satisfatório o desempenho geral nesse bloco. Os participantes demonstraram compreensão significativa do tema e refletiram sobre o fenômeno da invisibilização na História da Ciência. Dos quatorze participantes, doze utilizaram o exemplo de Miller como evidência de que personagens da ciência são frequentemente invisibilizados, o que os coloca na categoria A. Este exemplo foi amplamente reconhecido pelos estudantes como evidência da marginalização de pesquisadores que defenderam ideias ou apresentaram resultados “indesejados” em determinado contexto. O resultado refletiu uma compreensão crítica dos processos de construção do conhecimento.

É interessante notar, contudo, que três participantes incluídos nessa categoria A, P₆, P₁₀ e P₁₂, ao refletirem sobre evidências de que a ciência seria uma atividade colaborativa, no Bloco 1, citaram a interação entre Michelson e Morley, mas não fizeram referência a Miller. Assim, embora tenham reconhecido o fenômeno da invisibilização na ciência, de certo modo, acabaram reproduzindo-o na atividade escrita.

Ainda quanto à temática da invisibilização, P₁ ensaiou uma explicação geral sobre esse fenômeno (categoria B). Embora tenha falhado em atender à solicitação de apresentar alguma evidência ou exemplo a partir do episódio histórico estudado, demonstrou entendimento sobre a questão, afirmando de modo articulado:

Muitas vezes, descobertas e inovações são atribuídas a figuras proeminentes, enquanto os contribuintes menos conhecidos são deixados à margem. Isso evidencia uma falha na valorização de todas as partes envolvidas no processo científico, o que pode distorcer a compreensão completa de como o conhecimento é construído [P₁].

Somente P₁₄ não abordou o tema da invisibilização na sua produção escrita. A ausência de reflexão crítica escrita sobre a temática proposta (que se repetiu nos outros blocos), combinada à superficialidade dos comentários deixados pelo participante no Padlet, leva-nos a crer que ele não se dedicou suficientemente ao desenvolvimento das atividades escritas, apesar de sua participação ativa e positiva nas atividades presenciais de discussão.

6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, por meio de uma investigação empírica, buscou-se avaliar uma proposta que envolve recursos didáticos fundamentados na História e Filosofia da Ciência. Esse tipo de iniciativa vem ao encontro do

preenchimento de lacunas apontadas por pesquisas do tipo “estado da arte”, segundo as quais “a maioria dos trabalhos não apresenta uma avaliação sobre a utilização desses recursos nas propostas implementadas” (Schirmer & Sauerwein, 2014, p. 61).

À luz dos resultados obtidos, conclui-se que a sequência didática, centrada na controvérsia envolvendo Albert Michelson, Edward Morley e Dayton Miller e os experimentos sobre o éter, mostrou-se potencialmente eficaz na promoção de avanços na compreensão de aspectos da Natureza da Ciência por estudantes do Ensino Médio. Os resultados demonstraram o potencial formativo das controvérsias científicas como estratégia didática para a reflexão sobre a ciência.

As produções escritas evidenciaram, sobretudo, progressos na percepção da ciência como empreendimento coletivo e provisório, bem como no reconhecimento da existência de controvérsias e da invisibilização de personagens no desenvolvimento científico. Destaca-se que a maioria dos participantes conseguiu articular o episódio histórico às dimensões epistemológicas discutidas, especialmente no que tange à provisoriedade do conhecimento e ao papel da comunidade científica na validação e rejeição de resultados. Essas evidências indicam que a contextualização histórica por meio das narrativas, aliada à problematização e ao diálogo orientado, favoreceu reflexões mais sofisticadas acerca do funcionamento da ciência.

Por outro lado, os resultados também revelam limites e desafios. Observou-se que nem todos os participantes abordaram de modo consistente o papel da criatividade na ciência ou compreenderam plenamente determinadas nuances do episódio histórico, persistindo algumas interpretações distorcidas ou simplificadas. Esses achados reforçam que a inserção de episódios históricos no ensino exige mediação cuidadosa e retomadas sistemáticas, a fim de evitar leituras ingênuas ou anacrônicas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) pelo apoio a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- Bardin, L. (2004). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Brasil (2018). *Base Nacional Comum Curricular – Ensino Fundamental*. MEC.
- Collins, H. & Pinch, T. (2010). *O Golem: o que você deveria saber sobre ciência*. Fabrefactum.
- Delizoicov, D., Angotti, J. A. P., & Pernambuco, M. M. (2002). *Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos*. Cortez.
- Forato, T. C. M., Martins, R. A., & Pietrocola, M. (2012). Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins, & J. M. H. Ferreira. (Org.) *Temas de história e filosofia da ciência no ensino* (pp. 123-154). EDUFRRN.
- Forato, T. C. M., Bagdonas, A., & Testoni, L. (2017). Episódios históricos e Natureza das Ciências na formação de professores. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extraordinario, 3511-3516. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/46 - Episodios historicos e natureza das.pdf
- Guerra, A. (2014). A identidade e o diálogo como possibilidades de superação da controvérsia entre educadores e historiadores da ciência. In: S. Camargo et al. (Org.), *Controvérsias na pesquisa em ensino de física* (pp. 129-143). Livraria da Física.
- Kipnis, N. (2000). Scientific controversies in teaching science. *The Physicist*, 37 (1), 21-26. https://www.researchgate.net/publication/303124112_Scientific_Controversies_in_Teaching_Science_2000_The_Physicist_Sydney
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learner's conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 497-521 <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Manhães, A. C. T. S. (2016). O uso do blog como facilitador da aprendizagem. *Revista Valore*, 1 (1), 111-130. <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/28>

