

O MODELO DE TOULMIN COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

The Toulmin model as a strategy for teaching the theory of relativity in high school

Maria Derlandia de Araújo Januário¹ [derlandia.januario@urca.br]
Neusa Teresinha Massoni² [neusa.massoni@ufrgs.br]

¹*Departamento de Física- URCA Campus CCT - Crajubar*

Av. Leão Sampaio, 107 - Lagoa Seca, Juazeiro do Norte - CE, 63041-145

²*Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física*

Instituto de Física – UFRGS– Caixa Postal, 15051.

Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil.

Resumo

Este artigo apresenta um recorte de uma pesquisa de doutorado fundamentada em um estudo de caso instrumental. A investigação analisou a implementação de um módulo didático focado na Teoria da Relatividade (TR), desenvolvido em uma escola pública na cidade de Viamão-RS. O problema central buscou compreender como o padrão argumentativo de Toulmin auxilia estudantes do Ensino Médio na construção e compreensão de conceitos da TR, sob uma perspectiva histórico-epistemológica. O percurso metodológico consistiu em dez encontros (15 horas-aula), iniciando com a fundamentação em epistemologia e argumentação científica, seguida pela transição da Física Clássica aos postulados relativísticos. Foram elaboradas estratégias interativas, incluindo atividades experimentais simples e produções discursivas. Os resultados evidenciaram uma evolução na performance argumentativa e na apropriação conceitual dos discentes. A mobilização de elementos como "dados" e "garantias" permitiu que os estudantes estruturassem raciocínios lógicos, tornando os conceitos abstratos da TR mais tangíveis e reduzindo, em partes, a resistência inicial à disciplina de Física. Concluiu-se que, apesar dos desafios estruturais escolares, a articulação entre História e Filosofia da Ciência e argumentação científica é viável para a inserção da Física Moderna na Educação Básica, promovendo uma aprendizagem mais reflexiva e contextualizada.

Palavras-chave: Argumentação Científica; Teoria da Relatividade; História e Epistemologia da Ciência.

Abstract

This paper presents an excerpt from a doctoral research study grounded in an instrumental case study. The investigation analyzed the implementation of a didactic module focused on the Theory of Relativity (TR), developed in a public secondary school in the city of Viamão, Rio Grande do Sul, Brazil. The central research problem sought to understand how Toulmin's Argument Pattern supports high school students in the construction and comprehension of concepts related to TR from a historical-epistemological perspective. The methodological path comprised ten meetings (15 class hours), beginning with discussions on epistemology and scientific argumentation, followed by a transition from Classical Physics to relativistic postulates. Interactive strategies were designed, including simple

experimental activities and discursive productions. The results revealed an improvement in students' argumentative performance and conceptual appropriation. The mobilization of elements such as data and warrants enabled students to structure logical reasoning, making the abstract concepts of TR more tangible and partially reducing their initial resistance to Physics. It is concluded that, despite structural challenges within schools, the articulation between History and Philosophy of Science and scientific argumentation is feasible for the inclusion of Modern Physics in Basic Education, fostering more reflective and contextualized learning.

Keywords: Scientific Argumentation; Theory of Relativity; History and Epistemology of Science.

O MODELO DE TOULMIN COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

The Toulmin model as a strategy for teaching the theory of relativity in high school

XXXXXX [XXXXXX]
XXXXXXXXXXXX [XXXXXX]

Resumo

Este artigo apresenta um recorte de uma pesquisa de doutorado fundamentada em um estudo de caso instrumental. A investigação analisou a implementação de um módulo didático focado na Teoria da Relatividade (TR), desenvolvido em uma escola pública na cidade de Viamão-RS. O problema central buscou compreender como o padrão argumentativo de Toulmin auxilia estudantes do Ensino Médio na construção e compreensão de conceitos da TR, sob uma perspectiva histórico-epistemológica. O percurso metodológico consistiu em dez encontros (15 horas-aula), iniciando com a fundamentação em epistemologia e argumentação científica, seguida pela transição da Física Clássica aos postulados relativísticos. Foram elaboradas estratégias interativas, incluindo atividades experimentais simples e produções discursivas. Os resultados evidenciaram uma evolução na performance argumentativa e na apropriação conceitual dos discentes. A mobilização de elementos como "dados" e "garantias" permitiu que os estudantes estruturassem raciocínios lógicos, tornando os conceitos abstratos da TR mais tangíveis e reduzindo, em partes, a resistência inicial à disciplina de Física. Concluiu-se que, apesar dos desafios estruturais escolares, a articulação entre História e Filosofia da Ciência e argumentação científica é viável para a inserção da Física Moderna na Educação Básica, promovendo uma aprendizagem mais reflexiva e contextualizada.

Palavras-chave: Argumentação Científica; Teoria da Relatividade; História e Epistemologia da Ciência.

Abstract

This paper presents an excerpt from a doctoral research study grounded in an instrumental case study. The investigation analyzed the implementation of a didactic module focused on the Theory of Relativity (TR), developed in a public secondary school in the city of Viamão, Rio Grande do Sul, Brazil. The central research problem sought to understand how Toulmin's Argument Pattern supports high school students in the construction and comprehension of concepts related to TR from a historical–epistemological perspective. The methodological path comprised ten meetings (15 class hours), beginning with discussions on epistemology and scientific argumentation, followed by a transition from Classical Physics to relativistic postulates. Interactive strategies were designed, including simple experimental activities and discursive productions. The results revealed an improvement in students' argumentative performance and conceptual appropriation. The mobilization of elements such as data and warrants enabled students to structure logical reasoning, making the abstract concepts of TR more tangible and partially reducing their initial resistance to Physics. It is concluded that, despite structural challenges within schools, the articulation between History and Philosophy of Science and scientific argumentation is feasible for the

inclusion of Modern Physics in Basic Education, fostering more reflective and contextualized learning.

Keywords: Scientific Argumentation; Theory of Relativity; History and Epistemology of Science.

Introdução

A pesquisa em Ensino de Física tem atribuído papel crescente à História e Filosofia da Ciência (HFC) como eixo estruturante para a compreensão da natureza da ciência, a ressignificação de conceitos escolares, a produção de práticas docentes mais reflexivas, assim como auxilia a trabalhar as questões sociais e de gênero na ciência (Silvério; Sitko & Figueirôa, 2023; Vieira; Massoni & Alves-Brito, 2025).

Dentre os usos da HFC, destacam-se a estruturação dessa área do conhecimento (Matthews, 1995); as contribuições à didática das ciências (Martins, 2006); a formação de professores de Ciências/Física mais reflexivos (Ferreira, 2013; Massoni & Moreira, 2014), bem como oferece um caminho facilitador da interpretação de fundo de conceitos e experimentos de Física Moderna (FM) (Cuesta & Mosquera, 2016; Lima, 2018; Solbes & Sinarcas, 2009).

Este movimento converge com as políticas públicas brasileiras para o Ensino Médio (EM), desde os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (Brasil, 1999) até a Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2018), que preconizam o ensino de uma Física contextualizada historicamente. A BNCC, por mais críticas que possa suscitar (Ostermann & Rezende, 2021), enfatiza que a compreensão histórico-cultural da ciência é pilar fundamental para a formação de um cidadão capaz de realizar leituras críticas do mundo e tomar decisões pautadas em argumentos sólidos (Brasil, 2018).

Nesse sentido, a inserção da HFC no currículo da Educação Básica contribui para desconstruir visões ingênuas da ciência, frequentemente percebida como uma verdade neutra e linear, em favor de uma percepção processual e historicamente situada (Damasio & Peduzzi, 2017; Forato; Pietrocola & Martins, 2011; Massoni, 2010; Monteiro & Martins, 2015; Raicik & Peduzzi, 2016). Tal perspectiva é urgente também para a inserção da Física Moderna (FM) no Ensino Médio, campo que, apesar de relevante para incorporar desenvolvimentos científicos dos séculos XX e XXI e favorecer leituras mais críticas do mundo contemporâneo, ainda enfrenta inúmeros desafios, como, por exemplo, a escassez de materiais que articulem aspectos epistemológicos e conceituais em sala de aula do EM (Berland & Crucet, 2016; El-Hani; Tavares & Da Rocha, 2016; Loch & Garcia, 2009; Ostermann & Moreira, 2000; Raicik, 2020; Rocha & Ricardo, 2016).

O estudo relatado neste artigo insere-se nesse movimento. Trata-se de recorte de um dos Estudos da pesquisa de doutorado em Ensino de Física (Januário, 2024), cujo levantamento de literatura indicou que, embora não haja consenso sobre o tema prioritário de FM para o Ensino Médio (Januário & Massoni, 2023; Januário; Hoernig & Massoni, 2024), diversos trabalhos convergem sobre o potencial da abordagem epistemológica, conceitual e cultural da TR. A TR apresenta características decisivas para o EM: permite articulações interdisciplinares com Cosmologia, Astronomia e Astrofísica (Alves-Brito & Massoni, 2019); promove ruptura epistemológica ao introduzir uma concepção espaço-temporal quadridimensional; oferece oportunidade de discutir controvérsias históricas e mudanças de paradigma; e possibilita explorar aplicações tecnológicas presentes na vida cotidiana dos

estudantes, como os sistemas de posicionamento global (Rodrigues *et al.*, 2014).

