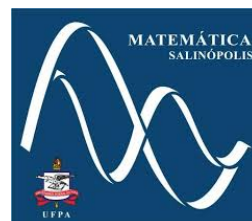




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS
FACULDADE DE MATEMÁTICA
LICENCIATURA EM MATEMÁTICA



Ana Julia dos Santos Moraes

**Relatividade Especial no Ensino Médio Brasileiro: Dificuldades Didáticas, Obstáculos
Conceituais e Propostas de Superação - Uma Revisão Sistemática**

SALINÓPOLIS

2026

Ana Julia dos Santos Moraes

**Relatividade Especial no Ensino Médio Brasileiro: Dificuldades Didáticas, Obstáculos
Conceituais e Propostas de Superação - Uma Revisão Sistemática**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção de grau de titulação, Faculdade de Matemática, Campus Universitário de Salinópolis, Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Loureiro Benone.

SALINÓPOLIS

2026

Ana Julia dos Santos Moraes

**Relatividade Especial no Ensino Médio Brasileiro: Dificuldades Didáticas, Obstáculos
Conceituais e Propostas de Superação - Uma Revisão Sistemática**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção de grau de titulação, Faculdade de Matemática, Campus Universitário de Salinópolis, Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Loureiro Benone.

Data de Aprovação: ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Carolina Loureiro Benone
Universidade Federal do Pará

Profa. Dra. Maria Alice de Vasconcelos Feio Messias
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Leandro Amador de Oliveira
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é um tributo a todos que, com sua presença e apoio, deixaram e deixarão marcas inesquecíveis em minha jornada.

A Deus, minha bússola nos dias de desorientação, que soube transformar minhas quedas em degraus e minhas incertezas em alicerce para seguir em frente.

À Profa. Dra. Carolina Loureiro Benone, farol que clareou meu percurso quando eu não enxergava a própria estrada. Por ter acreditado em mim antes mesmo que eu aprendesse a acreditar, e por todas as portas que abriu ao longo desta caminhada.

Ao Thiago Alex, meu companheiro e porto seguro. Por cada dia em que sentou ao meu lado para me ensinar valeu mais que mil palavras, por cada “você consegue” nos momentos em que eu já não sabia para onde ir.

À minha família, alicerce que me deu asas. Por cada renúncia silenciosa, por cada lágrima enxugada e cada vitória celebrada.

À UFPA, que me mostrou que o conhecimento transcende as paredes da sala de aula – ele se forja na coragem de persistir.

Aos amigos, poucos mas essenciais, cujas presenças e palavras, mesmo distantes, foram bálsamo para minha alma.

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original”

— Albert Einstein

RESUMO

A inclusão da Teoria da Relatividade Especial (TRE) no Ensino Médio brasileiro é desafiadora devido a complexidades didáticas e obstáculos conceituais significativos. Este trabalho realizou uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com o objetivo de mapear as dificuldades e as propostas de superação para o ensino da TRE. A metodologia envolveu a análise de estudos científicos nacionais, mapeando as principais estratégias didáticas, tendências metodológicas e desafios relatados na literatura de 2020 a 2025. Os obstáculos conceituais persistem devido à fixação em referenciais newtonianos. As propostas de superação recomendam o uso de abordagens históricas e recursos visuais, como simulações. Conclui-se que a melhoria do ensino da TRE exige investimento urgente na formação docente e na criação de sequências didáticas inovadoras que promovam a reflexão crítica.

Palavras-Chaves: Relatividade Especial; Ensino Médio; Dificuldades Didáticas; Revisão Sistemática de Literatura.

ABSTRACT

The inclusion of the Special Theory of Relativity (STR) in Brazilian high school education is challenging due to didactic complexities and significant conceptual obstacles. This work conducted a Systematic Literature Review (SLR) with the aim of mapping the difficulties and proposed solutions for teaching STR. The methodology involved the analysis of national scientific studies, mapping the main didactic strategies, methodological trends, and challenges reported in the literature from 2020 to 2025. Conceptual obstacles persist due to fixation on Newtonian reference frames. Proposed solutions recommend the use of historical approaches and visual resources, such as simulations. It is concluded that improving the teaching of STR requires urgent investment in teacher training and the creation of innovative didactic sequences that promote critical reflection.

Keywords: Special Relativity; High School; Teaching Challenges; Systematic Literature Review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Uma Reflexão Imaginária Sobre a Simultaneidade	18
2	Comportamento do Fator de Lorentz (γ) em função da velocidade relativa (v) expressa em frações da velocidade da luz (c). Observa-se que para velocidades cotidianas ($v \ll c$) o fator aproxima-se de 1, enquanto para velocidades próximas à velocidade da luz ($v \rightarrow c$) o fator tende ao infinito, evidenciando o caráter assintótico da função. Fonte: Elaborado pela autora.	21
3	(a) Pulso de luz emitido e refletido na mesma direção, sob o referencial S' (Mavis). (b) Trajetória do mesmo pulso vista por Stanley (S) e Mavis (S'), indicando o deslocamento da fonte O'	22

LISTA DE QUADROS

1	Trabalhos de Relatividade Especial	32
2	Abordagens para o ensino de TRE no Brasil (2020–2025)	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NdC:	Natureza da Ciência
PhET:	Physics Education Technology (Simulações Interativas)
SEI:	Sequência de Ensino Investigativa
TAS:	Teoria da Aprendizagem Significativa
TDIC:	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TIC:	Tecnologias da Informação e Comunicação
TMC:	Teoria da Mediação Cognitiva
TRE:	Teoria da Relatividade Especial
UEPS:	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
ZDP:	Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	16
2.1	Revisão de Tópicos de TRE: Entre a Eletrodinâmica e a Cinemática Relativística	16
2.1.1	O Experimento Mental da Simultaneidade Relativística e suas Consequências Cinemáticas	18
2.1.2	Análise Conceitual e Comportamento Assintótico do Fator de Lorentz	20
2.1.3	Análise Conceitual da Dilatação do Tempo: Tempo Próprio e Tempo Dilatado	20
2.1.4	A Dinâmica Relativística e a Métrica do Espaço-Tempo	22
2.2	Abordagem da TRE no Ensino Médio: Literacia Científica e Transposição Didática	23
2.3	Referenciais Teóricos, Epistemológicos e Metodológicos das Pesquisas	27
3	METODOLOGIA	29
4	RESULTADOS	35
4.1	Trabalhos com Recursos Tecnológicos e Digitais	35
4.2	Trabalhos com Abordagens Lúdicas e Multimodais	42
4.3	Trabalhos com Contextualização pelo GPS	48
4.4	Trabalhos de Diagnóstico e Fundamentação Teórica	49
4.5	Quadro Comparativo e Discussão Integrada	53
	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A educação científica no Brasil tem passado por transformações profundas, buscando distanciar-se de um modelo puramente mecânico e mnemônico para uma abordagem que privilegie a compreensão de fenômenos contemporâneos. Nesse contexto, a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio não é apenas uma recomendação acadêmica, mas uma necessidade estratégica para a formação de cidadãos capazes de interpretar as inovações tecnológicas e as novas fronteiras do conhecimento que definem o século XXI. Segundo Terrazzan, a compreensão de aparelhos tecnológicos e fenômenos cotidianos depende diretamente de conceitos da FMC. Para superar o modelo mnemônico, o autor defende que essa inserção no ensino médio ocorra com pouca exigência de formalismo matemático (1). Dessa forma, prioriza-se uma abordagem conceitual e fenomenológica, indispensável para o desenvolvimento do pensamento crítico e para a formação cidadã frente às inovações atuais.

Com a consolidação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o ensino de Física foi provocado a transcender os limites da mecânica clássica e do eletromagnetismo tradicional. A Base propõe que os estudantes analisem e interpretem fenômenos que envolvem a relatividade e a física quântica, integrando essas teorias ao cotidiano e às tecnologias modernas, como o GPS e a medicina nuclear. A proposta é que a Física deixe de ser vista como um conjunto de fórmulas estáticas e passe a ser compreendida como um saber dinâmico e em constante evolução. Essa orientação está diretamente vinculada à Competência Específica 2 para o Ensino Médio, que estabelece que o aluno deve ser capaz de "construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo"(2), sendo essencial para fundamentar decisões éticas e responsáveis sobre a evolução do conhecimento científico.

Entretanto, a implementação efetiva da Teoria da Relatividade Especial (TRE) no currículo brasileiro enfrenta desafios estruturais e pedagógicos significativos. Embora os documentos oficiais, como a BNCC e os Referenciais Curriculares anteriores (PCNs), incentivem essa abordagem, a transição entre o que é prescrito pela norma e o que é efetivamente praticado em sala de aula esbarra em fatores como a formação docente inicial e a carência de materiais didáticos que traduzam conceitos complexos de forma acessível, porém rigorosa.

Dessa forma, compreender como a literatura acadêmica brasileira tem sistematizado o ensino de Relatividade Especial torna-se fundamental. Uma revisão sistemática permite identi-

ficar quais metodologias têm demonstrado eficácia e quais lacunas ainda impedem que a Física Moderna deixe de ser um “tópico extra” ao final do ano letivo para se tornar um pilar central na construção do pensamento crítico e científico dos estudantes brasileiros.

Apesar da obrigatoriedade curricular e da relevância tecnológica, a transposição didática da Relatividade Especial esbarra na natureza contra-intuitiva de seus pilares. Diferente da mecânica newtoniana, cujas leis podem ser observadas em fenômenos macroscópicos do dia a dia, os conceitos de relatividade — como a dilatação do tempo e a contração espacial — desafiam o “senso comum” arraigado na percepção sensorial dos estudantes. Como aponta Terrazzan (3), o ensino de Física Moderna exige que o aluno rompa com uma visão de mundo absoluta para aceitar uma realidade onde medidas de tempo e espaço dependem do estado de movimento do observador, o que gera uma resistência cognitiva natural.

Essa barreira é intensificada pela abstração dos experimentos mentais (*Gedankenexperimenten*), ferramentas essenciais para a compreensão da teoria. Para um aluno imerso em uma física de trajetórias visíveis, conceber que o tempo flui de maneira distinta para referenciais em altas velocidades não é apenas uma dificuldade matemática, mas um desafio ontológico. Segundo estudos de Ostermann e Moreira (4), se não houver uma mediação pedagógica que utilize analogias precisas e recursos computacionais, o ensino corre o risco de se tornar meramente formalista, onde o estudante decora o fator de Lorentz, mas não compreende a mudança de paradigma físico que ele representa.

Com essa complexidade, o problema central desta pesquisa reside na fragmentação das estratégias de ensino. Embora existam diversas propostas isoladas para facilitar a compreensão desses conceitos “extraordinários”, ainda carecemos de uma visão panorâmica que integre o que a academia brasileira tem produzido de mais eficaz. Sem essa síntese, o professor em sala de aula permanece desassistido, tentando ensinar conceitos que rompem com a intuição clássica sem o suporte de metodologias que já foram testadas e validadas por seus pares.

Devido ao cenário de desafios conceituais e da necessidade de atualização curricular expostos, torna-se imperativo organizar o conhecimento disperso em periódicos e eventos científicos através de um recorte temporal estratégico. O presente trabalho tem como objetivo principal mapear a produção acadêmica brasileira sobre o ensino de Relatividade Especial entre os anos de 2020 a 2025. Este período de cinco anos é particularmente relevante pois abarca a transição definitiva para o Novo Ensino Médio e os impactos da transformação digital acelerada

pela pandemia, fatores que alteraram drasticamente as dinâmicas de produção de materiais didáticos e pesquisas aplicadas em ensino de física.

Para além de um simples levantamento quantitativo, esta revisão sistemática busca identificar quais tendências metodológicas — como o uso de simuladores computacionais, laboratórios virtuais, abordagens históricas e o uso de sequências de ensino investigativas — ganharam fôlego nesse intervalo e quais resultados foram obtidos no contexto da educação básica e superior no Brasil. Segundo Aguiar, M. Moura e M. F. Barroso (5), sistematizar a produção desse período específico permite reconhecer como a comunidade acadêmica brasileira respondeu à demanda de tornar a Física Moderna mais palatável em um contexto de ensino híbrido e currículos cada vez mais enxutos.

Dessa forma, a pesquisa pretende oferecer um panorama crítico que sirva de subsídio para pesquisadores e docentes. Ao catalogar e discutir as principais evidências encontradas na literatura de 2020 a 2025, espera-se contribuir para a superação das dificuldades de transposição didática já mencionadas, auxiliando na construção de um ensino de Relatividade Especial que seja, ao mesmo tempo, cientificamente rigoroso e adaptado às novas realidades tecnológicas e estruturais das instituições de ensino brasileiras.

A escolha por uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) como percurso metodológico não é casual, mas fundamenta-se na necessidade de conferir rigor e replicabilidade à análise do estado da arte sobre o ensino de Relatividade. Diferente de uma revisão bibliográfica narrativa convencional, a RSL utiliza protocolos rígidos para minimizar vieses, permitindo que o pesquisador identifique com precisão o que, de fato, “já funciona” nas salas de aula brasileiras. Como destacam Rezende e Ostermann (6), estudos que articulam a prática docente com a pesquisa em ensino de Física são fundamentais para uma prática baseada em evidências, pois permitem sistematizar resultados de múltiplas investigações e oferecer um diagnóstico consistente sobre a eficácia de diferentes intervenções pedagógicas.

Além disso, a justificativa para este mapeamento reside na identificação de “lacunas de conhecimento” que ainda persistem no ensino de Física Moderna. Ao analisar a produção entre os anos de 2020 a 2025, torna-se possível detectar quais são as principais dificuldades didáticas e obstáculos conceituais no ensino da Relatividade Especial, bem como mapear as propostas metodológicas mais eficazes para superá-los. Segundo Costa e Zompero (7), o esforço de sistematização é um passo crucial para evitar a “reinvenção da roda” na educação,

permitindo que novos projetos de ensino partam de bases já validadas e foquem seus esforços na resolução de problemas ainda não equacionados pela literatura.

Portanto, este TCC justifica-se pelo seu potencial de servir como um guia para docentes e formuladores de currículos. Ao destacar as estratégias que obtiveram sucesso no engajamento dos alunos e na superação de obstáculos conceituais, a pesquisa oferece uma contribuição social e acadêmica relevante, auxiliando a transformar a teoria de Einstein em um conhecimento palpável e integrado à realidade escolar brasileira, em total consonância com as metas de letramento científico estabelecidas pela BNCC.

Este trabalho está organizado em quatro capítulos principais, além das considerações finais. No Capítulo 2, apresenta-se a Revisão de Literatura, subdividida na fundamentação teórica sobre a TRE — transitando entre a eletrodinâmica e a cinemática relativística — e na análise da transposição didática desse tema para o Ensino Médio sob a ótica da literacia científica. O Capítulo 3 detalha a Metodologia adotada para a realização da pesquisa, enquanto o Capítulo 4 expõe os Resultados e as discussões obtidas. Por fim, apresentam-se a Conclusão e as Referências bibliográficas que fundamentaram este estudo.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A Revisão de Literatura que compõe este capítulo encontra-se estruturada em três eixos fundamentais e complementares, cuja articulação visa fornecer o embasamento teórico necessário à compreensão das dificuldades didáticas e conceituais, bem como das propostas de superação no ensino da TRE no âmbito do Ensino Médio brasileiro.