- Martins, A. F. P. (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, R. A. (2005). A dinâmica relativística antes de Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27 (1), 11-26. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442005000100003>
- Martins, R. A. (2006). Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In C. C. Silva (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. 22-34). Livraria da Física.
- Martins, R. A. (2023). Em busca do éter: de Maxwell a Michelson, Morley e Miller. In R. A. Martins (Org.). *Ensaio sobre História e Filosofia das Ciências III* (pp. 137-290). Quamcumque Editum.
- Maxwell, J. C. (1878). Ether. In *The Encyclopædia Britannica. A dictionary of arts, sciences, and general literature*, v. 8 (pp. 568-572). Charles Scribner's sons. <https://archive.org/details/encyclopaediabri15chisrich>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Michelson, A. A. (1881). The relative motion of the Earth and the luminiferous ether. *American Journal of Science*, 22 (128), 120-129. <https://doi.org/10.2475/ajs.s3-34.203.333>
- Michelson, A. A., & Morley, E. W. (1887). On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether. *American Journal of Science*, 34 (203), 333–345. <https://doi.org/10.2475/ajs.s3-34.203.333>
- Miller, D. C. (1922). Ether-drift Experiments at Mount Wilson Solar Observatory. *Physical Review*, 19 (4), 407-408. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.19.407>
- Miller, D. C. (1926). Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson. *Science*, 63 (1635), 433-443. <https://www.jstor.org/stable/pdf/1650619.pdf>
- Morley, E. W., & Miller, D. C. (1907). Final report on Ether-drift Experiments. *Science*, 25 (2), 525. <https://archive.org/details/science251907mich>
- Niaz, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18, 43–65. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9082-x>
- Oliveira, R. A., Martins, A. F. P., & Silva, A. P. B. (2021). Natureza da ciência por meio de narrativas históricas: Limites e potencialidades. *Experiências em Ensino de Ciências*, 16(2), 457–478. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/935>
- Paula, T. A. (2025). “Caminhos Científicos: os Experimentos de Michelson-Morley-Miller”: o Padlet como recurso para abordar Controvérsias Científicas e Física Moderna no Ensino Médio [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. <https://repositorio.ufrn.br/items/8e4f513f-454a-4405-af12-c9862fecbd8e>
- Peduzzi, L. O. Q., & Raíck, A. C. (2020). Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 19-55. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>
- Sasseron, L., & Carvalho, A. M. P. (2011). Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16, 59-77. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246>
- Schirmer, S. B., & Sauerwein, I. P. S. (2015). Recursos didáticos e história e filosofia da ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(3), 61–77. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4293>
- Shankland, R. S. (1964a) Michelson-Morley Experiment. *American Journal of Physics*, 32 (1), 16-35. <https://doi.org/10.1119/1.1970063>

- Shankland, R. S. (1964b) Michelson-Morley Experiment. *Scientific American*, 211 (5), 107-115. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1164-107>
- Shankland, R. S., McCuskey, S. W., Leone, F. C., & Kuerti, G. (1955). A new analysis of the interferometer observations of Dayton C. Miller. *Reviews of Modern Physics*, 27 (2), 167-178. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.27.167>
- Soares, A.; Medina, R.; Carboni, A. & Costa, F. (2016). Usando as tecnologias da informação no ensino de Física: o blog da Lua. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33 (3), 1094-1114. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1094>
- Stefanidou, C., & Vlachos, I. (2011). Could scientific controversies be used as a tool for teaching science in the compulsory education? In P. V. Kokkotas, K. S. Malamitsa, & A. A. Rizaki (Org.), *Adapting Historical Science Knowledge Production to the Classroom* (pp. 299-248). Sense publishers.
- Swenson Jr., L. S. (1970). The Michelson-Morley-Miller experiments before and after 1905. *Journal for the History of Astronomy*, 1 (1), 56-78. <https://doi.org/10.1177/0021828670001001>