Contudo, para que essa ruptura ocorra efetivamente no plano cognitivo do estudante, é necessário criar estratégias que favoreçam a estruturação do pensamento crítico. É neste ponto que o modelo de argumentação científica de Toulmin (2006) se revela como um caminho promissor. Assim, o presente estudo investiga a convergência entre a abordagem histórica da TR e o desenvolvimento de competências argumentativas. Delineamos um estudo orientado pelo seguinte problema de pesquisa: *De que forma a mobilização do padrão argumentativo de Toulmin (2006) pode auxiliar estudantes da Educação Básica na elaboração e compreensão de tópicos de Física Moderna, sob uma abordagem histórico-epistemológica?*

Metodologicamente, a investigação configura-se como um estudo de caso instrumental (Stake, 2011), realizado em uma escola pública da região metropolitana de Porto Alegre, RS, especificamente na cidade de Viamão, RS, Brasil. A pesquisa, de caráter qualitativo, consistiu na construção e aplicação de uma unidade didática desenhada para captar as formas pelas quais os estudantes mobilizam evidências; reconhecem os fundamentos conceituais de tecnologias contemporâneas e desenvolvem práticas argumentativas críticas, situadas historicamente e epistemologicamente para construir seus argumentos científicos com base no Modelo de Toulmin sobre a TR (Toulmin, 2006). A pesquisa, de caráter qualitativo, foi trabalhada mediante diálogo, escuta, compreensão de expectativas e promoção de atividades e módulos didáticos construídos colaborativamente, entre universidade e escola no contexto real¹.

Referencial Teórico de Toulmin

Na obra *The Uses of Argument* (Toulmin, 2006), o autor propõe uma abordagem estrutural denominada “célula argumentativa” para constituir um raciocínio argumentativo, distinguindo os elementos invariáveis, que dizem respeito à forma, e os elementos variáveis, que dependem do tipo de assunto abordado. Busca descrever adequadamente em que convergem as linhas de argumentação e afirma que se essas linhas fossem seguidas de maneira sistemática teríamos que concluir pelo rechaço do conceito de “inferência dedutiva”, esta que foi tão aceita por filósofos da ciência influentes e precedentes e.g., Popper (2008).

Toulmin argumenta que a tradição filosófica conferiu ênfase exagerada à dedução, entendida como um processo no qual, sendo verdadeiras as premissas, a conclusão decorre necessariamente verdadeira. Em contraste, a indução estabelece conclusões apenas prováveis a partir de premissas verdadeiras (Baronett, 2009). Contudo, essa distinção formal não esgota a complexidade do raciocínio humano. Toulmin critica a ideia, um tanto simplista, de que argumentar corresponde a inferir conclusões de premissas, e propõe deslocar o foco para a *justificação*: parte-se de uma tese ou alegação e apresentam-se razões que sustentem seu aceite. Assim, a construção de argumentos não é apenas um procedimento lógico-analítico, mas uma prática social e epistêmica que envolve justificar, avaliar evidências, ponderar condições de refutação e delimitar graus de força conclusiva, elementos fundamentais tanto para as Ciências Humanas quanto para a educação científica contemporânea (Carvalho & Sasseron, 2016).

¹ Januário, M. D. D. A., & Massoni, N. T. (2025). A percepção do aluno sobre o que é ser aluno: escutas no espaço escolar e suas implicações no Ensino de Física. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 31, p. e25003.

Desse modo, o modelo estrutural de Toulmin organiza os argumentos em componentes funcionais: dados (*Data* – D), que respaldam a alegação; alegações ou conclusões (*Claim* – C); garantias (*Warrants* – W), que autorizam a passagem dos dados para a conclusão; qualificadores modais, que expressam a força epistêmica da conclusão; e refutadores (*Rebuttals*), que sinalizam condições sob as quais a garantia pode falhar. Isto é, um bom argumento é constituído de afirmativas sustentadas por evidências e razões suficientes e relevantes (Galvão; Spazziani & Monteiro, 2018). Um esquema do modelo de argumentação de Toulmin é representado na Figura 1, que se segue.



Figura 1: Modelo da estrutura da argumentação de Toulmin

Fonte: Januário (2024, p.41)

Esses elementos não se articulam por uma necessidade lógica abstrata, mas por relações de força justificatória. As garantias constituem pontes epistêmicas que sustentam, fragilizam ou mesmo anulam conclusões, definindo condições reais de aceitação ou rejeição de um enunciado em um determinado campo de prática. Conforme explicam Guimarães e Massoni (2020):

Tais garantias são chamadas por Toulmin de qualificadores modais. Confere-se certo grau de *força justificatória* das conclusões a partir das premissas dadas, ou de *refutadores*, se estes têm o papel de anular esta justificação, e, com isso, não conferir a garantia de que a conclusão se siga logicamente das premissas. É importante neste ponto destacar a diferença que existe entre o argumento, por si só, e a função que ele exerce na argumentação. Um ponto importante, também ressaltado por Toulmin (2001) é que o *argumento tem a sua força justificatória por ele mesmo*, dada a sua estruturação semântica e de como a conclusão está conectada com as premissas. (Guimarães & Massoni, 2020, p. 328)

Assim, o modelo de Toulmin tem se mostrado uma ferramenta viável para investigar, no ensino de ciências, como estudantes constroem e justificam afirmações, quais tipos de evidências mobilizam, quais concepções de ciência orientam suas garantias (*warrants*) e como lidam com refutações (*Rebuttals*). Essa perspectiva desloca o ensino da lógica formal para uma concepção epistêmica situada, dialógica e aberta em que argumentar não é apenas obter a respostas corretas, mas pressupõe aprender a justificar, negociar e revisar conhecimento (Januário, 2024). Além disso, diversos autores defendem que a construção de argumentos desempenha um papel fundamental na compreensão dos conceitos científicos e na formação de cidadãos mais autônomos, capazes de tomar decisões embasadas em questões relacionadas à ciência e à sociedade (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2008; Dawes, 2004; Guimarães & Massoni, 2020; Do Carmo, 2006; Sasseron & Carvalho, 2011).

Para Toulmin (2006), os argumentos podem ser produzidos com diferentes finalidades e em distintos contextos de uso, o que implica reconhecer que sua defesa não se reduz a uma asserção formal direta. A força de uma conclusão não decorre exclusivamente de sua forma lógica, mas de um conjunto de proposições que a sustentam, tradicionalmente organizadas como premissa maior, premissa menor e conclusão (Guimarães & Massoni, 2020). Embora a explicitação das garantias seja condição constitutiva do raciocínio argumentativo, a natureza dos dados e das garantias mobilizadas é variável e depende das escolhas realizadas por quem apresenta o argumento, estando, portanto, vinculada ao campo de conhecimento e à situação comunicativa.

Nessa perspectiva, a argumentação na acepção de Toulmin (2006) não se configura como um cálculo lógico, mas como um modo de pensar e de justificar posições. Como enfatiza Lin (2018), as habilidades argumentativas são fundamentais para a compreensão conceitual, uma vez que a validade de um argumento se articula menos à sua estrutura formal e mais à aceitabilidade dos dados apresentados, à relevância desses dados para a tese defendida e à suficiência das justificativas mobilizadas. A validação de um argumento emerge, sobretudo, da criticidade com que ele é construído, avaliado e revisado, e não apenas do confronto entre teses opostas.

O chamado “modelo de argumentação de Toulmin” (Toulmin, 2006) constitui um referencial analítico para compreender o funcionamento da argumentação em situações reais (Massmann, 2015). Trata-se de um modelo que concebe a passagem dos dados à conclusão como um processo não linear, mediado por princípios justificatórios (garantias) que conferem maior ou menor força epistêmica às conclusões alcançadas. No contexto educacional, esse modelo pode ser mobilizado como parte de um conjunto de atividades orientadas pelo professor, nas quais os estudantes são instigados a avaliar evidências, justificar afirmações, revisar posicionamentos e explicitar condições de refutação, em oposição a práticas centradas na memorização mecânica de conteúdos (Guimarães & Massoni, 2020).

Essa abordagem dialoga com algumas orientações presentes na BNCC, documento normativo que recomenda práticas pedagógicas envolvendo discussão oral, debate e argumentação, não apenas em temas ligados à vida pública, mas também no âmbito do conhecimento científico, incluindo a distinção entre fatos, opiniões e explicações fundamentadas (Brasil, 2018, p. 147). Contudo, tal recomendação não pode ser assumida de forma ingênua, teríamos que refletir até que ponto a habilidade argumentativa está associada a habilidades individuais socialmente herdadas – no “habitus” que representa a incorporação da estrutura social, próprio das famílias que fazem investimentos em seus filhos, (Bourdieu, 2015) –, sendo, portanto, um parâmetro de exclusão no modelo de aprendizagem por competências, pedagogia que é sustentada na BNCC.

No processo argumentativo, Toulmin destaca o papel dos dados, proposições que compõem as premissas (tese), e das garantias, responsáveis por conferir apoio ou fragilidade à conclusão. Entretanto, esses elementos, por si só, não são suficientes. Há o papel fundamental do argumentador, seja ele professor ou estudante, uma vez que a argumentação envolve persuasão racional, escolha de evidências, antecipação de críticas e negociação de sentidos. Trata-se, assim, de um raciocínio aberto à crítica e à reformulação contínua. Para uso em sala de aula, esse “modelo” seria parte de um conjunto de atividades desenvolvidas pelos alunos, com orientação do professor, onde os atos de avaliação, justificação e revisão [dos mesmos] vão propiciando um aprendizado em que determinadas metas e objetivos devem ser alcançados, em detrimento de processos e rotinas de memorização que conduzam a uma aprendizagem mecânica, marcada pela “ausência de ideias ancoradas claras, estáveis, discrimináveis e relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz” (Ausubel, 2003, p.155).