O primeiro eixo, desenvolvido na seção 2.1, ocupa-se dos fundamentos físicos e matemáticos da TRE, percorrendo sua trajetória desde a gênese histórica da teoria — marcada pela incompatibilidade entre a mecânica clássica newtoniana e o eletromagnetismo de Maxwell — até a consolidação dos dois postulados einsteinianos e suas consequências cinemáticas, tais como a relatividade da simultaneidade, a dilatação temporal e a contração espacial, além da formalização matemática por meio das transformações de Lorentz e do fator de Lorentz.

O segundo eixo, apresentado na seção 2.2, dedica-se à análise da transposição didática da TRE para o contexto escolar, discutindo a inserção da Física Moderna e Contemporânea nos currículos da educação básica a partir das diretrizes estabelecidas pela BNCC, os desafios inerentes à promoção da literacia científica, as limitações dos materiais didáticos tradicionalmente empregados e o papel do professor enquanto mediador epistemológico no processo de ensino-aprendizagem.

O terceiro eixo, sistematizado na seção 2.3, tem por finalidade apresentar os principais referenciais teóricos e epistemológicos que fundamentam as pesquisas analisadas, abrangendo a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel, as Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Marco Antonio Moreira, a Zona de Desenvolvimento Proximal de Lev Vygotsky, as epistemologias da ciência de Thomas Kuhn e Larry Laudan, bem como as abordagens metodológicas baseadas em Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) e as técnicas de coleta e análise de dados, com destaque para o protocolo Report Aloud e a Análise Gestual Descritiva.

2.1 Revisão de Tópicos de TRE: Entre a Eletrodinâmica e a Cinemática Relativística

A gênese da TRE encontra-se na resolução da incompatibilidade histórica entre a mecânica clássica e o eletromagnetismo de Maxwell. Como sublinha French (8), em sua obra clássica sobre relatividade, a teoria não surge como um exercício de abstração pura, mas como uma necessidade técnica e conceitual de preservar a consistência das equações do campo eletromagnético em diferentes sistemas de referência.

Até o final do século XIX, a física operava sob o paradigma do éter luminífero, um meio material hipotético que serviria de suporte para a propagação da luz. O ponto de partida de Einstein é a redefinição radical do conceito de intervalo espaço-temporal; enquanto na física de Newton o tempo possuía um fluxo absoluto, linear e universal, na TRE ele torna-se uma coordenada intrínseca e indissociável do tecido do espaço-tempo.

A compreensão da Relatividade Especial exige, primordialmente, o entendimento dos dois postulados fundamentais apresentados por Albert Einstein em seu célebre artigo de 1905, “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento” (9). O primeiro desses pilares é o Princípio da Relatividade, que estabelece que as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Isso significa que, para observadores em movimento retilíneo e uniforme uns em relação aos outros, não existe um experimento físico capaz de determinar um estado de “repouso absoluto”, invalidando a ideia de um referencial privilegiado no universo (10).

Complementando essa visão, o segundo postulado — e talvez o mais revolucionário para o senso comum — é o da Constância da Velocidade da Luz. Einstein propôs que a velocidade da luz no vácuo, denotada pela constante c , possui o mesmo valor para todos os observadores, independentemente do estado de movimento da fonte ou do observador. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (11), essa afirmação rompe com a adição de velocidades da mecânica clássica de Galileu; não importa a rapidez com que um observador se aproxime ou se afaste de um feixe luminoso, a medição de c resultará invariavelmente em aproximadamente 3×10^8 m/s.

Esses dois postulados, quando aceitos simultaneamente, forçam uma reavaliação drástica das propriedades do espaço e do tempo, que deixam de ser grandezas absolutas e passam a ser grandezas relativas. É a partir dessa base teórica que emergem os fenômenos de dilatação temporal e contração espacial que desafiam a intuição dos estudantes brasileiros, conforme discutido anteriormente, e que fundamentam as pesquisas em ensino de física mapeadas nesta revisão sistemática.

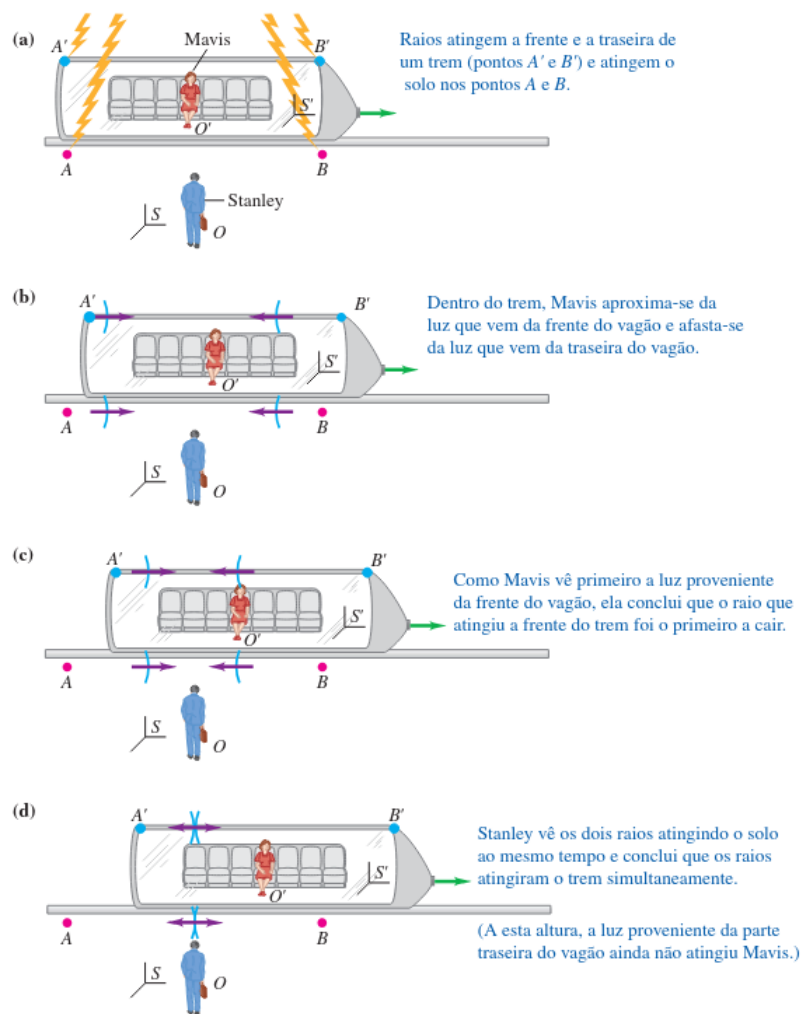
A aceitação dos postulados de Einstein implica, necessariamente, o abandono da noção de tempo e espaço como entidades universais e independentes. A primeira grande ruptura ocorre no conceito de simultaneidade: dois eventos que ocorrem ao mesmo tempo para um observador podem não ser simultâneos para outro que se move com velocidade constante em relação ao primeiro. Como explica Greene (12), a simultaneidade não é um atributo absoluto da natureza, mas sim uma percepção dependente do estado de movimento, o que subverte a

lógica da cronologia única herdada da física clássica.

2.1.1 O Experimento Mental da Simultaneidade Relativística e suas Consequências Cinemáticas

Para compreender a relatividade da simultaneidade, propõe-se um experimento mental envolvendo um trem que se move com velocidade constante e próxima à da luz. Na Figura 1 imagine que dois raios atinjam as extremidades desse trem, deixando marcas tanto no vagão quanto no solo. Dois observadores analisam o fenômeno de pontos de vista diferentes: Stanley está parado no chão, exatamente na metade da distância entre as duas marcas do solo (pontos A e B), enquanto Mavis está no centro do vagão (pontos A' e B'), deslocando-se junto com o trem para a direita.

Figura 1 – Uma Reflexão Imaginária Sobre a Simultaneidade



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2016. (13)

Do ponto de vista de Stanley, as frentes de onda da luz emitidas pelos dois relâmpagos o alcançam exatamente no mesmo instante. Como ele sabe que está posicionado de forma equidistante dos pontos de impacto, sua conclusão lógica é de que os dois raios caíram simultaneamente (13).

Por outro lado, Mavis está em movimento em direção ao raio que caiu à frente (no ponto B') e se afastando do raio que caiu atrás (no ponto A'). Devido a esse deslocamento, ela intercepta a frente de onda vinda da frente antes de receber o sinal luminoso vindo de trás. Sabendo que a velocidade da luz é constante para qualquer observador e que ela ocupa o centro exato do vagão, se os eventos tivessem ocorrido ao mesmo tempo, a luz de ambos os lados deveria percorrer a mesma distância e chegar até ela juntos. Como o sinal da frente chega primeiro, Mavis conclui que o raio em B' caiu antes do raio em A' .

Essa divergência observacional não constitui um erro de medição, mas a demonstração de que a simultaneidade é dependente do estado cinemático do observador, evidenciando que intervalos temporais e a ordem de eventos são grandezas relativas à configuração do sistema inercial adotado.

A ruptura com a ideia de um tempo universal revela que a simultaneidade não é um fato absoluto, mas uma relação dependente do estado de movimento do observador. É precisamente desta relatividade da simultaneidade que derivam as consequências cinemáticas mais emblemáticas da teoria: a dilatação temporal e a contração espacial. Conforme sistematizado por Knight (14), esses fenômenos não devem ser compreendidos como alterações físicas nos objetos ou falhas de medição, mas como uma reestruturação das propriedades geométricas do espaço-tempo. Sob essa ótica, a dilatação do tempo em um referencial é compensada pela contração do espaço em outro, garantindo que a velocidade da luz permaneça invariante e que a causalidade física seja preservada para todos os observadores inerciais. A dilatação do tempo estabelece que um relógio em movimento em relação a um observador marca o tempo mais lentamente do que um relógio em repouso no referencial desse mesmo observador. Esse fenômeno não é uma falha de medição ou uma ilusão de óptica, mas uma alteração na própria estrutura do tempo. Paralelamente, ocorre a contração do comprimento, onde objetos que se movem a velocidades próximas à da luz sofrem um encurtamento em sua dimensão paralela à direção do movimento, quando medidos por um observador estacionário (15).

Essas transformações no tecido do espaço-tempo são o que tornam o ensino de Relati-

vidade Especial tão desafiador no cenário educacional brasileiro, pois exigem que o estudante substitua as transformações de Galileu pelas transformações de Lorentz. É a partir desse embasamento teórico que as pesquisas brasileiras, analisadas nesta revisão, buscam estratégias didáticas — como o uso de experimentos mentais ou tecnologias digitais — para tornar esses conceitos, que parecem pertencer à ficção científica, em fatos físicos compreensíveis e demonstráveis.

2.1.2 Análise Conceitual e Comportamento Assintótico do Fator de Lorentz

Para que essas consequências cinemáticas deixem de ser apenas descritivas e passem a ser quantificáveis, a TRE utiliza um arcabouço matemático que substitui as transformações clássicas de Galileu. O núcleo dessa formalização é o Fator de Lorentz, representado pela letra grega gama, γ . De acordo com Nussenzweig (16), esse fator é o coeficiente que determina a magnitude da dilatação temporal e da contração espacial, sendo definido pela equação:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (2.1)$$

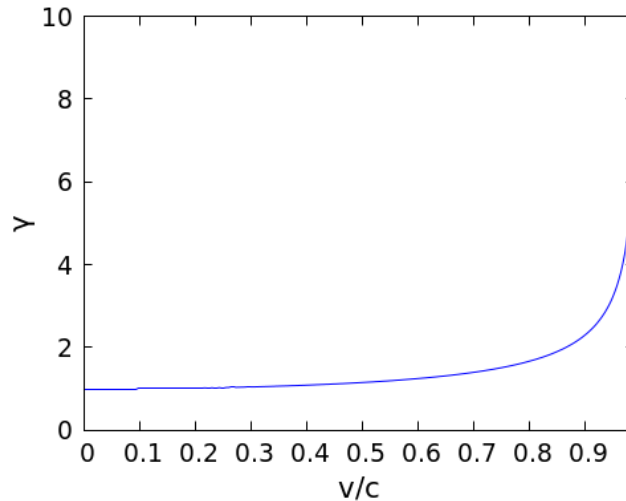
na qual v é a velocidade relativa entre os referenciais e c é a velocidade da luz no vácuo. Para compreender o comportamento desse fator e sua influência nos fenômenos relativísticos, é útil visualizar graficamente como γ varia em função de v/c , o que é mostrado na figura 2. Observa-se que o crescimento de γ não é linear, mas sim exponencialmente acelerado à medida que v se aproxima de c , evidenciando a natureza não intuitiva da cinemática relativística e justificando por que tais efeitos são imperceptíveis em velocidades cotidianas.

Como podemos ver da Figura 2, o fator de Lorentz é sempre maior ou igual a 1. Para velocidades baixas do cotidiano, onde $v \ll c$, o valor de γ aproxima-se de 1, fazendo com que os efeitos relativísticos sejam desprezíveis e a mecânica newtoniana permaneça como uma excelente aproximação. No entanto, à medida que a velocidade v se aproxima de c , o denominador tende a zero e o valor de γ cresce assintoticamente ao infinito, evidenciando por que a velocidade da luz atua como um limite insuperável para partículas com massa.

2.1.3 Análise Conceitual da Dilatação do Tempo: Tempo Próprio e Tempo Dilatado

Um dos efeitos mais marcantes da Relatividade Especial é a constatação de que a passagem do tempo depende do movimento relativo entre o observador e o evento medido. Esse fenômeno pode ser visualizado por meio de um dispositivo conceitual conhecido como reló-

Figura 2 – Comportamento do Fator de Lorentz (γ) em função da velocidade relativa (v) expressa em frações da velocidade da luz (c). Observa-se que para velocidades cotidianas ($v \ll c$) o fator aproxima-se de 1, enquanto para velocidades próximas à velocidade da luz ($v \rightarrow c$) o fator tende ao infinito, evidenciando o caráter assintótico da função. Fonte: Elaborado pela autora.