Ao estabelecer um paralelo entre lógica e jurisprudência, Toulmin (2006) esclarece que as regras da lógica não se aplicam aos argumentos humanos como leis determinísticas, mas como critérios de êxito, a partir dos quais se pode julgar a qualidade de um argumento: sua solidez, a

fundamentação de suas afirmações, sua resistência à crítica e sua coerência interna. Esses parâmetros tornam a teoria toulminiana especialmente fecunda para a análise da argumentação em contextos educacionais, permitindo investigar a qualidade dos argumentos produzidos por estudantes em situações de ensino que favorecem o debate, a reflexão e a construção coletiva do conhecimento. É sob esse prisma que o referencial de Toulmin é adotado neste estudo: como ferramenta para analisar a solidez e a coerência dos argumentos produzidos pelos estudantes ao serem desafiados pelos conceitos contraintuitivos da Teoria da Relatividade.

Metodologia

Este estudo qualitativo, caracteriza-se como um estudo de caso instrumental (Stake, 2011), uma vez que busca compreender, de forma aprofundada, as potencialidades do uso da argumentação científica a partir da elaboração e aplicação de um módulo didático sobre conceitos introdutórios da Teoria da Relatividade (TR) voltado a estudantes do Ensino Médio. O módulo foi concebido com base na articulação entre aspectos conceituais, histórico-epistemológicos e no uso da argumentação científica, fundamentada no modelo proposto por Toulmin (2006). A elaboração do módulo foi orientada por resultados da literatura da área de Ensino de Física, que indicam que o papel da argumentação facilita a construção do conhecimento científico e o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2008; Sasseron & Carvalho, 2011; Guimarães & Massoni, 2020). Nesse sentido, a argumentação foi utilizada como estratégia de avaliação; como elemento estruturante do processo de ensino e de aprendizagem e como metodologia de análise das produções escritas dos estudantes.

O módulo foi implementado em duas turmas do Ensino Médio, abrangendo 32 estudantes. A intervenção ocorreu ao longo de dez encontros, correspondendo a quinze horas-aula, cada aula de 50 minutos, no período de junho a outubro de 2023 em uma escola pública da comunidade de Viamão, RS. Dentro das condições institucionais oferecidas pela escola, o módulo contemplou aulas expositivas e dialogadas, atividades práticas simples em sala de aula, discussões orientadas sobre argumentação científica e um debate final estruturado com base no modelo de Toulmin (2006). Essas estratégias foram adotadas com o objetivo de favorecer a apropriação conceitual de conteúdos e postulados da Teoria da Relatividade, e o desenvolvimento da capacidade argumentativa dos estudantes. A pesquisa observou os princípios éticos vigentes, com assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelos estudantes e por seus responsáveis legais, assegurando anonimato e uso dos dados apenas para fins acadêmicos.

As atividades foram desenvolvidas em aulas regulares de Física, cedidas pelo professor regente de Física na escola, com apoio pontual de algumas aulas de Matemática, cedidas pela professora. Ainda assim, foi necessário manter flexibilidade no planejamento, uma vez que a dinâmica escolar impôs imprevistos frequentes, como ausência de professores, na maioria das vezes usamos essas aulas ociosas também, restrições de carga horária do componente curricular Física, em função da implementação dos Itinerários Formativos (BNCC), bem como a infrequência dos estudantes. Para subsidiar o desenvolvimento do módulo, foram utilizados materiais didáticos e de divulgação científica, tais como *Física Conceitual* (Hewitt, 2015), *A Relatividade Einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica* (Peduzzi, 2009), *Alice no país da Relatividade* (Alencar, 2023), *Uma Viagem pra uma tá de relatividade* (Januário & Nobre 2019) além de vídeos educativos e simulações interativas. Esses recursos tiveram por finalidade facilitar a visualização e a discussão de conceitos abstratos da TR, ampliando também as possibilidades de construção de argumentos por parte dos estudantes.

A análise dos resultados concentrou-se nas produções desenvolvidas durante e após a intervenção, com foco na estrutura e na qualidade dos argumentos elaborados pelos estudantes, bem como na compreensão conceitual demonstrada em relação aos princípios da Teoria da Relatividade. Os instrumentos de coleta de dados utilizados nesse processo foram os diários de

campo da pesquisadora, gravações de áudio e produções escritas dos estudantes. Não foram analisadas, neste artigo, as percepções subjetivas dos alunos, mas os indícios de aprendizagem conceitual e argumentativa evidenciados ao longo do módulo.

Estrutura e aplicação do módulo de Teoria da Relatividade

A proposta de inserção da Teoria da Relatividade adotada no estudo aqui descrito dialoga com a sequência sugerida por Sá (2015), que prioriza uma abordagem conceitual, histórico-epistemológica e progressiva, entendida como mais adequada ao Ensino Médio. O percurso histórico de construção da TR foi incorporado ao módulo sempre que pertinente, ancorando-se em pressupostos da História e Filosofia da Ciência, tais como: (i) a compreensão de teorias científicas como construções do intelecto humano; (ii) a influência dos contextos histórico, social, cultural e político na produção científica; (iii) a ciência como empreendimento coletivo e não neutro; (iv) o caráter teórico e seletivo das observações; (v) o potencial da História da Ciência para enriquecer o ensino ao evidenciar erros, controvérsias e diferentes metodologias científicas (Peduzzi & Raicik, 2020).

A seguir, apresenta-se o Quadro 1, contendo o cronograma e objetivos de cada encontro para aplicação do módulo didático.

Quadro 1: Estrutura do módulo didático

Encontro	Carga horária	Objetivos principais	Estratégias e atividades desenvolvidas
1º	1 h/a	Discutir raciocínio lógico, construção do pensamento científico e natureza da ciência	Aula expositiva e dialogada sobre lógica aristotélica, modelos e métodos científicos, problematizando o “método científico” e enfatizando a ciência como processo não linear, à luz da epistemologia de Toulmin
2º	2 h/a	Apresentar o modelo de argumentação científica de Toulmin (2006)	Atividade inicial de produção de um “bom argumento” seguida de apresentação e discussão dos elementos do modelo de Toulmin; identificação dos componentes argumentativos nos textos produzidos pelos alunos
3º	2 h/a	Revisitar conceitos de velocidade, deslocamento e referencial	Aula expositiva e atividade prática com objetos em movimento relativo, explorando a dependência do movimento em relação ao referencial adotado
4º	2 h/a	Explorar a soma de velocidades na Física Clássica e introduzir a velocidade da luz como constante	Aula expositiva com discussão histórica das contribuições de Faraday e Maxwell; problematização da constância da velocidade da luz e suas implicações para a Física
5º	1 h/a	Debater a existência do éter e suas implicações históricas	Aula expositiva e dialogada sobre o conceito de éter e o experimento de Michelson–Morley, destacando o impacto epistemológico da refutação desse modelo
6º	1 h/a	Apresentar os postulados da Teoria da Relatividade Restrita	Aula expositiva sobre os postulados da TRR, transformações de Lorentz e simetria das leis físicas; atividade de pesquisa sobre o significado do termo “postulado”
7º	2 h/a	Explicar simultaneidade e dilatação temporal	Aula expositiva e atividade prática ilustrativa com cronômetros e movimento relativo, discutindo limites experimentais da demonstração em sala
8º	1 h/a	Explorar aplicações da Relatividade e o	Discussão histórico-epistemológica da TRG e apresentação de aplicações tecnológicas da

		episódio histórico do Eclipse de Sobral	Relatividade, como GPS, buracos negros e ondas gravitacionais
9º	2 h/a	Promover debate argumentativo sobre a Relatividade e o GPS	Debate estruturado em grupos, com elaboração de argumentos a favor e contra a necessidade das correções relativísticas no funcionamento do GPS
10º	1 h/a	Retomar e revisar conceitos da TRR	Atividade lúdica de declamação coletiva de HQ em formato de cordel sobre a Teoria da Relatividade, integrando ciência e cultura

Fonte: Januário (2024).

É importante destacar que se reconhece o pluralismo epistemológico nos estudos sobre a ciência, contudo optou-se por adotar neste trabalho a perspectiva evolucionista de Toulmin, tendo o cuidado de esclarecer aos estudantes a coexistência de diferentes vertentes interpretativas, conforme preconizado por Massoni (2010). Nesse contexto, como já indicado, a argumentação não figurou apenas como estratégia avaliativa, mas como eixo estruturante da transposição didática, operacionalizada por atividades que exigiam a explicitação dos componentes do padrão de Toulmin: dados (*data*), conclusões (*claims*), garantias (*warrants*), apoios (*backings*), qualificadores modais (*qualifiers*) e refutações (*rebuttals*).

Durante as atividades iniciais, observou-se que muitos alunos apresentavam concepções pouco consolidadas ou imprecisas sobre conceitos fundamentais da Física Clássica, como referencial, movimento, repouso e velocidade. Questionamentos introdutórios evidenciaram respostas intuitivas e, por vezes, desconectadas do significado físico desses e outros conceitos a respeito do movimento dos corpos, o que demandou a retomada e aprofundamento de noções básicas a partir de exemplos contextualizados e discussões orientadas. Foram exploradas situações cotidianas envolvendo diferentes referenciais, como a análise do movimento de um carro em relação a um observador na estrada e a um passageiro em seu interior, bem como comparações entre velocidades de pedestres, ciclistas e veículos. Essas discussões favoreceram a compreensão de que movimento e repouso são conceitos relativos ao referencial adotado, aspecto que passou a ser progressivamente incorporado pelos estudantes em suas falas e explicações.

Com o avanço do módulo, tais conceitos serviram de base para a introdução dos postulados da Teoria da Relatividade, especialmente a problematização da ideia de que a velocidade da luz independe do referencial. Para isso, foram propostas atividades práticas e experimentos simplificados, como a dinâmica com o uso de skate e cronômetros, com o objetivo de ilustrar, de forma qualitativa, a relatividade do tempo associada ao movimento. Embora tenha sido explicitado que tais condições não permitem a observação empírica direta da dilatação temporal, dados que trabalhávamos com velocidades ordinárias, a atividade cumpriu papel didático de estimular a reflexão conceitual e a formulação de explicações por parte dos alunos. A partir dessas experiências, foram introduzidos os conceitos de simultaneidade, dilatação temporal e suas consequências, os articulando às limitações experimentais do contexto escolar e às medições de alta precisão realizadas com relógios atômicos em satélites, conforme descrito na literatura.

Ao longo de todo o módulo, os conteúdos foram abordados de maneira integrada a uma perspectiva histórico-epistemológica. Discutiram-se o desenvolvimento da teoria eletromagnética por Maxwell, o experimento de Michelson-Morley, a refutação da hipótese do éter e a formulação da Teoria da Relatividade Restrita por Einstein, bem como as contribuições de Poincaré e Lorentz, enfatizando a ciência como um empreendimento coletivo e evolutivo, conforme a epistemologia de Toulmin. No tratamento da Teoria da Relatividade Geral, destacou-se o eclipse solar de Sobral (1919), não apenas como um evento de

confirmação empírica, mas como parte de um processo histórico mais amplo, envolvendo tentativas anteriores, controvérsias e aprimoramentos metodológicos (Peduzzi, 2011). Essa abordagem buscou afastar uma visão linear ou heroica da ciência, favorecendo a compreensão de sua natureza histórica, social e provisória.

A partir dessas considerações, e do cronograma apresentado no Quadro 1, detalham-se a seguir algumas dinâmicas desenvolvidas ao longo da aplicação do módulo, com foco nos indícios de compreensão conceitual e de construção de argumentos científicos pelos estudantes.

(i) *Dinâmica introdutória sobre o modelo de argumentação de Toulmin*

Noções do modelo de argumentação científica de Toulmin (2006) foram introduzidas no segundo encontro do módulo, por meio de uma atividade diagnóstica e formativa. Inicialmente, os estudantes foram convidados a elaborar um breve texto argumentativo, visando justificar por que mereciam receber um pirulito. Essa atividade teve caráter lúdico e serviu como ponto de partida para a discussão dos elementos constituintes de um argumento.

Em seguida, o modelo de Toulmin foi apresentado e discutido coletivamente, destacando-se seus principais componentes: reivindicação (ou conclusão), dados, justificativas (ou garantias), apoios e possíveis refutações. O objetivo não foi que memorizassem termos técnicos, mas captassem a estrutura do raciocínio argumentativo, e de como argumentos científicos são construídos e avaliados em diferentes campos do conhecimento.

Após a apresentação do modelo, os estudantes analisaram seus próprios textos à luz dos elementos toulminianos, identificando a presença (ou ausência) de dados, garantias/apoio/justificativas e conclusões. Para fins analíticos, considerou-se como argumento válido aquele que apresentasse, minimamente, uma conclusão (C), acompanhada de dados (D) e de uma justificativa (J) ou apoio (A). A análise conjunta permitiu aos alunos comparar seus próprios textos com os elementos do modelo de Toulmin, favorecendo um processo reflexivo sobre a qualidade e a consistência dos argumentos.

Entre os argumentos analisados, destacaram-se aqueles elaborados pela Aluna 18A e pela Aluna 10B, considerados pelos próprios estudantes como os mais consistentes. A Aluna 18A, por exemplo, afirmou: *“Mereço um pirulito pois, além do açúcar nos dar energia para fazer mais atividades, me ajuda com uma distração e foco, já que foi comprovado que comer um pirulito ou mascar um chiclete ajuda a absorver o conteúdo e memorizar assuntos”*. Já a Aluna 10B argumentou que o pirulito funcionaria como uma recompensa cognitiva, associando-o à liberação de dopamina e ao aumento da motivação para o estudo. Em ambos os casos, observou-se a presença clara de conclusão, dados e apoios, inclusive com referência a explicações de cunho científico, o que contribuiu para a maior persuasão dos argumentos.

Outros estudantes apresentaram argumentos que, embora contivessem uma conclusão, careciam de dados ou justificativas mais elaboradas, como no caso da Aluna 4A, que afirmou merecer o pirulito por ser disciplinada e interessada nas aulas, ou do Aluno 6A, que baseou sua justificativa em atributos pessoais. Esses exemplos foram negociados como não válidos no exercício coletivo, o que levou os próprios alunos a reconhecerem limitações em seus textos. Comentários como *“vendo os dos colegas, o meu não tá tão rico”* (Aluno 6A) evidenciam a tomada de consciência sobre a necessidade de fortalecer os argumentos com dados e apoios mais consistentes.

Chamou a atenção, ainda, a tentativa da Aluna 3A de mobilizar a terceira lei de Newton

como apoio argumentativo, ao afirmar: “*Porque segundo a terceira lei de Newton, a ação de força sobre um corpo, ele corresponde a uma força de reação. Minha ação de força é implorar por um pirulito, agora é sua vez de ter a força de reação*”. Embora os colegas reconhecessem que a analogia não se aplicava diretamente ao contexto social da situação, o argumento foi considerado interessante e criativo, indicando uma apropriação inicial, ainda que metafórica, de conceitos científicos como elementos de apoio argumentativo.

De modo geral, as discussões coletivas evidenciaram que os estudantes passaram a perceber que argumentos fundamentados em referências científicas ou explicações teóricas tendiam a ser mais persuasivos, e mais bem justificados. Além disso, muitos reconheceram que seus argumentos poderiam ser aprimorados, especialmente no que dizia respeito à inclusão de refutações ou à consideração de possíveis limitações como, por exemplo, a ausência de menções aos impactos negativos do consumo excessivo de açúcar nos argumentos favoráveis ao pirulito.

Após essa etapa, os alunos tiveram a oportunidade de reescrever seus argumentos com base nas discussões realizadas, com foco no aprimoramento da estrutura argumentativa. Embora a aula tenha sido interrompida por fatores externos à escola, impossibilitando a análise coletiva das versões reescritas, considerou-se que a atividade cumpriu seu papel introdutório ao modelo de Toulmin, funcionando como base para as atividades argumentativas desenvolvidas posteriormente no módulo.

(ii) *Dinâmica Introdutória sobre o Modelo de Argumentação de Toulmin*

Após a introdução de conceitos e postulados da TR, procedeu-se a um debate sobre as implicações da Teoria no funcionamento do GPS. Para tal, foi solicitado que produzissem cartas explicativas sobre as aulas de Física Moderna, com o objetivo de analisar como os estudantes mobilizavam conceitos científicos e elementos da argumentação científica. A atividade teve início em sala de aula e foi finalizada em casa, em função do tempo restrito, sendo facultado aos alunos a escolha entre produção individual ou em duplas. Para fins de análise e preservação do anonimato, as cartas estão identificadas neste artigo como Carta 1, Carta 2 e assim sucessivamente, sendo assinaladas com um asterisco aquelas elaboradas em dupla. Durante a transcrição, manteve-se a estrutura original dos textos, suprimindo apenas as identificações pessoais.

Foram analisadas quatro cartas representativas do conjunto produzido, tomando como referência o modelo de argumentação de Toulmin (2006), que considera elementos como reivindicação (ou tese), dados, garantias, apoios, qualificadores e refutações.

A Carta 1, a seguir, embora bem breve, apresentou como reivindicação central a ideia de que o tempo não é absoluto, sustentada por dados relacionados à variação do tempo em função da velocidade e da gravidade.

Carta 1

Viamão, dia 27 de junho de 2023

Olá Vovó como a senhora está? Gostaria muito de vê-la novamente vim aqui para falar um pouquinho sobre a teoria da relatividade que afirma que o tempo não é igual para todos podendo mudar de acordo com 3 variáveis: velocidade, gravidade e espaço. Por exemplo, o tempo contabilizado por alguém na Terra pode ser de algumas décadas enquanto para alguém em uma nave espacial viajando próximo da velocidade da luz seja apenas alguns minutos... mas, com toda certeza se eu pudesse, voltaria no tempo para vê-la novamente.

Saudades,

O texto da Carta 1 articulou conceitos científicos a uma narrativa de cunho emotivo, ao relacionar a relatividade do tempo à possibilidade de reencontros, o que indica alguma apropriação conceitual, ainda que simplificada (seria preciso aprofundar essa compreensão, possivelmente com entrevistas). Apesar de limitações na precisão conceitual, a carta sugere que o aluno compreendeu princípios básicos da teoria e foi capaz de utilizá-los em um contexto argumentativo próprio.

A análise da Carta 2, por outro lado, indicou que a estudante desenvolveu uma estrutura argumentativa consistente, articulando corretamente conceitos centrais da TR, como a relatividade do movimento, do repouso e do tempo. As reivindicações presentes no texto foram sustentadas por dados provenientes de exemplos do cotidiano, como, por exemplo, a experiência de estar em um carro em movimento, além de garantias associadas à necessidade de um referencial para a descrição do movimento. Observou-se também a presença de apoios teóricos ao mencionar a substituição da concepção newtoniana de espaço e tempo independentes pela noção de espaço-tempo, apontando indícios de uma compreensão adequada de aspectos epistemológicos e da teoria. O uso de expressões assertivas funcionou como qualificadores modais, conferindo força às conclusões apresentadas, embora a ausência de refutações indique possibilidade de aprimoramento argumentativo.