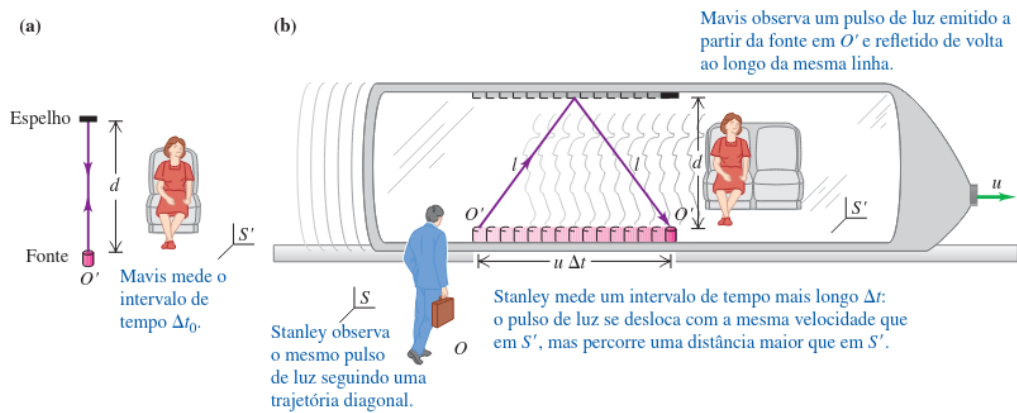


Fonte: Elaborada pela autora (2026).

gio de luz, operado em dois sistemas de referência distintos. A Figura 3 ilustra o experimento mental clássico da dilatação temporal da Relatividade Especial sob a perspectiva de dois observadores em estados de movimento distintos. Na primeira situação, representada pela figura a) à esquerda, a análise ocorre inteiramente dentro do referencial inercial do trem, identificado pela letra maiúscula com uma linha, S' . Este símbolo designa o sistema de coordenadas da observadora Mavis, que se encontra em repouso em relação aos aparelhos no interior do vagão. Nessa configuração, a letra O' representa a origem desse referencial móvel, marcando a posição exata da fonte no piso que emite o pulso luminoso verticalmente. A luz viaja em linha reta, atinge um espelho fixado no teto a uma distância vertical d e retorna exatamente ao ponto de origem. Como os eventos de emissão e recepção do sinal ocorrem na mesma coordenada espacial para Mavis, o intervalo de tempo cronometrado por ela é definido pelo símbolo Δt_0 , chamado de tempo próprio.

Na segunda situação, retratada na figura b) à direita, o mesmo fenômeno físico é analisado sob a ótica do observador Stanley, cujo sistema de coordenadas em repouso na plataforma da estação é designado pela letra S . O ponto exato onde Stanley está parado funciona como a origem O deste referencial do solo. Devido ao movimento retilíneo do vagão, que se desloca para a direita com uma velocidade constante u , Stanley não testemunha uma propagação pura-

Figura 3 – (a) Pulso de luz emitido e refletido na mesma direção, sob o referencial S' (Mavis). (b) Trajetória do mesmo pulso vista por Stanley (S) e Mavis (S'), indicando o deslocamento da fonte O' .



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2016. (13)

mente vertical da luz (13). Ele observa o trem se mover enquanto o pulso viaja, o que faz com que a luz descreva uma trajetória diagonal em formato triangular, representada pela letra l . O pulso é emitido na posição inicial da fonte, atinge o espelho no teto quando este já se deslocou e retorna ao piso em uma posição horizontal posterior, cobrindo uma distância total na plataforma descrita pelo produto da velocidade do trem pelo tempo, $u\Delta t$.

Uma vez que o segundo postulando de Einstein dita que a velocidade da luz é uma constante universal e possui o mesmo valor para todos os observadores, independentemente do movimento da fonte, a luz não herda a velocidade do trem. Como a trajetória diagonal l observada por Stanley no solo é geometricamente mais longa do que o trajeto vertical d visto por Mavis no trem, o sinal luminoso obrigatoriamente precisa de um intervalo de tempo maior para completar o percurso de ida e volta na perspectiva da estação. Esse intervalo de tempo maior é designado pelo símbolo Δt , conhecido como tempo dilatado. Esse resultado demonstra que a taxa de passagem do tempo é relativa: relógios que estão em movimento em relação a um observador fixo registram o tempo de forma mais lenta, provando que o tempo não é um fluxo absoluto, mas sim dependente do referencial adotado.

2.1.4 A Dinâmica Relativística e a Métrica do Espaço-Tempo

Conforme exposto por Martins (17), a compreensão profunda da TRE exige que o estudante entenda que a energia não deve ser vista apenas como uma capacidade mecânica de realizar trabalho, mas como um elemento constituinte da própria inércia de um sistema, o que

significa que o ganho ou perda de energia altera a resistência de um corpo a acelerações. Este conceito culmina na famosa relação $E = mc^2$, estabelecendo que a massa de repouso, que representa a massa intrínseca de um corpo medida quando ele está completamente imóvel em relação ao observador, é, na verdade, uma forma condensada de energia. Esta equivalência altera a percepção sobre a conservação da energia, integrando-a com a conservação da massa num único princípio de conservação de energia-momento. Além disso, a relatividade da simultaneidade — a ideia de que eventos simultâneos para um observador podem não o ser para outro — destrói a noção de um “agora” universal, forçando uma interpretação puramente local e relativa da cronologia dos eventos.

A formalização matemática da TRE, embora centrada nas Transformações de Lorentz, implica uma mudança profunda na geometria do universo. De acordo com De Paula e Rodrigues (18), a transição para a física einsteiniana exige o abandono da geometria euclidiana espacial em favor de uma geometria pseudo-euclidiana, conhecida como espaço de Minkowski. Nesta métrica, a separação entre dois eventos é dada pelo intervalo invariante s^2 , que permanece constante para todos os observadores inerciais, independentemente da sua velocidade. Esta revisão técnica é fundamental para destacar que a dilatação do tempo e a contração do comprimento não são distorções mecânicas ou ilusões de ótica, mas manifestações diretas dessa nova métrica geométrica.

R. Gazzinelli (19) reforça que a causalidade é preservada na TRE precisamente porque a velocidade da luz atua como um limite cósmico. Nada que transporte informação ou matéria pode viajar mais rápido que c , o que estabelece a estrutura do “cone de luz”. Este cone delimita rigorosamente o passado e o futuro absoluto de qualquer evento, garantindo que o efeito nunca preceda a causa em nenhum referencial. Assim, a revisão técnica da TRE demonstra que a teoria unifica conceitos anteriormente isolados, como momento linear e energia, em quadrivetores que mantêm a sua norma invariante sob transformações de Lorentz, consolidando uma visão de mundo onde o espaço e o tempo são faces de uma mesma moeda.

2.2 Abordagem da TRE no Ensino Médio: Literacia Científica e Transposição Didática

A transição da teoria matemática para o campo da educação científica no Brasil é marcada por um histórico de tensões entre a tradição clássica e a necessidade de modernização curricular. Durante grande parte do século XX, a Relatividade Especial era um tópico restrito ao ensino superior, sendo praticamente ausente dos currículos da educação básica. Foi apenas

a partir da década de 1990, com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 9.394/96) (20) e a subsequente publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que a Física Moderna e Contemporânea ganhou espaço formal como um eixo necessário para a alfabetização científica. Segundo Terrazzan (3), essa inserção visava superar um ensino “fossilizado” no século XIX, permitindo que o aluno compreendesse as bases da tecnologia moderna.

A introdução dessa matemática no contexto escolar brasileiro é um dos grandes pontos de debate nas pesquisas em ensino. Segundo Rosa, Trentin e Biazus (21), o desafio pedagógico reside em transitar da abstração da fórmula para a compreensão do seu significado físico, sem permitir que o formalismo matemático se torne uma barreira que impeça a intuição do aluno. É por meio desse cálculo que se torna possível, por exemplo, prever com precisão o ajuste necessário nos relógios dos satélites de GPS, conectando a teoria de Einstein a uma tecnologia presente na palma da mão de cada estudante, servindo como uma poderosa ferramenta de transposição didática nas produções acadêmicas analisadas nesta revisão.

A inserção da TRE no currículo escolar é frequentemente analisada sob a lente da Transposição Didática de Yves Chevallard (22). Este referencial teórico postula que o saber “sábio”, produzido no contexto acadêmico e científico, sofre transformações sucessivas (transposição externa e interna) até se tornar o saber “ensinado” em sala de aula. No caso da relatividade, o desafio reside em evitar que essa simplificação necessária resulte em deformações conceituais graves que comprometam a lógica interna da teoria. Pietrocola (23) argumenta que a abordagem da física moderna no Ensino Médio deve focar na “estética da teoria” e no seu poder explicativo. Para o autor, o ensino da TRE deve ser um instrumento para desenvolver o pensamento formal do aluno, permitindo-lhe compreender que a realidade física não é uma verdade absoluta dada pelos sentidos, mas uma construção dependente do modelo teórico adotado.

No que diz respeito aos livros didáticos, essa evolução ocorreu de forma gradual e, por vezes, fragmentada. Inicialmente, a Relatividade aparecia apenas em capítulos suplementares ou leituras complementares ao final das obras, raramente integrando-se ao corpo principal da disciplina. De acordo com Silva Filho e Moreira (24), muitos manuais didáticos brasileiros ainda apresentam a teoria de forma puramente informativa ou excessivamente focada em exercícios de substituição de fórmulas, o que pode reforçar a percepção do aluno de que a Física é um saber isolado da realidade. Conforme a análise de Pietrocola (25) sobre os livros aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), observa-se que, apesar do avanço na qualidade

visual e nos contextos históricos, ainda persiste o desafio de traduzir o rigor matemático do fator de Lorentz em uma linguagem que dialogue com a intuição dos estudantes de Ensino Médio.

Atualmente, com a vigência da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o ensino de Relatividade no Brasil passa por um novo escrutínio. Os materiais didáticos contemporâneos são desafiados a integrar esses conceitos em trilhas de aprendizagem que conectem a teoria a aplicações práticas e debates epistemológicos sobre a natureza da ciência. Conforme aponta Moreira (26), a presença do tema nos livros não é garantia de aprendizado; ela exige que o docente atue como um mediador capaz de navegar pelas distorções conceituais que o material didático, por vezes, simplifica excessivamente.

Assim, a produção acadêmica brasileira recente — foco desta revisão — reflete justamente o esforço de preencher as lacunas deixadas pelos manuais tradicionais através de novas propostas pedagógicas. O panorama da pesquisa nacional sobre o Ensino de Física Moderna revela um crescimento significativo no interesse acadêmico pelas Teorias da Relatividade na educação básica, impulsionado pela necessidade de aproximar a escola dos avanços tecnológicos contemporâneos (27). Contudo, mapeamentos da produção científica brasileira entre 2000 e 2018 indicam que a maioria das investigações ainda se concentra na Relatividade Especial, com uma presença tímida da Relatividade Geral devido à sua complexidade matemática inerente.

Para além das justificativas tecnológicas utilitaristas — como o funcionamento dos sistemas de posicionamento global (GPS) —, a defesa da inserção desses tópicos no Ensino Médio fundamenta-se fortemente na construção de uma cultura científica que permita aos estudantes compreenderem a ciência como uma construção humana, dinâmica e não dogmática. No que tange à dimensão metodológica, predominam na literatura propostas baseadas em sequências de ensino estruturadas para superar o modelo tradicional de "quadro e giz"; no entanto, a efetivação dessas práticas nas salas de aula esbarra em obstáculos crônicos, tais como a escassez de tempo na grade curricular regular e a carência de recursos didáticos visuais, a exemplo de laboratórios estruturados ou softwares simuladores que auxiliem na visualização abstrata da dilatação temporal e da curvatura do espaço-tempo.

Sob o prisma da Educação em Ciências, a promoção da Literacia Científica exige que o aluno perceba a natureza provisória e evolutiva do conhecimento científico. Angotti (28) defende que a física moderna deve ser o eixo integrador que rompe com o ensino linear e fragmentado

da física clássica. Ao introduzir temas como a relatividade, o professor tem a oportunidade de discutir como novos paradigmas substituem modelos anteriores através de evidências experimentais e coerência teórica. A literatura contemporânea sugere que o uso de “Organizadores Gráficos” e mapas conceituais, inspirados na teoria da aprendizagem de Novak (29), ajuda o estudante a visualizar as conexões complexas entre os postulados de Einstein, as transformações de Lorentz e as suas consequências tecnológicas e filosóficas.

Adicionalmente, Macêdo (30) salienta que a experimentação no ensino de relatividade, embora não possa ser executada de forma direta em laboratórios escolares comuns devido às velocidades extremas exigidas, pode ser simulada com eficácia através de modelagem computacional. O uso de softwares de simulação e ambientes virtuais permite que o aluno “experiencie” visualmente a contração do espaço ou o atraso dos relógios em velocidades relativísticas. Esta abordagem transforma o que seria um obstáculo epistemológico abstrato numa oportunidade de aprendizagem visual e intuitiva, facilitando a “reconciliação integradora” de novos conceitos na estrutura cognitiva do estudante.

Desta forma, a abordagem da TRE no Ensino Médio não deve ser vista como um tópico isolado ou um anexo opcional ao final do ano letivo, mas como uma oportunidade estratégica para discutir a construção sócio-histórica do conhecimento. Autores como Zanetic (31) propõem que a física seja ensinada como uma “cultura”, onde a relatividade de Einstein é apresentada ao lado das revoluções artísticas (cubismo) e literárias do início do século XX. Esta visão interdisciplinar permite que o aluno compreenda a TRE não apenas como uma disciplina escolar densa, mas como uma mudança radical de visão de mundo que define a contemporaneidade. Esta literacia científica é a base para a compreensão de tecnologias modernas, desde a sincronização ultraprecisa exigida pelos sistemas GPS até às aplicações da medicina nuclear e da astrofísica de altas energias.

A eficácia desta abordagem depende, contudo, de uma formação docente que vá além do domínio matemático. O professor deve atuar como um mediador epistemológico, capaz de navegar entre as intuições clássicas dos alunos e os conceitos contraintuitivos da relatividade. Como conclui a literatura da área, o ensino de FMC é, portanto, um ato de democratização do conhecimento, garantindo que os estudantes tenham acesso às ideias que moldam o século XXI, preparando-os para um pensamento crítico diante da complexidade do mundo atual.

2.3 Referenciais Teóricos, Epistemológicos e Metodológicos das Pesquisas

Os referenciais teóricos adotados no ensino de Relatividade Especial ancoram-se na psicologia cognitiva, na epistemologia da ciência e na pedagogia crítica, articulando-se para formar o arcabouço que sustenta as propostas didáticas. Dentre esses referenciais, destaca-se a abordagem da Natureza da Ciência (NdC), que permeia os processos de ensino ao buscar desmistificar visões distorcidas sobre a construção do conhecimento científico, enfatizando seu caráter provisório, histórico e socialmente contextualizado.

No campo das teorias de aprendizagem, destaca-se a TAS, proposta por David Ausubel, que postula que a aprendizagem ocorre quando novos conteúdos interagem com conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do estudante, denominados subsunçores. Para que isso ocorra, o material deve ser potencialmente significativo e o aluno deve apresentar disposição para aprender. A TAS opõe-se à aprendizagem mecânica, baseada na memorização repetitiva, sendo particularmente relevante para o ensino da Relatividade Especial, uma vez que a mera decoração de fórmulas não conduz à compreensão da mudança de paradigma que a teoria representa.

Operacionalizando os princípios da TAS, surge o conceito de UEPS, desenvolvido por Marco Antonio Moreira, que consiste em uma sequência didática estruturada que visa identificar os subsunçores dos alunos, obter situações-problema que promovam o conflito cognitivo, utilizar organizadores prévios e culminar em atividades de avaliação que verifiquem a compreensão crítica dos conceitos.

Paralelamente, a teoria sociocultural de Lev Vygotsky se faz presente por meio do conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), definida como a distância entre o que o aluno consegue fazer sozinho e o que pode alcançar com a mediação de um professor ou ferramenta pedagógica. A mediação deve atuar dentro dessa zona para promover o avanço cognitivo. Outra abordagem metodológica relevante é a Sequência de Ensino Investigativa (SEI), fundamentada nos estudos de Ana Maria Pessoa de Carvalho, que coloca o estudante como protagonista da construção do conhecimento, estimulando observações, levantamento de hipóteses e argumentação coletiva. No campo da cognição, destaca-se o conceito de simulações mentais, desenvolvido por John Clement, que se refere à capacidade do aluno de construir imagens mentais dinâmicas para compreender fenômenos abstratos.

No plano epistemológico, o ensino desta vertente da física dialoga diretamente com dois

grandes referenciais. Thomas Kuhn propôs que a ciência se desenvolve por meio de revoluções científicas, nas quais um paradigma é substituído por outro quando anomalias se acumulam. A TRE, nessa visão, representa uma revolução que substituiu o paradigma newtoniano. Larry Laudan, por sua vez, concebe a ciência como uma atividade voltada para a resolução de problemas empíricos e conceituais, onde uma nova teoria é aceita quando consegue resolver problemas que as anteriores não resolviam. Complementando essas visões, o modelo de Perfil Conceitual, desenvolvido por Eduardo Mortimer, propõe que a mente humana possui múltiplas zonas conceituais que podem coexistir, e o objetivo do ensino não é substituir um conceito por outro, mas desenvolver novas zonas no perfil conceitual do aluno.

No âmbito metodológico e tecnológico, os processos de ensino contemporâneos fazem uso intensivo de recursos tecnológicos. As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) referem-se ao conjunto de recursos como computadores, projetores, simuladores e vídeos. As Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) são um desdobramento com ênfase em ferramentas interativas, como simuladores do PhET, aplicativos e plataformas de ensino. A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) investiga como diferentes tipos de mediação — psicofísica, social, cultural e hipercultural — influenciam a construção do conhecimento.

Quanto às técnicas de coleta e análise de dados no contexto investigativo, destacam-se o protocolo Report Aloud, no qual os participantes verbalizam seu raciocínio em voz alta durante a realização de tarefas, permitindo acessar os processos cognitivos em tempo real, e a Análise Gestual Descritiva, que interpreta gestos e movimentos corporais como evidências de modelos mentais, revelando aspectos do pensamento que escapam à verbalização.

3 METODOLOGIA

A adoção da RSL justifica-se pela necessidade de organizar a produção científica dispersa em periódicos da área. Como defendem Ostermann e Moreira (4), o mapeamento sistemático da literatura é um passo crucial para superar o ensino fossilizado, permitindo que novas propostas pedagógicas partam de bases já validadas pela comunidade acadêmica. O primeiro passo desse processo consiste na formulação da pergunta norteadora, que delimita o escopo da investigação e orienta a extração dos dados. Nesse sentido, a presente investigação busca responder à seguinte Questão de Pesquisa:

Quais são as principais estratégias didáticas e tendências metodológicas utilizadas para o ensino de Relatividade Especial no Brasil, conforme a produção acadêmica publicada entre os anos de 2020 a 2025?

Essa pergunta foi estruturada para permitir que a análise vá além da simples identificação dos trabalhos, buscando compreender a natureza das intervenções pedagógicas realizadas. A partir dela, derivam-se subquestões que auxiliam na categorização dos resultados, tais como: quais são os recursos tecnológicos mais frequentes (simuladores, vídeos, softwares)? Há uma predominância de abordagens baseadas em História e Filosofia da Ciência? E quais são os principais desafios relatados pelos autores ao aplicar tais estratégias no contexto escolar brasileiro? A clareza desta questão inicial é o que permite a construção de critérios de inclusão e exclusão objetivos para a seleção do corpus desta revisão.

Para fins de delimitação deste estudo, define-se como produção acadêmica o conjunto de documentos científicos resultantes de pesquisas formais, validados por pares ou comissões examinadoras, que incluem artigos publicados em periódicos indexados, dissertações de mestrado (acadêmico e profissional), teses de doutorado e trabalhos de conclusão de curso (TCC) de graduação. Essa definição assegura que o corpus analisado represente o conhecimento institucionalizado e chancelado pela comunidade de pesquisa em ensino de Física no país.

A adoção da RSL como metodologia central justifica-se pelo seu caráter estruturado, que permite sintetizar as tendências do ensino de física de forma rigorosa e transparente. Ao substituir a seleção subjetiva de literatura por um processo de coleta auditável em bases como o Portal de Periódicos da CAPES e o Google Acadêmico, este estudo assegura a replicabilidade dos resultados. Tal percurso metodológico é essencial para identificar, com precisão, as principais evidências científicas e práticas pedagógicas desenvolvidas no Brasil sobre a Relatividade

Especial nos últimos anos.

Para a operacionalização da busca no Google Acadêmico, estabeleceu-se um protocolo rigoroso estruturado nos seguintes critérios:

- **Recorte Temporal (2020–2025):** A delimitação deste intervalo permite observar o estado da arte mais recente, capturando o impacto das reformas curriculares da BNCC e as adaptações pedagógicas pós-pandemia.
- **Descritores e Operadores Booleanos:** Utilizou-se a expressão exata “Relatividade Especial” AND “Ensino Médio” AND Brasil AND “MÉTODOS”. Essa combinação visou filtrar especificamente trabalhos que estabelecessem a ponte entre a física teórica e a prática pedagógica.
- **Filtros de Qualificação:** A busca foi restringida ao idioma português e à tipologia de “qualquer tipo”, priorizando a ordenação por relevância.

Na fase de execução, este procedimento resultou inicialmente em um montante de 225 publicações entre artigos, dissertações e mestrados e trabalhos de conclusão de curso. Entretanto, a RSL exige uma análise crítica que vá além dos números; por isso, os trabalhos foram submetidos a uma análise de elegibilidade. Esta etapa consistiu na leitura integral dos títulos e resumos, seguida da análise dos textos completos para verificar a aderência direta ao tema. Foram descartados estudos que, embora mencionassem os descritores, não apresentavam foco no cenário brasileiro ou não propunham estratégias de ensino aplicáveis.

Após este refinamento qualitativo, consolidou-se um corpus final de 17 artigos relevantes provenientes desta base de dados. Estes textos foram selecionados por apresentarem contribições sólidas para o entendimento de como a Relatividade Especial está sendo transposta para a sala de aula, formando, junto aos dados colhidos em outras fontes, a base de evidências para as discussões travadas nos capítulos subsequentes deste TCC.

A escolha do Portal de Periódicos CAPES como fonte de consulta justifica-se por sua posição como o principal indexador de produção científica de alto nível no Brasil, reunindo periódicos que passam por um rigoroso processo de avaliação (Qualis). Para a operacionalização da busca nessa plataforma, com recorte temporal delimitado entre os anos de 2020 e 2023, utilizou-se um protocolo baseado nos seguintes filtros: escopo de busca definido para “buscar tudo”, tipo de material configurado para “todos os tipos” e campo de busca definido como

“qualquer campo”, utilizando a expressão “relatividade especial AND aprendizagem”.¹ Esse procedimento retornou inicialmente um total de três artigos.

Ao restringir a busca a artigos com revisão por pares, assegurou-se que as estratégias didáticas e os resultados apresentados nos trabalhos selecionados possuísem validação acadêmica prévia, conferindo maior credibilidade às sínteses produzidas nesta revisão. O uso do termo "aprendizagem" como descritor secundário foi estratégico, visando filtrar trabalhos que não apenas discutissem a física teórica, mas que estivessem centrados no processo de aquisição de conhecimento pelo estudante.

O refinamento para acesso aberto atende a um compromisso ético e prático da pesquisa: o de mapear recursos que estejam prontamente disponíveis para a comunidade docente. Em um cenário onde o professor da educação básica muitas vezes carece de recursos, identificar produções científicas que não estejam protegidas por paywalls (barreiras de pagamento) facilita a transposição do que é produzido na academia para o chão da escola. Esse critério permitiu que os 02 artigos finais selecionados representassem uma base sólida para o início da pesquisa. Após a consolidação do corpus de 19 artigos (CAPES e Google Acadêmico), procedeu-se à análise de conteúdo por meio de uma leitura cruzada. Foram extraídas convergências e divergências, observando-se critérios como bases teóricas, recursos tecnológicos e eficácia no ensino de dilatação temporal e contração espacial.

Esta sistematização traça um panorama das práticas pedagógicas no Brasil (2020–2025) e garante a reprodutibilidade da pesquisa. Para facilitar a análise comparativa, os dados foram compilados na tabela a seguir, que organiza as obras por ano, autores, título, periódico e objeto de estudo, evidenciando as principais abordagens recentes sobre o ensino de Relatividade Especial.

¹ As diferenças entre os recortes temporais e as estratégias de busca adotadas nas plataformas decorrem das particularidades de indexação de cada base de dados. No Google Acadêmico, por se tratar de um mecanismo de busca de ampla abrangência, empregou-se o recorte temporal de 2020 a 2025 e descritores mais específicos, com o objetivo de reduzir a recuperação de documentos não pertinentes ao escopo da pesquisa. No Portal de Periódicos CAPES, cuja indexação é composta predominantemente por periódicos científicos avaliados, optou-se pelo descritor mais amplo “aprendizagem”, combinado ao termo “relatividade especial” por meio do operador booleano *AND*. Essa estratégia buscou ampliar a sensibilidade da busca sem comprometer a qualidade dos estudos recuperados.

Quadro 1 – Trabalhos de Relatividade Especial

ANO	AUTORES	TÍTULO	PERIÓDICO	OBJETOS DE ESTUDO
2025	Monteiro, C. S. et al.	Aplicativo “Science in the Hands”	Rev. Prof. Física	Aplicativo didático para FMC
2025	Batista, K. R.	Relatividade restrita com vídeos	IFAM – MN-PEF	Sequência didática com vídeos
2024	Souza, C. M. C.	Relatividade com GPS	IFAM/UFAM – MNPEF	GPS e dilatação temporal
2024	Mendes, R. W. P.	Relatividade com ficção científica	IFAM/UFAM – MNPEF	Filmes como recurso pedagógico
2023	Valadares, A. S.	Tempo de assimilação em FMC	UFT – Diss.	Aprendizagem em TRE
2021	Godinho, E. Z. et al.	Concepções de alunos sobre TRE	EDUCERE – UNIPAR	Levantamento de concepções
2021	Sobrinho, P. R. F.	Tempo e reflexões filosóficas	IFAM – MN-PEF	Filosofia do tempo na TRE
2021	Feitosa, L. S.	Física com super-heróis	UFC – MNPEF	Recurso lúdico no ensino
2020	Reinert, J. E.	Unidade de ensino em TRE	UFSC – MN-PEF	Recursos digitais aplicados
2020	Rosa, M. T.	Guia ilustrado da TRE	UFRGS – MN-PEF	Material ilustrado
2020	Yamashita, F. K.	Cinemática relativística com TIC's	IFAM – MN-PEF	TIC's no ensino da relatividade

ANO	AUTORES	TÍTULO	PERIÓDICO	OBJETOS DE ESTUDO
2024	Castro, E. B. O.	UEPS em cinemática relativística	IFAM/UFAM – MNPEF	UEPS com simulações digitais
2023	Sousa, J. F.	Física nos quadrinhos	CFP – UFCG (Monog.)	HQs como recurso lúdico
2023	Barbosa, R. S.	Introdução histórico-epistemológica TRE	UFAM – TCC	Abordagem histórica no EM
2023	Souza, A. N.; Ramos, S. C.; Ramos, J. A. P.	TDIC da mecânica à relatividade	Rev. Experiências Ens. Ciências	TDIC aplicadas ao ensino
2023	Meneses, K. K. S. et al.	Jogo didático sobre TRE	Rev. Ibero-Americana Humanidades	Jogo (roleta) para ensino
2021	Souza, M. G.	Concepções de alunos sobre TRE	ULBRA – Diss.	Simulações mentais
2020	Souza, M. G.; Serano, A.	Simulações mentais com slides	Rev. Prod. Educ. Pesq. Ens.	Slides como recurso
2020	Gois, E.; Ormezano, G.	HQs sobre FMC	Research, Society and Development	HQs produzidas por alunos

Fonte: Organizada pela autora.

A partir do mapeamento sintetizado no Quadro 1, torna-se possível traçar considerações gerais sobre o atual estado da arte do ensino de Relatividade Especial no cenário nacional. Primeiramente, constata-se uma forte proeminência de trabalhos oriundos do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), evidenciando que a maior parte da produção recente está diretamente vinculada à busca por soluções aplicadas ao "chão da escola". Em segundo lugar, observa-se uma clara tendência metodológica voltada à diversificação de recursos didáticos, destacando-se o uso de TDICs — como aplicativos, simuladores virtuais e plataformas de GPS — além de abordagens lúdicas e multimodais, como histórias em quadrinhos (HQs), cinema e referências à cultura pop. Por fim, nota-se que, embora haja um esforço para transpor concei-

tos abstratos e contra-intuitivos da Relatividade Restrita para a Educação Básica, as pesquisas ainda se concentram predominantemente na validação de produtos educacionais isolados. Persiste, portanto, a necessidade observada no início deste capítulo de costurar essas iniciativas em uma estrutura curricular mais integrada e acessível ao corpo docente, desafio este que será detalhado e discutido criticamente nas próximas seções.

4 RESULTADOS

A análise do corpus de 20 trabalhos selecionados para esta revisão sistemática revelou uma diversidade de abordagens para o ensino da TRE no Brasil. Para uma compreensão mais aprofundada, os estudos foram organizados e “aglutinados” em quatro grandes eixos temáticos, que emergem das similaridades em seus objetos de estudo e metodologias: (i) trabalhos com recursos tecnológicos e digitais (TDICs); (ii) trabalhos com abordagens lúdicas e multimodais; (iii) trabalhos com contextualização pelo GPS; e (iv) trabalhos de diagnóstico e fundamentação teórica. Esta organização visa não apenas descrever, mas também comparar criticamente as diferentes estratégias, identificando tendências, convergências e lacunas na produção acadêmica brasileira sobre o tema.

4.1 Trabalhos com Recursos Tecnológicos e Digitais

Um conjunto significativo de estudos explora o potencial das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) para o ensino da TRE. Este subgrupo inclui o desenvolvimento de aplicativos, o uso de simulações e softwares, e a utilização de vídeos e plataformas digitais.

O artigo “Proposta do aplicativo Science in the Hands com Múltiplas Funcionalidades como Recurso Didático no Ensino de Física” (32) apresenta um produto educacional elaborado pela plataforma “Fábrica de Aplicativos” no âmbito de um curso de especialização em ensino de Física da Universidade Federal do Pará (UFPA). Fundamentado na TAS de David Ausubel e nas UEPS de Marco Antonio Moreira, o recurso busca aproximar o ensino de Física das transformações tecnológicas do mundo contemporâneo. A plataforma centraliza nove funcionalidades distintas — incluindo planejamentos anuais, áudio-aulas, vídeos, livros digitais, listas de exercícios, roteiros experimentais e podcasts — oferecendo um suporte pedagógico prático que funciona tanto no modo online quanto offline para dinamizar as interações na sala de aula e extraclasse.