Carta 2

27 de Junho de 2023, Viamão (RS)

Querida avó,

Primeiramente, como a senhora está? Há um bom tempo não lhe escrevo, peço desculpas. Estou escrevendo agora para compartilhar algumas reflexões que tive graças a senhora. Faz mais de 1 mês que a senhora me disse, no café da manhã, que não podemos acreditar em um só ponto de vista, pois é importante considerarmos “os dois lados da verdade”, como a senhora costuma dizer. Segundo a senhora, “é a prática da relatividade que demonstra o nível de maturidade de alguém”. Essa conversa permanece martelando na minha cabeça até hoje. Por obra do destino (ou não), na minha aula de física do dia seguinte, a minha professora favorita introduziu a turma aos conceitos de movimento e de repouso. Em suma, tanto o movimento como o repouso são conceitos relativos. Como assim? Ora, assim como nós precisamos buscar conhecer todos os pontos de vista diante de um conflito interpessoal, por exemplo, é imprescindível a adoção de um referencial para determinar se um corpo está em movimento ou não. Talvez com um exemplo presente no cotidiano a senhora entenda. A título de exemplo, isso explica por que temos a impressão de que estamos em repouso mesmo dentro de um carro em movimento, enquanto as pessoas de fora estão em movimento. Em outras palavras, nessa situação, precisa-se de um referencial: se o referencial é o carro, que está em movimento as pessoas dentro do automóvel estão em repouso, e as que estão fora dele, em movimento.

Por que? Porque tudo depende de um referencial! veja que legal, outros conceitos explicam também porque não sentimos a Terra se movimentar ao redor do Sol nem ao redor de si mesma; É como se estivéssemos “compartilhando” o movimento com ela. Então, para nós, ela está em repouso e para ela, nós também estamos em repouso. Isso não é interessante? Espero não estar tomando muito do seu tempo – que, aliás, é relativo, hehe. Aliás, já ouviu falar na teoria da relatividade do tempo? Ao contrário do que a maioria esmagadora das pessoas pensa, não foi só a está em que laborou essa teoria sozinho; teve a colaboração de outros físicos. Em síntese, a teoria da relatividade do tempo investiga de que modo o tempo pode variar a depender da velocidade do corpo. De acordo com a teoria, os conceitos independentes de espaço e tempo da teoria de Newton foram substituídos, melhorados, pela ideia de espaço-tempo, como a unidade inseparável. Nesse sentido, o tempo cronometrado em um mesmo evento por observadores distintos é diferente. O espaço e o tempo deixam de ser absolutos e passam a ser relativos.

Vô, tenho que ir. Sabe o que vou fazer agora? Estudar física! Einstein falou uma coisa que a senhora sempre me disse: “a vida é como andar de bicicleta. Para manter o equilíbrio, você deve continuar se movendo”.

Eu te amo. Até mais

Do ponto de vista conceitual, a Carta 2 revelou uma compreensão consistente dos fundamentos da Teoria da Relatividade, reconhecendo-a como uma ampliação da mecânica newtoniana, e não como sua simples negação. Essa interpretação está alinhada com a abordagem discutida em sala, que enfatizou o caráter evolutivo do conhecimento científico, no qual novas teorias incorporam e refinam explicações anteriores em determinados domínios de validade.

A Carta 3, elaborada em dupla, apresentou múltiplas reivindicações relacionadas a movimento, repouso, tempo e velocidade relativos, bem como menções aos postulados da Teoria da Relatividade Restrita. No entanto, a análise indicou que parte significativa do texto consistia na reprodução quase literal desses postulados, o que dificulta inferências sobre a efetiva compreensão conceitual dos estudantes.

Carta 3

Carta Explicativa

- *Movimento: movimento é a variação de posição espacial de um objeto ou ponto material em relação a um referencial no decorrer do tempo. Consiste numa mudança de posição de um corpo ou de um sistema, em relação ao tempo, quando medido por um dado observador num referencial determinado.*
- *Repouso: é definido quando a posição de um objeto sobre algum ponto referencial não muda em um intervalo de tempo final ela está relacionada aos conceitos básicos de movimento.*
- *Referencial: o referencial pode ser entendido como ponto de vista de um observador colocado em determinado lugar no espaço. Só podemos dizer que um objeto está em movimento ou não a partir de um referencial.*
- *Tempo relativo: afirma que o tempo não é igual para todos, podendo mudar de acordo com 3 variáveis: velocidade, gravidade e espaço.*
- *Velocidade relativa: diz respeito à diferença de velocidade entre 2 corpos. Por exemplo, se 2 carros estão andando com velocidade constante e na mesma direção e sentido, a distância entre eles será sempre a mesma.*
- *Postulados da TR: 1- as leis da natureza, ou da física, são as mesmas para todos os referenciais inerciais. 2- a velocidade de propagação da luz no vácuo é constante, independente do movimento da fonte e tem o mesmo valor para quaisquer referenciais inerciais.*
- *Importância da teoria da relatividade: a teoria foi uma revolução para o século xx, pois ela provocou inúmeras transformações em conceitos básicos e também proporcionou que fatos importantes ainda não explicáveis, pudessem ser entendidos. Essa teoria surgiu com um físico alemão Albert Einstein.*

A Carta 3 expressou uma visão da ciência centrada em descobertas individuais e rupturas abruptas, ao caracterizar a teoria como uma “revolução” associada exclusivamente à figura de Albert Einstein. Essa concepção, embora recorrente no senso comum, contrasta com a perspectiva epistemológica discutida em aula, inspirada na noção de construção coletiva, histórica e de evolução lenta e progressiva do empreendimento científico, segundo Toulmin (1977). A permanência dessa visão reforça a importância de abordagens contínuas em sala de aula, capazes de problematizar a natureza da ciência ao longo do tempo. Uma única discussão pode não ser capaz de estremecer crenças enraizadas, e geralmente ingênuas, sobre o processo de construção do conhecimento científico (Massoni, 2010).

A Carta 4, também escrita em dupla, apresentou como reivindicação a dependência do referencial para a definição de movimento, conforme podemos observar a seguir.

Carta 4

Resumo Teoria da Relatividade

- *A física explica que nem tudo que se move está realmente se movendo, depende muito do ponto de vista. Por exemplo: existe dois corpos, um deles (corpo A) está dentro de um carro e o outro (corpo B) do lado fora. O corpo B está sentado em um banco observando o carro, do ponto de vista dele o corpo A está em movimento já que o carro está andando, porém do ponto de vista do corpo A quem está se movendo na verdade é o corpo B já que o A está parado dentro do carro que é o único que está se movimentando.*
- *Para chegarem nos resultados da teoria da relatividade houveram pesquisas complexas e para isso foi até criado o interferômetro que foi testado por vários outros pesquisadores para comprovar essa teoria.*
- *Einstein, que também estudava sobre, em sua pesquisa formulou um argumento que permitiu entender mais desse fenômeno. Assim como a movimentação é relativa o tempo também é, em um experimento dentro da sala de aula onde um aluno andava de skate e ou outro a pé descobrimos que mesmo ambos fazendo o mesmo caminho o tempo do cronômetro foi diferente. Esse assunto sempre traz junto o de espaço já que é difícil falar sobre tempo sem envolver o espaço, por isso dizem que o tempo é a quarta dimensão pois as anteriores só fazem a descrição num determinado período de tempo para explicar a posição. Em todo contexto a evolução científica foi muito importante, Einstein não fez tudo sozinho, por isso é bom estudar assim saindo um pouco do comum levando em consideração que professores tendem a explicar sobre isso de um jeito "careta" se tornando péssimo de estudar ou até de entender.*

Embora o texto da Carta 4 associe o interferômetro diretamente à “comprovação” da TR, o que simplifica o papel histórico do experimento de Michelson-Morley, observou-se um esforço dos alunos em relacionar experimentação, teoria e conceitos abstratos como espaço-tempo. A carta também expressa uma crítica implícita ao ensino tradicional, sugerindo a valorização de práticas mais dinâmicas e interativas.

No total, foram produzidas 16 cartas, sendo 12 em duplas e quatro individuais, envolvendo a participação de 28 estudantes das duas turmas. A análise do conjunto revelou recorrência na mobilização dos conceitos de movimento, repouso e sistemas de referência, bem como de noções básicas da TR, como a variação do tempo, a velocidade da luz e seus

postulados fundamentais. Observou-se ainda o uso frequente de analogias do cotidiano e referências a atividades experimentais desenvolvidas em aula, o que está em consonância com estudos que apontam o papel dessas estratégias na construção de sentido pelos alunos, embora também alertem para seus limites em contextos não intuitivos, como o da relatividade (Pietrocola & Zylbersztajn, 1996).

De modo geral, as cartas indicam indícios iniciais de compreensão tanto dos conceitos físicos quanto dos processos de construção do conhecimento científico. A valorização de aspectos históricos e epistemológicos, trabalhados ao longo do módulo, parece ter contribuído para uma percepção da ciência como um empreendimento em evolução, ainda que concepções simplificadas persistam. Esses resultados corroboram a ideia de que a inserção da HFC, articulada ao ensino de Física, pode favorecer a apropriação conceitual e argumentativa dos estudantes, especialmente quando alinhada a uma perspectiva epistemológica como a de Toulmin (2006). Na sequência, apresentam-se os argumentos mobilizados pelos alunos no debate final sobre as implicações da Teoria da Relatividade no funcionamento do *Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global (GPS).