A pesquisa de campo avaliou a aceitação e a eficácia do aplicativo por meio da aplicação de um questionário digital via Google Forms a 17 alunos de licenciatura da UFPA, divididos entre os cursos de Física e de Ciências Naturais. Os resultados quantitativos e qualitativos revelaram uma discrepância perceptível entre as duas turmas: enquanto os acadêmicos de Ciências Naturais demonstraram 100% de aceitação unânime para adotá-lo na prática docente e elogiaram sua interface intuitiva e fácil manuseio, a maioria dos estudantes de Física relatou

dificuldades de uso e apontou críticas ao design visual defasado do software, ressaltando a necessidade urgente de atualizações técnicas e estéticas no produto.

Apesar das ressalvas estruturais e das resistências identificadas na turma de Física, o artigo conclui que o *Science in the Hands* cumpre um papel pedagógico fundamental ao incentivar o protagonismo do estudante na construção do próprio conhecimento científico. Um dos maiores destaques da ferramenta reside em seu potencial para a educação inclusiva, uma vez que suas múltiplas funcionalidades em áudio e vídeo com legenda atendem às diretrizes da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e da BNCC ao assegurar acessibilidade e equidade para alunos com deficiências visuais ou auditivas nas salas de aula regulares de Física.

O trabalho “Cinemática Relativística: Construção de uma UEPS para o Novo Ensino Médio por um olhar histórico e com o uso de simuladores”, por Castro (33), é uma dissertação de mestrado que investiga o ensino da Cinemática Relativística no Ensino Médio. O estudo destaca a importância histórica e a relevância atual desse tema no contexto do Novo Ensino Médio e da BNCC. A pesquisa fundamenta-se nas teorias de aprendizagem de Vygotsky, que valoriza a interação social e a mediação cultural, e de Ausubel, que prioriza a integração de novos conhecimentos a estruturas cognitivas preexistentes (aprendizagem significativa). O objetivo central é facilitar a compreensão de conceitos complexos da Relatividade Restrita, como a dilatação do tempo e a contração do comprimento, integrando conteúdos de Física Moderna de forma crítica e contextualizada.

O trabalho propõe o desenvolvimento e a aplicação de uma UEPS enriquecida pelo uso estratégico de simulações interativas e abordagens ativas, como a Instrução entre Pares, uma metodologia ativa que promove a interação social, o diálogo e a colaboração entre os estudantes para que construam o conhecimento de forma conjunta e participativa. A metodologia adota uma abordagem qualitativa exploratória-descritiva, buscando compreender fenômenos pouco investigados em profundidade, sem a necessidade de quantificação numérica. Utilizando ferramentas diversificadas como questionários, testes diagnósticos, projetos de pesquisa e debates em grupo. A estrutura didática visa transformar o estudante passivo em protagonista de seu aprendizado. Para isso, as simulações computacionais funcionam como agentes de aprendizagem que oferecem representações visuais dinâmicas, permitindo a manipulação de variáveis e facilitando a construção de modelos mentais coerentes sobre os fenômenos relativísticos.

Por fim, a pesquisa enfatiza o papel da Avaliação Formativa e Diagnóstica, baseada nos conceitos de Graham Sadler, que defendem a avaliação para moldar o aprendizado, como um processo contínuo integrado ao tecido do ensino. Essa estratégia afasta-se da mera atribuição de notas para focar no fornecimento de feedbacks construtivos e na adaptação imediata das aulas de acordo com as necessidades e ritmos individuais dos alunos. A intervenção pedagógica, testada em uma turma de primeira série do Novo Ensino Médio de uma escola pública, demonstrou resultados tangíveis e satisfatórios. Houve uma melhoria significativa no engajamento, no comportamento participativo e no desempenho dos estudantes nas avaliações, evidenciando uma captação sólida e contextualizada dos princípios da Cinemática Relativística.

A dissertação de mestrado “Sequência didática para o ensino da cinemática relativística por meio das TICs” por Kazuyuki (34) propõe e avalia a aplicação de uma sequência didática voltada para o ensino de cinemática relativística no ensino médio de uma escola pública. A metodologia estruturada buscou responder como o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) poderia contribuir para a inserção desse tema da Física Moderna no currículo escolar.

A fundamentação teórica da pesquisa foi baseada na TAS de David Ausubel, articulada com recursos tecnológicos como vídeos, animações e simuladores para aproximar o conteúdo da realidade dos estudantes. Ao longo do referencial teórico e do planejamento das aulas, o autor explora conceitos fundamentais da Relatividade Restrita de Einstein, como os postulados da invariância da velocidade da luz, a dilatação do tempo, a contração do comprimento e as transformações de Lorentz. Para tornar os conceitos mais palpáveis, a sequência utilizou exemplos práticos e contextualizados, como o paradoxo dos gêmeos, o decaimento de múons na atmosfera e o impacto da relatividade no funcionamento cotidiano do sistema de GPS.

A aplicação prática ocorreu em duas turmas do primeiro ano do ensino médio na cidade de Itacoatiara, no Amazonas, dividida em três aulas de 45 minutos. A aprendizagem foi monitorada por meio de avaliações formativas (debates e questionamentos em sala) e avaliações somativas (pré-teste e pós-teste). Os resultados indicaram que a associação entre as TICs e os conhecimentos prévios (subsúcores) dos alunos gerou um ambiente participativo e favorável à evolução conceitual, embora o autor tenha destacado que tópicos mais complexos, como as transformações de Lorentz e a relatividade do espaço, demandariam um tempo maior de instrução para alcançar um desempenho ideal.

O artigo intitulado “Fomentando a Construção de Simulações Mentais por Meio da Utilização de Slides para o Ensino de Relatividade Especial”, escrito por Souza e Serrano (35), apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um material didático composto por 63 slides voltados para o ensino da TRE no Ensino Médio. Fundamentado na epistemologia de Larry Laudan, que concebe a ciência como uma atividade de resolução de problemas, o recurso busca demonstrar a transição histórica da Relatividade Galileana para a Física Moderna através de problemas anômalos e incoerências que surgiram ao longo do tempo. Para facilitar a compreensão de conceitos altamente abstratos, os slides foram estruturados com recursos visuais dinâmicos, incluindo imagens, animações, vídeos e gifs animados, com o intuito de estimular nos estudantes a criação de simulações mentais baseadas na perspectiva de Clement, que defende a capacidade do aluno de construir e projetar dinamicamente imagens e experimentos de pensamento em sua própria mente para compreender fenômenos físicos complexos.

O trabalho educacional foi aplicado em quatro turmas de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública estadual, totalizando dez aulas de intervenção enriquecidas com simulações computacionais e questionários de pré e pós-testes. Após as atividades, quatorze alunos foram selecionados para entrevistas individuais orientadas pelo protocolo Report Aloud, no qual dialogaram sobre seus processos cognitivos e identificaram os slides impressos de que se recordavam. A análise qualitativa dessas interações foi conduzida por meio da técnica de Análise Gestual Descritiva, mapeando os padrões de gestos dinâmicos e estáticos realizados pelos jovens para evidenciar as simulações mentais por eles internalizadas e utilizadas na resolução das questões propostas.

Os resultados indicaram que o material didático exerceu uma influência significativamente positiva na aprendizagem, visto que a maioria dos entrevistados mencionou diretamente os slides com recursos animados — como os carrinhos em movimento relativo e o gif da nave encolhendo na contração espacial — e reproduziu esses movimentos por meio de gestos expressivos. As evidências demonstraram que as ferramentas visuais permitiram aos estudantes construir e acessar simulações mentais de forma offline, mesmo sem a presença física do material, capacitando-os a solucionar com sucesso problemas relativísticos de alta abstração. Os autores concluem que o desenvolvimento dessas simulações favoreceu a consolidação de modelos mentais internos capazes de assimilar fenômenos como a dilatação temporal e a contração do espaço, promovendo uma compreensão rica sobre a natureza mutável da ciência.

O artigo intitulado “Um Produto Educacional Operacionalizado por Recursos TDIC para o

Estudo do Movimento: Da Mecânica Clássica à Relatividade Especial”, escrito por Ramos et al. (36), aborda a negligência e a superficialidade com que o ensino de Física Moderna é tratado na Educação Básica. Diante desse cenário, os autores apresentam um produto educacional voltado para o primeiro ano do Ensino Médio que busca integrar os conceitos de Cinemática Clássica e Relativística. A fundamentação teórica do trabalho baseia-se na TAS de Ausubel, articulada com as contribuições pedagógicas e epistemológicas de teóricos como Novak, Gowin, Johnson-Laird, Vergnaud e Moreira, com o objetivo de promover uma aprendizagem crítica e com real significado para os estudantes.

Para a operacionalização dessa proposta, a pesquisa utiliza a estrutura de uma UEPS, desdobrada em uma sequência didática de oito encontros. As ferramentas metodológicas empregadas combinam TDIC — como simulações interativas, vídeos e mapas conceituais — com um experimento prático de baixo custo construído a partir da plataforma Arduino. Devido à impossibilidade prática de se medir diretamente os efeitos da relatividade em sala de aula, o experimento com carrinhos automatizados serve como uma poderosa metáfora para discutir conceitos abstratos, como a contração do espaço decorrente da limitação da velocidade da luz.

Os resultados qualitativos obtidos com a implementação do projeto em uma escola pública do estado da Bahia demonstraram que a abordagem conjunta das duas mecânicas é viável e enriquecedora para alunos recém-ingressos no Ensino Médio. O incentivo ao trabalho em grupo e a constante resolução de situações-problema contextualizadas ajudaram a superar práticas de memorização mecânica, fomentando o debate e a troca socializada de significados. Em suma, o artigo conclui que o produto educacional cumpre com êxito o papel de fornecer um suporte instrucional e tecnológico consistente, auxiliando os docentes na inserção da Física Moderna e no desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes.

A dissertação de mestrado de José Edson Reinert, defendida na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com o título “Unidade de ensino potencialmente significativo para o ensino da relatividade especial no ensino médio: uma abordagem com auxílio de recursos digitais” (37), propõe a modernização do currículo de Física no Ensino Médio por meio da inserção da Relatividade Especial, combatendo o histórico distanciamento escolar de tópicos da Física Moderna e Contemporânea. O trabalho justifica essa abordagem com base nas diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e na necessidade de contextualizar o aprendizado de jovens “nativos digitais”, utilizando recursos midiáticos e tecnológicos como facilitadores pedagógicos para aproximar os estudantes de conceitos científicos altamente abstratos presentes

no cotidiano. A fundamentação pedagógica apoia-se em teorias de aprendizagem ativa, com destaque para a TAS de David Ausubel e a Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio Moreira, estruturando a sequência didática por meio de uma UEPS.

O conteúdo científico é estruturado teoricamente em cinco tópicos centrais que contrapõem a física clássica de Galileu à física relativística de Einstein, englobando a Relatividade Galileana frente à Especial (com a dedução das Transformações de Lorentz), a simultaneidade de eventos dependente do referencial, a dilatação do tempo (incluindo o Paradoxo dos Gêmeos) e a contração do comprimento. Neste último, o autor introduz um importante refinamento conceitual ao abordar o Efeito Terrell-Penrose, explicitando as distorções visuais e ópticas reais sofridas por um objeto em velocidades relativísticas devido ao tempo que a luz leva de diferentes pontos até o observador. Por fim, a pesquisa explora a energia relativística por meio da equivalência entre massa e energia de repouso, aplicando o conceito diretamente aos fenômenos físicos de fissão e fusão nuclear.

A validação prática desse Produto Educacional foi planejada em duas etapas dentro de um colégio particular de Blumenau no ano de 2019, tendo os seus resultados iniciais detalhados a partir da aplicação da primeira etapa com uma turma de 17 alunos do 1º Ano do Ensino Médio. Ao longo de sete aulas marcadas pelo pluralismo metodológico — que integrou simulações interativas a trechos de séries e filmes —, os estudantes demonstraram dificuldades crônicas na interpretação de texto, no manuseio matemático de equações e na capacidade argumentativa, conforme evidenciado nos relatórios da atividade investigativa “A Viagem dos Múons” e na avaliação somativa individual. Esses dados qualitativos e quantitativos funcionaram como um diagnóstico regulatório crucial para o autor, apontando a necessidade de revisar os roteiros didáticos e aprofundar os debates argumentativos antes de replicar a UEPS com as turmas subsequentes de 2º e 3º anos.

O trabalho “O Tempo de Assimilação para a Aprendizagem de Física Moderna no Ensino Médio: Uma Investigação Interativa com o Tema Relatividade Especial” (38) realizado no âmbito do MNPEF na Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), propõe uma alteração metodológica para o ensino da TRE no Ensino Médio. O objetivo geral centraliza-se na criação de uma sequência didática que organiza e diferencia conceitos físicos e matemáticos para potencializar a Aprendizagem Significativa, investigando se o tempo disponível nas escolas públicas brasileiras é compatível com o tempo de assimilação individual dos estudantes. A pesquisa justifica-se pela necessidade de inserir tópicos de Física Moderna e Contemporânea na

Educação Básica de forma crítica e estruturada, servindo também como fomento à melhoria dos índices educacionais e à superação de lacunas na formação inicial e continuada de professores.

A fundamentação teórica articula os aspectos cinemáticos da relatividade restrita — utilizando a parábola dos agrimensores de Taylor e Wheeler, que é uma metáfora didática usada para explicar de forma simples e intuitiva o conceito da teoria de Einstein: a invariância do intervalo espaço-tempo, para introduzir a invariância do intervalo espaço-tempo — com os preceitos psicológicos da TAS de David Ausubel. Metodologicamente, a pesquisa adota a estratégia da sala de aula invertida através do desenvolvimento de videoaulas, listas de exercícios e formulários digitais (via canais como YouTube e WhatsApp), permitindo que os alunos acessem os conteúdos previamente e utilizem o tempo síncrono para a resolução de problemas e interação direta com o docente. A avaliação é abordada sob a ótica de Cipriano Luckesi, que a concebe como uma prática dialógica e diagnóstica voltada para a inclusão e o aprimoramento da aprendizagem, e não para a punição ou classificação, funcionando como um mecanismo subsidiário e diagnóstico para acompanhar a evolução cognitiva e identificar os obstáculos epistemológicos apresentados pelos educandos.

Os resultados da aplicação do Produto Educacional revelaram que a demanda cognitiva exigida para o aprendizado de Física Moderna é altamente dependente de conhecimentos anteriores dos estudantes e da sólida formação matemática dos docentes. O estudo constatou que as deficiências estruturais e o número reduzido de aulas na grade curricular regular das escolas públicas superam a disponibilidade de tempo dedicada ao Ensino de Física, dificultando a construção gradual e integrada de conhecimentos interdisciplinares. Apesar dessas limitações de tempo e espaço no sistema público, o uso das tecnologias da informação e da metodologia ativa demonstrou ser promissor para flexibilizar o ritmo de estudos e potencializar o acesso a conceitos complexos da ciência contemporânea.

O contexto educacional contemporâneo é influenciado tanto pela escola quanto pelas interações sociais e pelo entretenimento dos alunos no mundo digital, ambiente onde eles frequentemente entram em contato prévio com conceitos científicos de forma superficial ou equivocada. Diante dessa realidade, a dissertação de mestrado “O ensino de tópicos de Relatividade Restrita: uma sequência didática investigativa utilizando vídeos como ferramenta sociocultural” de Batista (39), investigou as contribuições de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), associada a videoaulas curtas e vídeos de divulgação científica do YouTube, para a aprendizagem conceitual de tópicos de Relatividade Restrita. A pesquisa foi aplicada em uma turma do

3º ano do Ensino Médio de uma escola pública do Amazonas, fundamentando-se no Ensino por Investigação de Ana Maria Pessoa de Carvalho e na teoria sociointeracionista de Vygotsky para analisar as interações dos estudantes mediadas por ferramentas digitais.

A metodologia da pesquisa dividiu-se em cinco etapas estruturais: a identificação das características que atraem os estudantes para os conteúdos em vídeo; o levantamento e a classificação qualitativa desses materiais na plataforma YouTube quanto à precisão conceitual (Apropriado, Pouco Apropriado e Inapropriado); a elaboração e aplicação da SEI; e a análise posterior das impressões dos alunos. Na construção teórica e matemática da Relatividade Restrita abordada nas aulas, detalharam-se tópicos fundamentais como o experimento de Michelson e Morley, as transformações de Galileu e de Lorentz, além dos conceitos einsteinianos de simultaneidade relativa, dilatação do tempo e contração do comprimento. Toda essa proposta buscou atender às diretrizes da BNCC e do Referencial Curricular Amazonense, adaptando o ensino de Física Moderna ao perfil do jovem urbano e nativo digital.

Os resultados obtidos evidenciaram o sucesso da abordagem investigativa em âmbitos qualitativo e quantitativo, promovendo um ambiente propício para que os alunos realizassem observações, levantassem hipóteses e argumentassem em grupo. O desempenho dos estudantes nas atividades e na avaliação formal comprovou a real compreensão dos conceitos físicos abordados, minimizando os erros conceituais propagados por mídias informais. Por fim, os questionários de percepção indicaram uma recepção amplamente positiva por parte dos participantes, consolidando o uso de vídeos como ferramentas socioculturais eficazes e resgatando o papel ativo do professor como mediador essencial no desenvolvimento intelectual e científico dos alunos.

Em síntese, os trabalhos com TDIC demonstram que, embora as tecnologias potencializem o engajamento e a visualização de conceitos abstratos, persistem desafios como a dependência de infraestrutura, a necessidade de formação docente continuada e a insuficiência de tempo na grade curricular — um diagnóstico recorrente que atravessa todas as pesquisas analisadas.

4.2 Trabalhos com Abordagens Lúdicas e Multimodais

Outro subgrupo significativo utiliza a cultura pop, a ficção científica e a arte como pontes para o conhecimento científico, incluindo o uso de filmes de ficção científica, Histórias em Quadrinhos (HQs), super-heróis e jogos didáticos.

A dissertação intitulada “Teoria da relatividade restrita de Einstein para alunos do ensino médio utilizando filmes de ficção científica como recurso didático” desenvolvida por Raimundo Wagner Pereira Mendes, sob a orientação do Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva no âmbito do MNPEF, propõe uma abordagem pedagógica inovadora para introduzir a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein a estudantes do ensino médio de uma escola pública estadual em Manaus-AM. O trabalho justifica-se pela necessidade de atualizar o currículo da educação básica, que muitas vezes permanece restrito à física clássica e ao ensino mecanizado de fórmulas. Para reverter esse cenário e prender a atenção dos jovens, o autor sugere a transposição didática utilizando o cinema e o entretenimento como ferramentas facilitadoras, permitindo que os estudantes contextualizem conceitos complexos e desenvolvam um pensamento crítico sobre as tecnologias contemporâneas (40).

Fundamentada na TAS de David Ausubel, a metodologia defende que o novo conhecimento deve interagir com os conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do estudante (os subsunçores). Para criar essa ancoragem de maneira atrativa, foi elaborada uma sequência didática de oito aulas na disciplina de Projetos Integradores do Novo Ensino Médio, utilizando os aclamados filmes de ficção científica **Interestelar** (2014) e **Planeta dos Macacos** (1968). A exibição fracionada das obras serviu de base para confrontar as ideias do senso comum com os fundamentos científicos da física moderna, estimulando debates coletivos sobre a relatividade do tempo e do espaço.

A aplicação prática do produto educacional ocorreu no Colégio Militar da Polícia Militar I (CMPM 1) com uma turma de segunda série, sendo os dados coletados e analisados qualitativamente e quantitativamente por meio de questionários de conhecimentos prévios e de assimilação final. Os resultados demonstraram que o uso da ficção científica no ensino de física clássica e contemporânea é eficaz para tornar conceitos abstratos — como dilatação temporal, contração espacial e massa relativística — mais compreensíveis e visíveis. Como resultado final, a pesquisa gerou um texto de apoio didático voltado para professores que desejam replicar essa abordagem investigativa e interdisciplinar em suas salas de aula.

A dissertação de mestrado de Milena Teixeira da Rosa, intitulada “Um Guia Ilustrado, como Material Potencialmente Significativo, para Ensinar a Teoria da Relatividade Restrita” (21), aborda a necessidade premente de inserir a FMC no Ensino Médio. A autora justifica o trabalho apontando que o currículo tradicional foca quase exclusivamente na Física Clássica, privando os estudantes de compreender as bases científicas das tecnologias atuais. Utilizando a Teoria da

Relatividade Restrita (TRR) como eixo central, a pesquisa buscou romper com visões baseadas no senso comum sobre as noções fundamentais de espaço, tempo e simultaneidade.

Para fundamentar a intervenção pedagógica, o estudo uniu a TAS de David Ausubel à estrutura metodológica das UEPS de Marco Antonio Moreira. O principal objetivo foi o desenvolvimento e a validação de um Produto Educacional inovador: um Guia Ilustrado em formato de História em Quadrinhos (HQ). Esse material foi elaborado intencionalmente para servir como um organizador prévio e facilitador visual, abordando de maneira lúdica temas complexos como os postulados de Einstein, o experimento de Michelson-Morley, a dilatação temporal, a contração do espaço e a famosa equivalência massa-energia.

A proposta foi aplicada em 2019 com 54 alunos de três turmas do 3º ano do Ensino Médio em uma escola estadual de Osório-RS. A sequência didática envolveu questionários de sondagem, aulas dialogadas, leitura mediada da HQ, resolução de problemas e a construção de mapas conceituais pelos estudantes. Os resultados qualitativos e quantitativos indicaram indícios robustos de Aprendizagem Significativa; apesar das dificuldades matemáticas com o fator de Lorentz, os alunos superaram concepções errôneas (como a de que a dilatação temporal seria mera ilusão de óptica), demonstrando que a associação de recursos visuais a um planejamento estruturado é eficaz para humanizar e desmitificar a Física Moderna na educação básica.

O trabalho intitulado “A Física nos quadrinhos: um recurso lúdico em potencial para ensino da relatividade na Educação Básica” escrito por Sousa (41), aborda como o Ensino de Física tem passado por transformações impulsionadas pelos avanços tecnológicos e pela introdução de novas metodologias ativas na educação. Diante dessas possibilidades, a utilização de recursos imagéticos, como as Histórias em Quadrinhos (HQs), surge como um potencial recurso lúdico capaz de enriquecer as narrativas científicas em sala de aula. Essa abordagem em formato de linguagem mista visa facilitar a compreensão de conceitos complexos e estimular a ocorrência de uma aprendizagem significativa nos estudantes.

A pesquisa consistiu em um estudo de caso de natureza qualitativa e participante, realizado com alunos da 3ª série do Ensino Médio da Escola Estadual Celso Mariz, na cidade de Sousa, Paraíba. O objetivo foi investigar como os estudantes interpretavam os conceitos da Teoria da Relatividade a partir da leitura de gibis, exibição de vídeos e filmes, e da própria produção de histórias em quadrinhos, que foram desenvolvidas como produto final para

um concurso escolar. Para a análise e categorização dos resultados e das falas dos alunos, utilizou-se o método de análise de conteúdo, uma metodologia analítica e conceitual empregada para decodificar, organizar e interpretar dados qualitativos e manifestações verbais por meio do estabelecimento de categorias temáticas.

Os resultados da aplicação metodológica demonstraram que as atividades lúdicas e a confecção do material gráfico geraram indicadores reais de Alfabetização Científica e indícios claros de Aprendizagem Significativa entre os participantes. Desse modo, o trabalho conclui que os recursos imagéticos e sequenciais são ferramentas pedagógicas eficazes para dinamizar o contexto educacional. A prática provou ser capaz de afastar o ensino tradicional de Física da memorização mecânica, promovendo a autonomia e o despertar do interesse científico nos alunos.

O artigo intitulado “Física Moderna e Contemporânea numa história em quadrinhos por estudantes do Ensino Médio”, escrito por Gois e Ormezzano (42), discute a necessidade de inserir a FMC na educação básica. Os autores contextualizam que o ensino tradicional muitas vezes afasta os estudantes das ciências exatas por se concentrar excessivamente em formalismos matemáticos e na reprodução exaustiva de fórmulas da Física Clássica. Justificado pelas diretrizes curriculares nacionais, o estudo defende que privar os alunos do contato com as teorias científicas do século XX e XXI significa excluí-los de uma das maiores revoluções intelectuais da humanidade, além de desinteressá-los pelas carreiras científicas.

Detalha uma pesquisa qualitativa do tipo descritivo-interpretativa realizada com 32 alunos de uma instituição particular em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. A metodologia consistiu na aplicação de aulas expositivas dialógicas abordando tópicos como a quantização da energia de Planck, a relatividade de Einstein e o modelo padrão de partículas. Como estratégia didática baseada nos preceitos da Educação Estética, os estudantes foram estimulados a criar, de forma livre e autônoma, uma história em quadrinhos (HQ) intitulada "O Sobrevivente". Para a análise e compreensão dos dados coletados por meio dessa produção lúdica, os pesquisadores utilizaram o método de leitura de imagens proposto por Ott, uma abordagem metodológica baseada no sistema Image Watching (Olhando Imagens) que se divide em seis categorias processuais — Sensibilizando (Thought Watching), Descrevendo, Analisando, Interpretando, Fundamentando e Revelando —, cujo uso do gerúndio enfatiza o sentido de ação contínua para guiar o estudante desde a percepção inicial até a expressão do conhecimento adquirido.

Revela que os alunos conseguiram expressar e internalizar conceitos complexos de FMC de maneira satisfatória. A análise da HQ demonstrou que o grupo articulou corretamente conceitos de porções de energia (quantum) e utilizou equações matemáticas para estruturar a narrativa de uma viagem no tempo baseada na dilatação temporal da relatividade especial. Embora tenham emergido alguns estereótipos vindos de produções cinematográficas comerciais e pequenas confusões históricas — o que demandou um momento posterior de *feedback* pedagógico —, os autores concluem que a atividade se mostrou altamente significativa. A proposta lúdica conciliou o prazer da criação artística com o rigor científico, consolidando-se como uma alternativa viável e eficaz para os professores da área.

O artigo “O Lúdico na Física: Explicando a Física por meio de Super-Heróis” (43) aborda uma proposta pedagógica inovadora desenvolvida em escolas do Ceará para o ensino de Física, utilizando como metodologia a teoria das inteligências múltiplas de Howard Gardner aliada à ludicidade. O principal objetivo é reduzir a rejeição que muitos estudantes do ensino médio demonstram pela disciplina, conectando as teorias científicas ao universo altamente atrativo dos super-heróis e personagens de histórias em quadrinhos e do cinema. Para isso, o professor atuou como mediador, estimulando o protagonismo e a autonomia dos alunos ao incentivar que relacionassem conceitos físicos com as habilidades extraordinárias dos personagens.

A metodologia do projeto foi dividida em duas etapas principais que engajaram os estudantes em atividades práticas e colaborativas. Na primeira parte, os alunos formaram equipes e realizaram apresentações em formato de seminário, explicando temas como mecânica, óptica geométrica, ondulatória, termologia e relatividade associados aos poderes de heróis como Hulk, Thor, Goku e a Mulher Invisível. Na segunda etapa, cada grupo ficou responsável por elaborar cinco questões originais com gabarito e resolução envolvendo essa temática, com o intuito de mensurar o conhecimento absorvido e compor um livro que serviu como produto educacional do projeto.

Os resultados da aplicação demonstraram que a inserção do lúdico e do universo pop nas aulas de Física melhorou significativamente a aceitação e a compreensão dos conceitos científicos pela maior parte das turmas. O projeto permitiu que os estudantes explorassem conteúdos avançados e muitas vezes inéditos no ensino médio, como mecânica relativística e física quântica, por meio de pesquisas autônomas estimuladas pela curiosidade. Assim, a fundamentação teórica apresentada no artigo reforça que associar a ciência a elementos prazerosos e presentes no cotidiano dos jovens é uma ferramenta didática valiosa para potencializar o pro-

cesso de ensino-aprendizagem.

O trabalho seguinte, intitulado “Introdução à Teoria da Relatividade Especial mediado por jogo didático”, de autoria de Meneses et al. (2023), apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma proposta pedagógica diferenciada. A pesquisa está centrada no uso de um jogo didático (formato de Roleta) como instrumento mediador e foi aplicada com estudantes do 3º ano do Ensino Médio, partindo da premissa de que o ensino da TRE muitas vezes falha ao ser excessivamente abstrato e focado em formalismos matemáticos (44).

Os autores justificam a escolha do lúdico como uma estratégia para reduzir a ansiedade e a resistência dos estudantes frente aos conceitos que desafiam o senso comum. O jogo “Roleta Relativística” foi projetado não apenas como uma ferramenta de revisão, mas como um espaço de diálogo onde os alunos precisavam explicar conceitos fundamentais para avançar nas etapas. Essa abordagem estimula a participação ativa e o trabalho colaborativo, elementos essenciais nas metodologias ativas defendidas pela BNCC.

A metodologia adotada foi a da pesquisa-ação, permitindo que os pesquisadores observassem em tempo real as dificuldades de compreensão dos alunos. Os resultados indicaram que a mediação pelo jogo facilitou a apropriação da linguagem científica e a compreensão dos postulados de Einstein de forma menos traumática. Os estudantes demonstraram maior facilidade em visualizar a relatividade da simultaneidade quando provocados pelas dinâmicas do jogo, o que sugere que o lúdico pode servir como uma “ponte” eficaz entre o rigor teórico da física moderna e a realidade cognitiva do adolescente.

Em suma, o artigo de Meneses et al. conclui que a inserção de elementos de gamificação no Ensino Médio brasileiro é uma alternativa viável para democratizar o acesso a temas complexos da física. Ele reforça a ideia de que o professor deve atuar como um mediador da aprendizagem, utilizando recursos que despertem o interesse e a curiosidade, transformando a sala de aula em um ambiente de construção coletiva e menos focado na memorização passiva de fórmulas.