(iii) *Debate sobre o uso do GPS*

Após a conclusão das aulas de Física que compuseram o módulo, foi desenvolvida uma atividade de debate, estruturado com características semelhantes a um júri simulado, que combinava a discussão coletiva e a exposição de conceitos científicos, bem como a defesa de justificativas/apoios (Guimarães & Massoni, 2020b). A atividade teve como objetivo promover, aprimorar o desenvolvimento de habilidades de argumentação científica, orientadas pelo modelo de Toulmin (2006), a partir da discussão de uma aplicação concreta da TR: o funcionamento do GPS. A escolha desse tema considerou, especialmente, apontamentos realizados pelos próprios estudantes (Januário, 2024), que manifestaram dificuldades em conceber e perceber a aplicabilidade da Física no seu cotidiano. Assim, discutir uma tecnologia amplamente presente na vida contemporânea mostrou-se um caminho viável e coerente para atribuir sentido aos conceitos estudados, buscando alcançar, além de compreensão epistemológica, uma aprendizagem conceitual significativa (Ausubel, 2003).

Para a realização do debate, os estudantes das Turmas A e B foram organizados em dois grandes grupos, sendo um grupo em cada turma responsável por defender o uso do GPS e a correspondente relevância da TR para o seu funcionamento; o outro grupo deveria argumentar contra o uso dessa tecnologia, apresentando alternativas e problematizando suas limitações. Embora estivesse inicialmente previsto o acompanhamento do professor regente de Física, este precisou assumir outra turma no mesmo horário, não participando diretamente da condução do debate. Na sequência, apresentam-se os principais argumentos elencados pelas Turma A e Turma B, respectivamente.

Extratos do debate: principais argumentos grupo “A Favor” (Turma A):

Com o uso do GPS a gente consegue saber onde estão as coisas mais próximas, então facilita essa questão de produto e cliente no Google Shopping, por exemplo, depois das correções da física [...]. Se o lugar é bom, ...o maps já vai dizer se o lugar é bom, ou não, já que tem as recomendações. E isso serve também pra gente poder se deslocar para o hospital mais próximo. E esse argumento de que se cair, por exemplo, um satélite... beleza, ainda tem mais uns 26. Além disso, os mapas... tu vai saber ler mapa? Quem sabe ler uma bússola? ... milhões de pessoas não sabem nem ler, e vocês querem usar mapas? O uso do GPS facilita o transporte de mercadoria para todo o Brasil, tem precisão nos voos, consegue mapear os animais submarinos e identificar se está em falta, ou não, tudo é muito fluido e rápido. Além disso, pessoas que não sabem ler, pode usar no celular, por exemplo, a função de voz e a pessoa falar e se localizar. Não tem como não dizer que a a teoria da Relatividade foi imensamente eficaz nesse sentido, pois, essa

precisão veio daí. (grifos nossos)

Extratos do debate: principais argumentos grupo “Contra” (Turma A) :

*Uso do GPS acaba gerando uma vulnerabilidade..., estamos acostumados a muita questão tecnológica, **ficamos presos a isso, simplesmente, e quando o satélite cair todo mundo vai ficar na escuridão**, eu não posso saber mais para onde eu posso ir, não vou saber chegar a tal lugar... Isso ajuda também na questão do consumismo...o incentivo a consumir mais, e ficar preso à tecnologia, mas é preciso buscar, pensar mais, pensar fora da caixa. **E o que vai fazer quando não tiver internet se não vai conseguir ter um acesso correto ao GPS?** Por mais que os erros sejam mínimos, mas se você está numa rua, se você está passando de carro, por exemplo, pode acontecer sim de eu me perder pra ficar rodando, entrando numa rua saindo em outra e se o trânsito for agitado, se o trânsito for muito agitado dependendo do lugar, às vezes, o retorno vai estar a quilômetros de distância. **E se esse pequeno erro te leva para às comunidades brasileiras? A gente sabe o que vai acontecer.** Por isso o mapa [referindo ao mapa impresso] e informações pessoais são mais seguras. Não precisa digitar e salvar teus dados para cair aí nas mãos deles nossas informações pessoais. **O mapa pode ser construído com materiais biodegradáveis, seria um descarte ecológico, o que ajuda a natureza a natureza, que pede socorro.** Além disso, o GPS foi projetado para funcionar em condições normais e em áreas abertas. No entanto, **em ambientes fechados, no meio da mata, a gente fica sem sinal, ou a recepção de sinal pode ser afetada.** Sabendo que nas regiões mais vulneráveis a gente sente bem na pele que tudo é mais difícil e no morro não vai funcionar bem. Se estamos na nossa área, tudo bem, mas se chega em morro desconhecido? Mesmo o gps acabe nos ajudando a localizar e chegar num lugar bom, o GPS pode falhar e nos levar pra um lugar ruim e acabar a vida se for parar num lugar perigoso. (grifos nossos)*

Extratos do debate: principais argumentos grupo “A Favor” (Turma B):

*A gente defende o uso do GPS pelo fato dele ser preciso e coerente. Porque se tu tem, assim ó..., tem uma pessoa doente em tua casa, passando mal, e precisa levar para o hospital, mas tu não sabe onde é, daí **tu não vai pegar o mapa e ficar procurando a localidade**, tipo olhar aqui, passa essa rua, tem esse prédio até tu chegar no hospital... a pessoa já vai estar morrendo, e o GPS ele é muito mais fácil ele te dá também o horário que tu vai chegar. **Fazer o uso do GPS vai nos garantir mais segurança para realizar o trajeto.** O Waze, por exemplo, ele funciona sem Wi-Fi tu coloca em tua casa e sai. Além disso, **o GPS tem inúmeras aplicações, até na agricultura onde os agricultores podem otimizar o uso de fertilizantes, de água,** até a construção de coisas maiores. Meu avô, por exemplo, está cansado e usa toda essa tecnologia pra mapear as terras dele. Outra coisa também é que é só tu pegar o celular e se quiser recomendações de restaurantes próximos, informações que horas que vai chegar lá, ele avisa... (grifos nossos)*

Extratos do debate: principais argumentos grupo “Contra” (Turma B) :

*Mas existem outros meios que também nos levam ao mesmo local tipo mapa ou até mesmo a orientação solar como faziam os indígenas. Sem falar que o **GPS às vezes pode te levar para um lugar errado**, além do mais se esse teu celular ou teu aparelho travar?! Tiver sem bateria? E outra, no início, o GPS não tinha essa segurança toda se o Einstein não tivesse feito essa correção o **GPS poderia nos colocar em locais perigosos e longe do nosso destino.** E sem levar em conta que nem todo mundo tem celular nem todo mundo tem um aparelho para se conectar e muito pior vai ter o GPS para se localizar. E a pessoa que não sabe ler vai saber usar o GPS? (grifos nossos)*

Com o intuito de sistematizar a análise, os principais argumentos apresentados pelos

grupos da Turma A são apresentados no Quadro 2, enquanto os argumentos da Turma B constam no Quadro 3. Em ambos os quadros, os extratos do debate foram organizados de modo a evidenciar os elementos constitutivos da argumentação científica segundo o modelo de Toulmin (2006).

Quadro 2: Elementos da argumentação, segundo o Modelo de Argumentação de Toulmin, apresentados pela Turma A

Elementos de Toulmin	Grupo Favorável (Turma A)	Grupo Contrário (Turma A)
Reivindicação	O uso do GPS facilita várias questões, como localização de objetos e pessoas, compras online, navegação para hospitais, transporte de mercadorias, precisão nos voos e mapeamento ambiental.	O uso de mapas impressos e informações pessoais é mais seguro. O uso do GPS gera vulnerabilidade, dependência tecnológica, consumismo e riscos de segurança.
Dados	- Localização de objetos e pessoas próximas; - Facilidade em compras (Google Shopping) e recomendações de lugares; - Navegação para emergências (hospitais); - Precisão logística e mapeamento de fauna submarina; - Contribuição da Teoria da Relatividade para a precisão do sistema.	- Incita o consumismo e a dependência tecnológica; - Possibilidade de falha técnica (queda de satélites ou falta de internet); - Erros de mapeamento que levam a locais perigosos; - Exposição de dados e informações pessoais; - Ineficiência em áreas de mata ou morros (vulnerabilidade de sinal).
Garantia	O GPS é uma ferramenta eficiente que contribui para a precisão de informações em diversas áreas.	O uso excessivo do GPS pode levar à dependência tecnológica, reduzindo a comunicação pessoal e a autonomia.
Apoio	Acessibilidade: para pessoas não alfabetizadas, o GPS oferece funções de voz, facilitando o uso.	Sustentabilidade: o uso de mapas impressos permite um descarte ecológico (materiais biodegradáveis).
Qualificador	Não houve um qualificador explícito no argumento fornecido.	Não houve um qualificador explícito no argumento fornecido.
Reserva	Não houve respaldo explícito.	O GPS causa impacto ambiental devido ao descarte tecnológico inadequado e falhas em condições não ideais.

Fonte: Januário (2024).

Quadro 3: Elementos da argumentação, segundo o Modelo de Argumentação de Toulmin, apresentados pela Turma B

Elementos de Toulmin	Grupo Favorável (Turma A)	Grupo Contrário (Turma A)
----------------------	---------------------------	---------------------------

Reivindicação	O uso do GPS é preciso e garante mais segurança na localização de pontos de interesse e na execução de trajetos.	Existem métodos alternativos (mapas, orientação solar) que são igualmente eficazes para o deslocamento.
Dados	- Eficácia em emergências médicas para localização rápida de hospitais; - Funcionalidade offline em aplicativos específicos (Waze); - Praticidade e precisão no tempo de chegada (tempo real).	- Métodos tradicionais/históricos (orientação solar indígena) funcionam; - Falibilidade técnica: o GPS pode levar a lugares errados ou sofrer com travamentos e falta de bateria; - Exclusão digital: nem todos possuem aparelhos ou literacia digital.
Garantia	O GPS é uma ferramenta eficiente que proporciona informações precisas e facilita a vida cotidiana.	Existem alternativas de orientação diferentes do GPS que também são eficientes e independentes de tecnologia.
Apoio	Versatilidade: uso na agricultura para otimização de recursos (água/fertilizantes) e mapeamento de terras.	Dependência de infraestrutura: o uso do GPS pressupõe a posse de um aparelho celular carregado e conexão.
Qualificador	Não houve um qualificador explícito no argumento fornecido.	Não houve um qualificador explícito no argumento fornecido.
Reserva	Implícitas, relacionadas à confiança incondicional na tecnologia apresentada.	Não menciona diretamente condições de exceção, focando na crítica à dependência.