Em comum, as abordagens lúdicas e multimodais demonstram que a associação da ciência a elementos prazerosos e presentes no cotidiano dos jovens é uma ferramenta didática valiosa para potencializar o processo de ensino-aprendizagem. Contudo, os estudos também alertam para o risco de superficialidade e a necessidade de mediação docente rigorosa para evitar visões distorcidas da ciência.

4.3 Trabalhos com Contextualização pelo GPS

Um terceiro subgrupo, com forte apelo prático, utiliza o Sistema de Posicionamento Global (GPS) como tema gerador para o ensino da TRE. Esta abordagem é particularmente eficaz por demonstrar uma aplicação concreta e indispensável da teoria de Einstein no dia a dia.

A dissertação de mestrado intitulada "O Ensino da Física Moderna na Relatividade Usando o GPS como Ferramenta Didática", defendida por Cristian Maria Costa de Souza sob a orientação do Prof. Dr. Octavio Daniel Rodriguez Salmon (45), propõe uma abordagem pedagógica inovadora para o ensino médio. O objetivo principal da pesquisa foi desenvolver, implementar e avaliar uma sequência didática baseada nas UEPS, fundamentada na TAS de David Ausubel e no modelo de Marco Antônio Moreira. Para contextualizar conceitos complexos e abstratos da Física Moderna — como a dilatação do tempo, a contração do comprimento e os efeitos das relatividades restrita e geral de Einstein —, a autora utilizou o Sistema de Posicionamento Global (GPS) como um elo prático com a realidade tecnológica do cotidiano dos estudantes.

A aplicação prática do produto educacional ocorreu na Escola Estadual Sérgio Mendonça de Aquino, localizada na zona rural da vila de Novo Remanso, em Itacoatiara-AM, abrangendo três turmas do segundo ano e uma do terceiro ano do Ensino Médio. Ao longo de quatro encontros dinâmicos que integraram o levantamento de conhecimentos prévios, exposições de vídeos explicativos e debates teóricos, a metodologia buscou afastar o medo tradicional associado à disciplina de Física. Como resultado, a pesquisa qualitativa e quantitativa demonstrou um aumento expressivo no engajamento, no interesse e na compreensão conceitual dos alunos, evidenciando a eficácia de alinhar a física contemporânea com recursos visuais e ferramentas cotidianas para promover uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

O trabalho educacional intitulado "Produto Educacional: O Ensino da Física Moderna na Relatividade Usando o GPS como Ferramenta Didática" escrito por Souza et al. (46), consiste em uma proposta pedagógica desenvolvida no âmbito do MNPEF. O trabalho descreve a aplicação de uma sequência didática projetada para introduzir conceitos complexos de Física Moderna — especificamente a Teoria da Relatividade Restrita e Geral — a estudantes do Ensino Médio de uma escola pública estadual na área rural de Novo Remanso, no município de Itacoatiara, Amazonas. Aprovada pela gestão e corpo pedagógico, a intervenção foi realizada com quatro turmas (três de segunda série e uma de terceira série) no período matutino, com o

intuito de facilitar a compreensão científica ligando a teoria a uma tecnologia prática e cotidiana: o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Fundamenta-se estruturalmente na TAS de David Ausubel. A metodologia foi dividida e executada ao longo de quatro aulas de 40 minutos cada. Na primeira aula, os estudantes compartilharam seus conhecimentos prévios organizando-se em grupos para confeccionar cartolinas explicativas sobre a utilidade do GPS. A segunda e a terceira aula foram dedicadas à exibição de vídeos educativos que abordaram desde o histórico dos satélites e o funcionamento técnico do sistema até os fundamentos matemáticos de trilateração e geometria analítica, culminando na explicação sobre como a dilatação temporal e os potenciais gravitacionais previstos por Einstein afetam a sincronização dos relógios atômicos orbitais.

O mesmo encerra sua análise apresentando a avaliação dos resultados obtidos por meio de um questionário final de 20 questões e observações diretas em sala de aula. A tabulação das respostas indicou uma evolução conceitual notável, demonstrando que a grande maioria dos alunos assimilou com sucesso temas como o número de satélites operando na rede, a velocidade da luz e os erros acumulados que inviabilizariam os aplicativos de mapas caso as correções relativísticas fossem ignoradas. Os depoimentos dos estudantes reforçaram o sucesso da abordagem dinâmica, revelando que o uso de exemplos práticos e mídias interativas desmistificou a complexidade da física e estimulou o engajamento e o trabalho em equipe.

4.4 Trabalhos de Diagnóstico e Fundamentação Teórica

Paralelamente aos trabalhos de criação de produtos, um quarto eixo reúne pesquisas com um foco mais analítico e diagnóstico, buscando compreender o processo de aprendizagem, mapear obstáculos e fundamentar teoricamente as práticas pedagógicas

O artigo intitulado "Análise dos Conhecimentos de Estudantes no Ensino Médio Acerca da Teoria da Relatividade", escrito por Emmanuel Zullo Godinho, Mara Fernanda Parisoto, Claudineia Pessatto e André Ary Leonel (47), investiga a evolução conceitual de estudantes da educação básica ao serem introduzidos aos conceitos da TRE. Os autores justificam a relevância da pesquisa ao apontar que, após uma revisão de literatura em periódicos nacionais e internacionais, foram encontrados apenas dez trabalhos dedicados a investigar os mecanismos de construção de conhecimento dessa teoria em condições reais de sala de aula no Ensino Médio. Com o objetivo de preencher essa lacuna, a pesquisa utilizou uma abordagem qualitativa de análise de conteúdo para avaliar a implementação de uma UEPS, proposta pedagógica que se

fundamenta na TAS de David Ausubel e baseia-se na identificação e uso de subsunçores na estrutura cognitiva dos estudantes.

A intervenção prática ocorreu na disciplina de Física em turmas do último ano de duas escolas públicas localizadas em Capitão Leônidas Marques (PR), dividindo os participantes em um grupo experimental — submetido à UEPS em uma carga horária estendida para 24 horas/aula devido à aplicação de avaliações — e um grupo de controle, que recebeu o mesmo conteúdo por meio de aulas tradicionais expositivas e resolução de exercícios. Para balizar o processo de ensino-aprendizagem, os pesquisadores aplicaram um questionário contendo dez questões sobre a TRE tanto na etapa inicial (pré-teste) quanto após a instrução (pós-teste). O diagnóstico inicial revelou que, embora a maioria dos estudantes possuísse algum conhecimento prévio sobre a Relatividade e sobre a figura de Albert Einstein, tais concepções estavam repletas de erros epistemológicos, visões deformadas da ciência e forte influência do senso comum propagado por meios de comunicação de massa. Diante disso, o planejamento didático foi reformulado para incluir discussões sobre a história e a epistemologia da ciência, contextualizando a física como uma construção humana passível de modificações. Ao final do estudo, os dados qualitativos indicaram indícios de Aprendizagem Significativa na maior parte do grupo experimental. Apesar de persistirem certas dificuldades e confusões cotidianas em relação aos conceitos de espaço e tempo filosóficos e à dilatação temporal baseada na mudança de posição, o artigo conclui que a UEPS se mostrou eficiente, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de ensino de tópicos contemporâneos em salas de aula reais.

A dissertação intitulada “Das transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais e as concepções de estudantes do ensino médio sobre relatividade especial”, escrita por Souza (48), investiga o processamento das simulações mentais de estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola estadual em Montenegro/RS a respeito de fenômenos associados à TRE de Einstein. O estudo fundamenta-se na articulação teórica entre a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), a epistemologia de Larry Laudan e a perspectiva do Perfil Conceitual de Mortimer. A pesquisa busca compreender a relação direta entre essas simulações mentais, as concepções dos estudantes sobre contração espacial e dilatação temporal, e o desenvolvimento do perfil conceitual de referencial.

A metodologia envolveu a realização de um teste piloto com dois estudantes voluntários para ajuste dos materiais didáticos. Posteriormente, a experimentação definitiva ocorreu no terceiro trimestre de 2019 com turmas regulares de Física. As atividades integraram as

quatro mediações propostas pela TMC (psicofísica, social, cultural e hipercultural) tanto para a Relatividade de Galileu quanto para a de Einstein. Para a coleta de dados, foram aplicados questionários de pré e pós-teste, além de entrevistas baseadas no protocolo Report Aloud, técnica na qual os participantes verbalizam seu raciocínio em voz alta durante a realização das tarefas, as quais foram examinadas qualitativamente por meio da Análise Gestual Descritiva, abordagem que consiste na observação e interpretação dos movimentos corporais e gestos dos alunos como evidências de seus processos cognitivos e modelos mentais.

Os resultados quantitativos demonstraram que a aplicação das quatro mediações contribuiu significativamente para a compreensão dos estudantes sobre a TRE. Qualitativamente, evidenciou-se uma correlação positiva entre o desenvolvimento das simulações mentais e a evolução da zona relativística no perfil conceitual de referencial. A dissertação conclui que a aceitação das consequências da relatividade como fenômenos reais por parte dos estudantes ocorre predominantemente após eles desenvolverem tais simulações mentais e assimilarem adequadamente a estrutura teórica apresentada.

A obra “Teoria da Relatividade Restrita: uma introdução histórico-epistemológica e conceitual voltada ao ensino médio” (49), escrito por Barbosa, é um Trabalho de Conclusão de Curso que investiga a inserção da TRR no Ensino Médio. A autora destaca que, embora a Física Moderna tenha mais de um século de desenvolvimento, sua abordagem nas salas de aula da educação básica ainda é bastante limitada e tradicionalmente focada na Física Clássica. O trabalho fundamenta-se teoricamente na TAS de David Ausubel e no referencial epistemológico de Thomas Kuhn, buscando superar a mera memorização de fórmulas e incentivar uma compreensão mais profunda e contextualizada do conhecimento científico.

O corpo do trabalho discute minuciosamente os conceitos de aprendizagem mecânica e significativa, além de traçar o modelo de desenvolvimento da ciência de Kuhn, que envolve os períodos de ciência normal, crises e revoluções científicas através de mudanças de paradigmas. Barbosa aponta que as principais barreiras para o ensino da TRR nas escolas incluem a complexidade matemática e abstrata dos conceitos (como dilatação do tempo e contração do comprimento), a falta de materiais didáticos adequados e as lacunas na formação continuada dos professores. Diante disso, a pesquisa defende o uso da História da Ciência como uma ferramenta contextualizadora e humanizadora capaz de desmistificar a visão de que a ciência é imutável ou construída apenas por gênios isolados.

Como proposta prática para auxiliar os docentes a superarem tais desafios em sala de aula, o trabalho apresenta uma sequência didática estruturada em quatro aulas. Esse planejamento pedagógico aborda desde o panorama histórico do início do século XX e os postulados de Einstein até as aplicações tecnológicas contemporâneas da relatividade, como o funcionamento do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Nas considerações finais, a autora reforça que a articulação entre o conteúdo conceitual e a base histórico-epistemológica promove um ensino de Física mais estimulante, capacitando os estudantes a desenvolverem o pensamento crítico e uma apreciação mais dinâmica do universo.

Consideramos, agora, a dissertação de mestrado de Paulo Roberto Ferreira da Silva Sobrinho, intitulada “Sequência Didática para o Ensino Médio sobre o Tempo: Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita” (50). A pesquisa propõe e avalia a aplicação de uma UEPS combinada com mapas conceituais para introduzir a Física Moderna no Ensino Médio de forma contextualizada.

O referencial teórico-histórico estruturado pelo autor resgata a evolução do pensamento humano sobre a natureza do tempo. Para isso, ele confronta visões filosóficas de pensadores substantivistas e relacionistas — como Aristóteles, Santo Agostinho, Kant, Bergson e Heidegger — com os modelos construídos pelos físicos Galileu, Newton e Einstein. O texto detalha a transição do tempo absoluto e linear da mecânica clássica newtoniana para o conceito de espaço-tempo da Teoria da Relatividade Restrita, destacando fenômenos como a relatividade da simultaneidade, a contração do espaço e a dilatação do tempo.

A proposta didática foi implementada presencialmente em duas turmas do 3º ano do Ensino Médio em uma escola pública de Manaus durante o período de flexibilização da pandemia de Covid-19. A sequência utilizou projetores, simulações interativas do projeto PhET, um projeto de simulações interativas da Universidade de Colorado Boulder, vídeos demonstrativos e os mapas conceituais desenvolvidos pelo próprio autor. Na etapa de avaliação, os resultados apontaram que a abordagem gerou um rendimento satisfatório nas questões teóricas, comprovando a eficácia dos mapas conceituais na diferenciação progressiva dos conceitos, embora os alunos ainda tenham manifestado dificuldades operacionais com os cálculos matemáticos envolvidos na teoria.

Em síntese, os trabalhos deste eixo demonstram a importância de compreender as concepções prévias dos estudantes e os obstáculos epistemológicos que dificultam a aprendizagem

da TRE, bem como o potencial da História e Filosofia da Ciência como ferramenta para uma abordagem mais crítica e contextualizada.

4.5 Quadro Comparativo e Discussão Integrada

Para sintetizar a análise dos estudos reunidos por similaridade, apresenta-se o Quadro 1, que compara as principais abordagens, seus referenciais teóricos, exemplos de trabalhos e os resultados e desafios mais recorrentes.

Quadro 2 – Abordagens para o ensino de TRE no Brasil (2020–2025)

EIXO TEMÁTICO	PRINCIPAIS TRABALHOS	CONTRIBUIÇÕES E DESAFIOS
Recursos tecnológicos (TDIC)	Monteiro et al. (2025); Batista (2025); Castro (2024); Yamashita (2020); Souza e Serano (2020); Ramos et al. (2023); Reinert (2020); Valadares (2023)	Contribuições: aumentam engajamento, visualizam conceitos abstratos e flexibilizam o ritmo de estudos. Desafios: dependem de infraestrutura e formação docente.
Abordagens lúdicas e multimodais	Mendes (2024); Rosa (2020); Sousa (2023); Feitosa (2021); Gois e Ormezzano (2020); Meneses et al. (2023)	Contribuições: facilitam a compreensão, estimulam criatividade e interesse. Desafios: há risco de superficialidade e exigem mediação docente rigorosa.
Contextualização (GPS)	Souza (2024); Souza & Salmon (2024)	Contribuições: demonstram aplicações práticas da TRE e conectam teoria ao cotidiano. Desafio: o escopo pode limitar-se a uma única aplicação.
Diagnóstico e fundamentação	Godinho et al. (2021); Souza (2021); Barbosa (2023); Sobrinho (2021)	Contribuições: mapeiam obstáculos conceituais e humanizam a ciência. Desafio: precisam ser articulados a propostas de intervenção prática.

Fonte: Organizada pela autora.

Conforme sintetizado no Quadro 1, observa-se uma forte hegemonia da TAS de David Ausubel como referencial teórico, frequentemente operacionalizada por meio das UEPS de Marco Antonio Moreira. Esta escolha reflete a preocupação dos pesquisadores em partir dos conhecimentos prévios dos alunos (subsunçores) para ancorar novos conceitos, um princípio fundamental para o ensino de tópicos tão contra-intuitivos como a TRE.