Fonte: Januário (2024).

No caso da Turma A (Quadro 2), observa-se que ambos os grupos) apresentaram dados relevantes e recorreram a apoios para sustentar suas reivindicações. O grupo favorável ao uso do GPS destacou, de forma articulada, uma série de benefícios práticos da tecnologia, como a facilitação da localização de pessoas e serviços, a otimização de compras online, o auxílio na navegação até hospitais, a melhoria no transporte de mercadorias, a precisão em voos e o mapeamento de animais submarinos. Além disso, os estudantes ressaltaram a acessibilidade do GPS por meio de recursos como a função de voz, ampliando seu uso para pessoas não alfabetizadas. Um aspecto relevante foi a menção explícita à contribuição da Teoria da Relatividade para a precisão do sistema, ainda que de maneira geral, indicando a percepção de que o conhecimento científico fundamenta o funcionamento da tecnologia.

Por outro lado, o grupo que se posicionou contra o uso do GPS (Turma A) enfatizou riscos e vulnerabilidades associados à dependência tecnológica. Entre os dados apresentados, destacaram-se a possibilidade de falhas técnicas, a dependência de satélites e de acesso à internet, os riscos à segurança de dados pessoais e o impacto ambiental relacionado ao descarte tecnológico inadequado. A defesa do uso de mapas impressos e de informações interpessoais foi sustentada, sobretudo, pela ideia de maior segurança e menor dependência de sistemas digitais, sendo o caráter biodegradável dos mapas utilizado como apoio ambiental. Ainda que não tenham sido explicitados qualificadores ou reservas de forma sistemática, os argumentos evidenciam preocupações sociais, ambientais e éticas associadas ao uso da tecnologia.

De modo geral, o debate na Turma A mostrou-se equilibrado, contrapondo benefícios e riscos do GPS, o que favoreceu uma discussão mais ampla sobre o uso consciente e informado da tecnologia. Tal equilíbrio apontou indícios de um avanço na habilidade, capacidade dos estudantes de reconhecer que aplicações científicas não são neutras, envolvendo implicações sociais e ambientais.

Na Turma B (Quadro 3), o grupo favorável ao uso do GPS destacou sua precisão, confiabilidade e utilidade para auxiliar na resolução de situações de emergência, como o rápido deslocamento até hospitais, além de aplicações em áreas como a agricultura, nas quais a tecnologia pode otimizar o uso de recursos naturais e o mapeamento de terras. Os estudantes também ressaltaram a praticidade do sistema, a oferta de informações em tempo real e sua integração com diferentes atividades cotidianas. No entanto, apesar da clareza da reivindicação e dos dados apresentados, observou-se uma limitação na diversificação dos elementos argumentativos, como a ausência de referências explícitas à fundamentação científica das correções relativísticas envolvidas no funcionamento do GPS.

O grupo que argumentou contra o uso exclusivo do GPS, Turma B, por sua vez, apresentou alternativas à tecnologia, como o uso de mapas impressos e a orientação solar, mencionando práticas historicamente utilizadas por povos indígenas. Também levantou questões relacionadas a falhas técnicas, necessidade de bateria e acesso a dispositivos eletrônicos, reconhecendo, ainda que de forma sucinta, que as correções advindas da Teoria da Relatividade foram fundamentais para o aprimoramento do sistema. Apesar disso, os argumentos careceram de maior aprofundamento histórico e prático, especialmente no que se refere às alternativas propostas.

Em síntese, os dois grupos da Turma B apresentaram argumentos adequados e pertinentes, porém com menor complexidade estrutural na construção dos argumentos, quando comparados aos da Turma A. Nos dois casos, observou-se a ausência de contra-argumentos explícitos, de dados quantitativos ou de referências científicas mais diretas, o que indica limites no domínio do modelo argumentativo, mas também revela potencial para seu aprimoramento.

A escolha do GPS como tema central do debate mostrou-se especialmente fecunda por se tratar de uma tecnologia cuja operação depende diretamente de correções relativísticas, oferecendo aos estudantes uma oportunidade concreta de perceber a aplicabilidade da Física ensinada na escola. Conforme apontam Vieira e Nascimento (2013), o modelo de Toulmin (2006) possibilita avaliar a solidez dos argumentos ao evidenciar a relação entre reivindicações, dados e garantias, sendo particularmente útil para a análise do discurso científico e de situações controversas. Ao se posicionarem a favor ou contra o uso do GPS, os estudantes organizaram elementos discutidos ao longo do módulo e exercitaram a defesa de seus pontos de vista, incorporando aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais. Nesse sentido, o debate contribuiu para problematizar a ideia, recorrente entre os alunos, de que os conteúdos da Física escolar são distantes da realidade cotidiana.

Um aspecto adicional observado foi que, após as aulas sobre o modelo de Toulmin, diversos estudantes passaram a relatar o uso dessa estrutura argumentativa em outros contextos, como a escrita de redações dissertativas para o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio). Alguns alunos, inclusive, buscaram orientação da pesquisadora para aprimorar seus textos e se sentiram motivados a participar de um concurso estadual de redação promovido no município de Viamão. Tal desdobramento, ainda que não previsto inicialmente, pode ser compreendido como uma contribuição formativa relevante do módulo, ao extrapolar o ensino de Física e alcançar competências argumentativas mais amplas.

Considerações Finais

A implementação do módulo didático relatado neste artigo permitiu observar que a inserção da Física Moderna no Ensino Médio, se e quando mediada por uma perspectiva histórico-epistemológica, neste caso pelo padrão argumentativo de Toulmin, transcende a mera atualização curricular. O processo evidenciou que a Teoria da Relatividade, apesar de sua natureza contra-intuitiva, constitui um terreno fértil para o desenvolvimento do pensamento crítico e da alfabetização científica.

Os resultados demonstram que o uso sistemático do modelo de argumentação de Toulmin atuou como uma ferramenta viável e com boa receptividade por parte dos estudantes. Ao serem instigados a explicitar dados e garantias, os estudantes abandonaram a postura de receptores passivos de "verdades científicas" para assumirem o papel de sujeitos que justificam suas alegações. A evolução observada nas cartas e no debate sobre o GPS indica que a compreensão conceitual da TR está intrinsecamente ligada à capacidade de argumentar sobre ela. Quando o aluno compreende que uma teoria científica não é uma descoberta fortuita, mas uma construção humana que exige suporte empírico e teórico (apoio e garantias), a aprendizagem torna-se mais reflexiva e resiliente ao senso comum.

Ao final do módulo, mesmo os estudantes com uma base matemático-conceitual fragilizada, claramente agravada pelo contexto pandêmico e à necessária adaptação às aulas remotas, os estudantes expressaram satisfação e certa emoção por terem alcançado um entendimento, que inicialmente lhes parecia inatingível. Este resultado sublinha, mesmo que de maneira simples, que é possível proceder uma abordagem de temas da FM em sala de aula da Educação Básica, como defende a literatura da área. Um exemplo desse envolvimento foi que alguns alunos fizeram duplas e trios e escreveram voluntariamente um material sobre TR, após o último encontro. Do ponto de vista da História e Filosofia da Ciência, a abordagem evolucionista de Toulmin permitiu desmistificar a imagem heroica de Einstein, apresentando a Teoria da Relatividade como o resultado de um debate coletivo e histórico que envolveu controvérsias e refinamentos. Essa percepção da "ciência como processo" é fundamental para a formação cidadã, pois capacita o estudante a compreender que a ciência é provisória e socialmente situada, embora dotada de rigor e racionalidade.

Outro achado deste recorte foi a transversalidade da habilidade argumentativa. O fato de os estudantes transportarem o modelo de Toulmin para outros contextos, como a redação do ENEM, sugere que o Ensino de Física pode contribuir de forma direta para competências linguísticas e analíticas amplas, rompendo com o isolamento disciplinar.

Contudo, a pesquisa também reafirmou os desafios estruturais das escolas públicas, em geral marcadas por escassez de infraestrutura, de tempo e pela necessidade de flexibilização constante do planejamento frente aos imprevistos institucionais. Tais limitações reforçam a importância de desenvolvimento de materiais didáticos, bem como de relatos de experiências, que articulem teoria e prática de forma exequível no contexto real da sala de aula de modo a incentivar os professores de Física a investirem na diversificação didáticas e na introdução de temáticas de Física Moderna.

Em suma, este estudo reitera que o diálogo entre a Universidade e a Escola é o caminho potente para uma transposição didática de temas atuais, que não simplifique o conhecimento, mas o torne acessível e discutível. Espera-se que a experiência aqui relatada possa inspirar novas práticas que coloquem a argumentação e a história da ciência no centro do ensino de Física, fomentando uma educação que prepare os jovens não apenas para exames, mas para uma participação informada e crítica na sociedade contemporânea.

Agradecimentos

A primeira autora agradece à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa de Doutorado.

Referências

- Alencar, G. (2023). *Alice no País da Relatividade: teoria da relatividade para o ensino médio*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Almeida, O. F. (2016). *Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana*. (Dissertação de mestrado). 1–205 f. – UFRJ, Rio de Janeiro.
- Alves-Brito, A., & Massoni, N. T. (2019). *Astrofísica para a Educação Básica: a origem dos elementos químicos no Universo*. 1. ed. Curitiba: Editora Appris.
- Ausubel, D. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Paralelo Editora.
- Baronett, S. (2009). *Lógica: uma introdução voltada para as ciências*. Porto Alegre: Bookman.
- Berland, L., & Crucet, K. (2016). Epistemological Trade-Offs: Accounting for Context When Evaluating Epistemological Sophistication of Student Engagement in Scientific Practices. *Science Education*, 100(1), 5–29.
- Bourdieu, P. (2015). *Escritos da Educação*, 16 ed. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes.
- Brasil. Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC.
- Brasil. Ministério da Educação. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília, DF: MEC.
- Carvalho, A. M. P., & Sasseron, L. H. (2016). Ensino de Física por investigação: Referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino sobre calor e temperatura. *Ensino em Revista*, 22(2), 249–256. <https://doi.org/10.14393/ER-v22n2a2015-1>
- Cuesta Beltrán, Y., & Mosquera Suárez, C. (2016). Algunas Reflexiones en torno a las Implicaciones de la NdC en Educación em Ciencias: el caso de la Enseñanza de la Mecánica Cuántica. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (1).
- Damasio, F., & Peduzzi, L. (2017). História e filosofia da ciência na educação científica: para quê?. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 19, 1–20. <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190103>
- Dawes, L. (2004). Talk and learning in classroom science. *International Journal of Science Education*, 26(6), 677-695.
- Do Carmo, A. B. (2006). *A linguagem matemática em uma aula experimental de física*. (Dissertação de mestrado). IF-USP, f.134, São Paulo.
- El-Hani, C. N., Tavares, E. J. M., & Da Rocha, P. L. B. (2016). Concepções epistemológicas de estudantes de Biologia sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9(3), 265-313. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/529>
- Ferreira, J. M. H. (2013). Abordando a Natureza da Ciência na formação de professores de física: desafios e perspectivas. In: Silva, C. C.; Prestes, M. E. B. (Org.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. São Carlos: Tipographia, pp. 251-264.
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27–59.
- Galvão, I. C. M., Spazziani, M. L., & Monteiro, I. C. C. (2018). Argumentação de alunos da primeira série do Ensino Médio sobre o tema “Energia”: discussões numa perspectiva de Educação Ambiental. *Ciência & Educação*, 24(4), 979-991. <https://doi.org/10.1590/1516-731320180040011>

- Guimarães, R. R., & Massoni, N. T. (2020). Argumentação e pensamento crítico na educação científica: análise de estudos de casos e problematizações conceituais. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 13(2), 320-344. [10.3895/rbect.v13n2.9563](https://doi.org/10.3895/rbect.v13n2.9563)
- Guimarães, R. R., & Massoni, N. T. (2020b). O uso do modelo padrão de argumentação de Stephen Toulmin no ensino de ciências no âmbito da disciplina de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(3), 487-502. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p487>
- Hewitt, P. G. (2015). *Física Conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Januário, M. D. A. (2024). *Ensino de um tópico de física moderna articulado à história e filosofia da ciência: escutas e construção de diálogo entre universidade, escola e alunos da educação básica*. (Tese de doutorado). 1-364 f. – UFRGS, Porto Alegre. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/278632>
- Januário, M. D. A.; González, G. A. N.; Massoni, N. T., & Moriggi, A. V. (2022). Reflexões sobre a Educação em Ciências à luz da Epistemologia de Humberto Maturana. *Temporalidades – Revista de História*, 14(1), 514-534. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/temporalidades/article/view/36484>
- Januário, M. D. A., Hoernig, A. F., & Massoni, N. T. (2024). Tendências atuais sobre o Ensino de Física Moderna: uma revisão de literatura. *Revista Educar Mais*, 8, 1-22. <https://doi.org/10.15536/reducarmais.8.2024.3668>
- Januário, M. D. A., & Massoni, N. T. (2023). Estratégias para o ensino da teoria da relatividade no ensino médio: uma análise da produção acadêmica. *Experiências em Ensino de Ciências*, 18(3), 147-169.
- Januário, M. D. A., & Massoni, N. T. (2021). O uso da argumentação na acepção de Stephen Toulmin articulado à abordagem histórico-epistemológica com enfoque no aluno. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 4(3), 1268-1286. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12906>
- Januário, M. D. A., & Massoni, N. T. (2025). A percepção do aluno sobre o que é ser aluno: escutas no espaço escolar e suas implicações no Ensino de Física. *Ciência & Educação*, 31, e25003. <https://doi.org/10.1590/1516-731320250003>
- Januário, M. D. A., & Nobre, F. A. S. (2019). Estudando a Relatividade restrita com folhetos de cordel científicos em formato de história em quadrinhos. *Textos de Apoio ao Professor de Física*, 30(1), 1-90. https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v30n1.pdf
- Jiménez-Aleixandre, M. P.; Mortimer, E. F.; Silva, A. C. T.; & Díaz, J. (2008). Epistemic practices: an analytical framework for science classrooms. In: *Annual meeting of american educational research association (aera)*. Proceedings of AERA, New York.
- Lin, P. J. (2018). The Development of Students' Mathematical Argumentation in a Primary Classroom. *Educação & Realidade*, 43(3), 1171-1192. <https://doi.org/10.1590/2175-623676887>
- Loch, J., & Garcia, N. M. D. (2009). Física moderna e contemporânea na sala de aula do ensino médio. In: *VII ENPEC*, Florianópolis.
- Martins, R. A. (2006). A maçã de Newton: História, lendas e tolices. In: *Estudos de História e Filosofia das Ciências*. (pp. 166–189).
- Massmann, D. (2015). Por uma história da argumentação: das rupturas de sentido(s) no século XX. *Estudos Linguísticos*, 44(2), 681-694. <https://revistas.gel.org.br/estudos-linguisticos/article/view/1004>
- Massoni, N. T. (2010). *A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de Física: a questão da mudança epistemológica*. (Tese de doutorado). 1-412 f. – UFRGS, Porto Alegre. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/26489>
- Massoni, N. T., & Moreira, M. A. (2014). Uma análise cruzada de três estudos de caso com professores de Física: a influência de concepções sobre a natureza da ciência nas práticas didáticas. *Ciência & Educação*, 20(3), 595-616. <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000300006>
- Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência Atual de Reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), 164-214.

- Monteiro, M., & Martins, A. F. P. (2015). História da ciência na sala de aula: Uma sequência didática sobre o conceito de inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 1-9. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173741919>
- Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Uma Revisão Bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 23-48. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>
- Ostermann, F., & Rezende, F. (2021). BNCC, Reforma do Ensino Médio e BNC-Formação: um pacote privatista, utilitarista minimalista que precisa ser revogado. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 38, n. 3, 1381-1387. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e85172>
- Peduzzi, L. O. Q. (2009). *A Relatividade Einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica*. Florianópolis: Publicação interna do Departamento de Física da UFSC.
- Peduzzi, L. O. Q. (2011). *Evolução dos conceitos da Física*. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM.
- Peduzzi, L. O. Q., & Raicik, 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>
- Popper, K. (2008). *Conjecturas e Refutações*. 5ª ed. Brasília: Editora da UnB.
- Raicik, A. C. (2020). Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(2), 164-197. <https://www.fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/719>
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(1), 109-128. <https://www.redalyc.org/journal/5716/571662475007/571662475007.pdf>
- Rocha, D. M., & Ricardo, E. C. (2016). As crenças de autoeficácia e o ensino de Física Moderna e Contemporânea. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 223-252. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p223>
- Rodrigues, M. A., & Pietrocola, M. (2001). A Teoria da Relatividade Especial no Ensino Médio: uma proposta de abordagem com o uso de experimentos de pensamento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(2), 226-235.
- Rodrigues, C. M., Sauerwein, I. P. S., & Sauerwein, R. A. (2014). Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1-7. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100016>
- Sá, M. R. R. (2015). *Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1º ano do Ensino Médio: uma proposta de inserção*. (Dissertação de mestrado). UnB, Brasília. Acesso, fev.2024. https://mnpef.unb.br/wp-content/uploads/2024/08/2015_MarcosRibeiroRabelodeSa-1.pdf
- Sasseron, L. H., & Carvalho, A. M. P. (2011). Uma análise de referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(3), 243-262. <https://doi.org/10.1590/1983-21172011130315>
- Silvério, B. A., Sitko, C. M., & Figueirôa, S.F.M. (2023). O protagonismo de Henrietta Leavitt na elaboração da relação período-luminosidade da astronomia. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 40, n. 3, 670-703. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2023.e94027>
- Solbes, J., & Sinarcas, V. (2009). Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 23, 123-151. <https://doi.org/10.7203/dces.23.2404>
- Stake, R. E. (2011). *Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam*. Porto Alegre: Penso.
- Terrazzan, E. A. (1992). A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 9(3), 209-214.
- Toulmin, S. E. (2006). *Os usos do argumento*. (R. Guarany, Trad.). 2. ed. São Paulo: Martins Fontes.

Toulmin, S. E. (1977). *La comprensión humana - Volumen 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial. 523 p.

Vieira, R. D., & Nascimento, S. S. (2013). *Argumentação no ensino de ciências: tendências, práticas e metodologia de análise*. Curitiba: Appris.

Vieira, P. C., Massoni, N. T., & Alves-Brito, A. (2025). *Cecilia Payne: uma estrela eclipsada na ciência*. São Paulo: LF Editorial, 102 p. ISBN: 978-65-5563-553-9