Observa-se, ainda, um claro movimento de diversificação metodológica, alinhado às diretrizes da BNCC e ao perfil dos jovens nativos digitais. As abordagens lúdicas e tecnológicas não são vistas como meros "enfeites", mas como ferramentas legítimas para a construção de modelos mentais, a superação de obstáculos epistemológicos e o desenvolvimento do pensamento crítico. No entanto, persistem desafios estruturais e de formação docente, como a escassez de tempo na grade curricular e a necessidade de um professor mediador capaz de navegar entre a simplificação didática e o rigor conceitual.

A análise do panorama científico e pedagógico dos trabalhos investigados — compreendidos entre o estudo basilar de Barbosa (49) e o desenvolvimento recente de Souza, Ramos e Ramos (36) — revela uma articulação teórica e metodológica voltada à modernização do ensino de Ciências. Sob a égide da BNCC e do Novo Ensino Médio, a produção acadêmica contemporânea desafia a fragmentação curricular e o isolamento da TRE no fim da educação básica, propondo sua inserção longitudinal e integrada à mecânica clássica desde as séries iniciais. Esse movimento surge como resposta a um diagnóstico crítico convergente na literatura: o anacronismo dos currículos de Física, a formação docente inicial e continuada lacunar e a escassez de tempo pedagógico nas matrizes escolares. Para fraturar essa inércia, pesquisas como produto educacional de Souza (45) exaltam o potencial da TRE como catalisador curricular indispensável, demonstrando como a dilatação temporal deixa de ser uma abstração pura para se tornar um eixo estruturante na compreensão de tecnologias cotidianas, como o GPS.

Para operacionalizar esse potencial em sala de aula, a literatura divide-se entre abordagens de sensibilização lúdico-estética e recursos tecnológicos digitais. De um lado, estruturam-se vertentes interativas baseadas na gamificação e na arte sequencial, como o jogo didático proposto por Meneses et al. (44) e a construção de histórias em quadrinhos investigada por Gois e Ormezzano (42), que visam romper com o formalismo tradicional e estimular a autoria discente. Por outro lado, consolidam-se as abordagens amparadas nas TDICs, a exemplo de Souza e Serrano (35), que utilizam recursos visuais e animados para subsidiar o desenvolvimento de modelos mentais aptos a processar fenômenos contra-intuitivos, como a contração

espacial. Apesar da pluralidade metodológica, todas as propostas encontram sustentação epistemológica nos modelos de mudança de paradigma de Thomas Kuhn e Larry Laudan, tendo a TAS de David Ausubel como espinha dorsal hegemônica. Articulada a constructos como a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e os modelos mentais de Johnson-Laird, essa engrenagem teórica converge para um único objetivo unificador: combater de forma contundente a “educação bancária” e meramente memorística, guiando a escola regular rumo a uma Aprendizagem Significativa Crítica que capacite os jovens a compreenderem as profundas transformações conceituais sobre o tecido do espaço e do tempo.

CONCLUSÃO

Esta RSL cumpriu o objetivo principal de mapear e analisar criticamente a produção acadêmica brasileira voltada ao ensino da TRE no EM durante o recorte temporal de 2020 a 2025. Ao responder de forma direta à Questão de Pesquisa formulada — que buscou identificar as principais estratégias didáticas e tendências metodológicas utilizadas para o ensino desse tema no país —, constatou-se que a literatura recente converge maciçamente para a superação do modelo tradicional de "quadro e giz". Os objetivos específicos foram alcançados ao catalogar que a maior parte da produção nacional é fruto de pesquisas aplicadas oriundas do MNPEF, as quais se sustentam na TAS de David Ausubel como referencial hegemônico. No que tange às estratégias didáticas investigadas, delineou-se um panorama dividido em duas grandes frentes metodológicas: as abordagens lúdico-estéticas, amparadas em Histórias em Quadrinhos, jogos didáticos e cinema de ficção científica, e as amparadas pelas TDICs, com destaque para o uso de simuladores interativos e para a contextualização tecnológica por meio do funcionamento do Sistema de Posicionamento Global.

A relevância desta pesquisa reside no seu potencial de articular e sistematizar e organizar um cenário de produções que se encontrava disperso na literatura nacional. Em um momento de profundas transformações educacionais impulsionadas pela consolidação da Base Nacional Comum Curricular e pelo Novo Ensino Médio, este estudo oferece um diagnóstico consistente e auditável sobre o que de fato funciona no chão da escola para a transposição didática da Física Moderna e Contemporânea. Ao evidenciar que recursos visuais, simulações mentais e analogias práticas são capazes de humanizar a ciência e mitigar a fixação dos estudantes em referenciais puramente newtonianos, esta revisão serve como um guia de subsídio prático para professores da educação básica e formuladores de currículos que buscam promover o letramento científico crítico.

Não obstante o rigor metodológico adotado, identificam-se importantes limitações nesta investigação. A primeira delas refere-se à própria natureza do corpus analisado; embora a literatura apresente sequências didáticas inovadoras e de alto sucesso local, a grande maioria dos trabalhos reflete intervenções isoladas e pontuais aplicadas a grupos reduzidos de alunos, o que impede a generalização irrestrita de sua eficácia em larga escala na rede pública. Adicionalmente, o estudo limitou-se a catalogar o que é publicado em plataformas específicas, como o Google Acadêmico e o Portal de Periódicos CAPES, podendo omitir produções relevantes de anais de eventos locais não indexados. Por fim, a pesquisa esbarra na constatação de barreiras

estruturais crônicas relatadas na literatura que limitam a aplicação real dessas propostas pelos docentes no cotidiano, tais como a escassez de tempo na grade curricular regular de Física e as lacunas severas na formação inicial e continuada de professores para lidar com o formalismo da relatividade sem reduzi-lo à mera memorização mecânica.

Em suma, a melhoria e a democratização do ensino da TRE nas salas de aula brasileiras exigem que a comunidade acadêmica avance na validação de produtos educacionais independentes para a construção de políticas integradas de formação docente. Recomenda-se que investigações futuras se debrucem sobre o acompanhamento longitudinal de professores em exercício, avaliando como essas ferramentas tecnológicas e lúdicas mapeadas podem ser sustentadas de forma permanente e integrada às matrizes curriculares escolares, transformando em definitivo a teoria de Einstein em um saber palpável e transformador para a juventude contemporânea.

REFERÊNCIAS

- 1 TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 9, n. 3, p. 209–214, 1992.
- 2 BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Brasília: MEC, 2018. Homologada em 14 de dezembro de 2018. Disponível em: [<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/).
- 3 TERRAZZAN, E. A.; MENEZES, L. C. d. *Perspectivas para a insercao da fisica moderna na escola media*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 1994.
- 4 OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 18 maio 2026.
- 5 AGUIAR, C. E.; MOURA, M.; BARROSO, M. F. Ensino de física em tempos de pandemia: instrução remota e desempenho acadêmico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, p. e20210329, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0329>. Acesso em: 18 maio 2026.
- 6 SANTOS, F. R. V. d.; OSTERMANN, F. A prática do professor e a pesquisa em ensino de física: novos elementos para repensar essa relação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, p. 316–337, jan. 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6374>.
- 7 COSTA, W. L. da; ZOMPERO, A. d. F. A iniciação científica no brasil e sua propagação no ensino médio. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 8, n. 1, p. 14–25, abr. 2017. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/rencima/article/view/988>.
- 8 FRENCH, A. *Special Relativity*. Chapman and Hall, 1968. (M.I.T. introductory physics series). ISBN 9780412343209. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=stVrygAACAAJ>.
- 9 EINSTEIN, A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, v. 322, n. 10, p. 891–921, jun 1905.
- 10 TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. *Física Moderna*. [S.l.]: Editora LTC, 2014. v. 3. 01–500 p.
- 11 HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física: física moderna*. [S.l.]: Editora LTC, 2016. v. 4. 01–345 p.
- 12 GREENE, B. *O universo elegante: supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva*. [S.l.]: Editora Companhia das Letras, 2001. v. 1. 01–473 p.
- 13 YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Sears e Zemansky: Física IV: Ótica e Física Moderna*. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016. v. 4. 01–400 p.
- 14 KNIGHT, R. D. *Física: uma abordagem estratégica*. [S.l.]: Editora Pearson, 2009. v. 1. 01–488 p.
- 15 EISBERG, R. M.; RESNICK, R. *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. [S.l.]: Editora Campus: LTC, 1979. v. 1. 01–936 p.

- 16 NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: óptica, relatividade, física quântica*. [S.l.]: Editora Blucher, 2014. v. 4. 1–359 p.
- 17 MARTINS, R. de A. A relação massa-energia e energia potencial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 6, n. Especial, p. 56–80, jun 1989.
- 18 PAULA, C. T. de; RODRIGUES, L. M. D. de Á. A geometria do espaço de minkowski e a teoria da relatividade especial. *REMAT: Revista Eletrônica da Matemática*, v. 9, n. 1, p. e3005, abr. 2023. Disponível em: <<https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/REMAT/article/view/6351>>.
- 19 GAZZINELLI, R. *Teoria da Relatividade Especial*. Blucher, 2009. ISBN 9788521216193. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=mx_hDwAAQBAJ>.
- 20 BRASIL. *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*. Brasília, 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- 21 ROSA, M. T. d. *Um guia ilustrado, como material potencialmente significativo, para ensinar a Teoria da Relatividade Restrita*. Dissertação (Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física)) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2020. 250 p.
- 22 LA transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. [S.l.: s.n.].
- 23 PIETROCOLA, M. Construção e realidade: O realismo científico de Mário bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 3, p. 213–227, nov. 2016. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/604>>.
- 24 FILHO, M. M. e S. *Uma transposição didática da teoria da relatividade especial*. 47 p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- 25 PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *masterthesiserno Brasileiro de Ensino de Física*, UFSC, v. 18, n. 1, p. 9–29, 2002.
- 26 MOREIRA, M. A. Ensino de física no brasil: Retrospectiva e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, UFRGS, v. 22, n. 1, p. 94–106, 2000.
- 27 SAMPAIO, W. S.; OLIVEIRA, A. N. de; SIQUEIRA, M. C. A. As teorias da relatividade no ensino básico: uma revisão de literatura para traçar o perfil dos trabalhos publicados no brasil entre 2000 e 2018. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 4, p. 45–53, 2019.
- 28 ANGOTTI, J. A. P.; MENEZES, L. C. d. *Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 1991.
- 29 NOVAK, J. et al. *Teoría y práctica de la educación*. Alianza, 1982. (Alianza Universidad). ISBN 9788420623306. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Ws4-CaxuCykC>>.
- 30 MACÊDO, J. A. de. *Simulações computacionais como ferramenta auxiliar ao ensino de conceitos básicos de eletromagnetismo: elaboração de um roteiro de atividades para professores do Ensino Médio*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática)) — Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Orientadora: Adriana Gomes Dickman.

- 31 ZANETIC, J.; MENEZES, L. C. d. *Física também é cultura*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 1990.
- 32 MONTEIRO, C. S. et al. Proposta do aplicativo "science in the hands" com múltiplas funcionalidades como recurso didático no ensino de física. *Revista do Professor de Física*, v. 9, n. 1, p. 281–305, 2025.
- 33 CASTRO, E. B. O. *Cinemática relativística: construção de uma UEPS para o novo ensino médio por um olhar histórico e com o uso de simulações*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Polo 4, Campus Manaus Centro. 117 p.
- 34 YAMASHITA, F. K. d. S. *Sequência didática para o ensino da cinemática relativística por meio das TIC's*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2020. Campus Manaus Centro. 69 f.
- 35 SOUZA, M. G. de; SERRANO, A. Fomentando a construção de simulações mentais por meio da utilização de slides para o ensino de relatividade especial. *Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino*, v. 4, n. 2, p. 159–182, 2020.
- 36 SOUZA, A. N.; RAMOS, S. C.; RAMOS, J. A. P. Um produto educacional operacionalizado por recursos tdic para o estudo do movimento: Da mecânica clássica à relatividade especial. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 18, n. 4, p. 1–25, 2023.
- 37 REINERT, J. E. *Unidade de ensino potencialmente significativo para o ensino da relatividade especial no ensino médio: uma abordagem com auxílio de recursos digitais*. Dissertação (Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)) — Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2020. Campus Blumenau. 171 p.
- 38 VALADARES, A. d. S. *O tempo de assimilação para a aprendizagem de física moderna no ensino médio: uma investigação interativa com o tema relatividade especial*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) — Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2023. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. 151 f.
- 39 BATISTA, K. R. *O ensino de tópicos de relatividade restrita: uma sequência didática investigativa utilizando vídeos como ferramenta sociocultural*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2025. Campus Manaus Centro. 138 p.
- 40 MENDES, R. W. P. *Teoria da relatividade restrita de Einstein para alunos do ensino médio utilizando filmes de ficção científica como recurso didático*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Polo 4, Campus Manaus Centro. 103 p.
- 41 SOUSA, J. F. d. Monografia (Licenciatura em Física), *A Física nos quadrinhos: um recurso lúdico em potencial para ensino da relatividade na Educação Básica*. Cajazeiras, Paraíba, Brasil: [s.n.], 2023. Centro de Formação de Professores. 160 f.

- 42 GOIS, E.; ORMEZZANO, G. Física moderna e contemporânea numa história em quadrinhos por estudantes do ensino médio. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e4089108239–e4089108239, 2020.
- 43 FEITOSA, L. S. *O lúdico na Física: explicando a Física por meio de super-heróis*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. 160 f.
- 44 MENESES, K. K. S. de et al. Introdução à teoria da relatividade especial mediado por jogo didático. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 6, p. 2578–2585, 2023.
- 45 SOUZA, C. M. C. d. *O ensino da física moderna na relatividade usando o GPS como ferramenta didática*. Dissertação (Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física)) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Polo 4, Campus Manaus Centro. 83 p.
- 46 SOUZA, C. M. C. d.; SALMON, O. D. R. *Produto Educacional: O ensino da física moderna na relatividade usando o GPS como ferramenta didática*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Polo 4, Campus Manaus Centro.
- 47 GODINHO, E. Z. et al. Análise dos conhecimentos de estudantes no ensino médio acerca da teoria da relatividade. *EDUCERE - Revista da Educação da UNIPAR*, v. 21, n. 1, dez. 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.unipar.br/index.php/educere/article/view/8032>>.
- 48 SOUZA, M. G. d. *Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais e concepções de estudantes do Ensino Médio sobre relatividade especial*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2021. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. 185 p.
- 49 BARBOSA, R. d. S. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciada em Ciências: Matemática e Física), *Teoria da Relatividades Restrita: uma introdução histórico-epistemológica e conceitual voltada ao ensino médio*. Itacoatiara (AM): [s.n.], 2023. 49 f.
- 50 SOBRINHO, P. R. F. d. S. *Sequência didática para o ensino médio sobre o tempo: breves implicações filosóficas sobre o tempo e a teoria da relatividade restrita*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2021. Campus Manaus Centro. 120 f.