ALEXANDRIA
Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Compreendendo a abordagem STEM Integrada: subsídios para escolhas epistemológicas, pedagógicas e metodológicas

Understanding the Integrated STEM approach: contributions to epistemological, pedagogical, and methodological choices

Elisangela Muncinelli Caldas Barbosa[1]
https://orcid.org/0000-0002-2731-6617
Flávia Maria Teixeira dos Santos[2]
https://orcid.org/0000-0002-1778-4775

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Farroupilha, Brasil. E-mail: elisangela.caldas@farroupilha.ifrs.edu.br
2. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Educação, Porto Alegre, Brasil. E-mail: flavia.santos@ufrgs.br

Resumo: O movimento STEM diversificou-se ao longo do tempo originando diferentes propostas educacionais, entre elas a abordagem STEM Integrada. Este trabalho apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura com o objetivo de compreender os fundamentos epistemológicos, pedagógicos, metodológicos e avaliativos dessa abordagem. A revisão foi conduzida com o uso da ferramenta Parsifal®, a partir da análise de publicações indexadas nas bases ERIC, Web of Science e Scopus, entre 2013 e 2023. Após o processo de seleção, foram analisados 55 artigos publicados em periódicos internacionais. Os resultados evidenciam que a abordagem STEM Integrada apoia-se em diversos referenciais epistemológicos, coexistindo diferentes perspectivas para compreender a integração entre Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. Indicam a predominância de metodologias ativas, especialmente aquelas fundamentadas na investigação, na resolução de problemas e no desenvolvimento de projetos, com recorrente utilização do *design* de engenharia na organização das práticas. As estratégias de avaliação mostram-se diversificadas e articulam múltiplas fontes de evidência.

Palavras-chave: revisão sistemática de literatura, STEM, fundamentos epistemológicos, abordagem STEM Integrada.

Abstract: The STEM movement has diversified over time, giving rise to different educational approaches, including Integrated STEM Education. This study presents a Systematic Literature Review aimed at understanding the epistemological, pedagogical, methodological, and assessment-related foundations of this approach. The review was conducted using the Parsifal® tool and included publications indexed in the ERIC, Web of Science, and Scopus databases between 2013 and 2023. Following the selection process, 55 articles published in international journals were analyzed. The findings indicate that Integrated STEM Education

Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Florianópolis, v. 19, p. 01-36, 2026.
Universidade Federal de Santa Catarina. ISSN 1982-5153
DOI http://doi.org/10.5007/1982-5153.2026.e107678

draws on multiple epistemological frameworks, with different perspectives coexisting regarding the integration of Science, Technology, Engineering, and Mathematics. They also reveal a predominance of active learning methodologies, particularly those grounded in inquiry, problem-solving, and project development, with engineering design being recurrently used to structure the practices. Assessment strategies are diverse and draw on multiple sources of evidence.

Keywords: systematic literature review, STEM, epistemological foundations, Integrated STEM approach.

Introdução

A análise da literatura apresentada nesta pesquisa permitiu investigar o movimento STEM (acrônimo de *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) no contexto educacional contemporâneo. Foram explorados conceitos, epistemologias, aspectos pedagógicos e metodológicos vinculados à abordagem STEM, buscando fornecer uma visão panorâmica e crítica sobre a origem e o desenvolvimento do movimento STEM. O objetivo é contribuir com esse campo interdisciplinar a partir de lentes analíticas que considerem realidades educacionais diferentes daquelas dos países que deram origem ao movimento. Segundo Bybee (2013), à medida que o movimento STEM se aproxima de diferentes ambientes escolares, os requisitos de clareza e significado se intensificam e se tornam urgentes, ainda que advirta contra a busca por uma definição universalmente aceita.

Neste texto, distinguimos o movimento STEM, entendido como um fenômeno histórico, político, econômico e educacional, da abordagem STEM Integrada, compreendida como uma de suas principais expressões no campo da educação. Embora o acrônimo STEM tenha sido proposto na década de 1990 (Burrows et al., 2018; Sanders, 2009), as raízes históricas do movimento remontam à Guerra Fria e à disputa científica e tecnológica entre Estados Unidos da América (EUA) e União Soviética. Um marco foi o lançamento do satélite Sputnik, que despertou preocupações nos EUA sobre a liderança soviética na exploração espacial (Burrows et al., 2018).

O movimento STEM, em sua dimensão política, surge da reação dos norte-americanos, que promoveram uma reforma educacional com financiamentos robustos para ampliar competências científicas e tecnológicas em vários níveis de ensino, aumentar o interesse por carreiras científicas e garantir supremacia tecnológica. A tecnologia militar impactou na soberania e força econômica do país, já que conhecimento e habilidades nessas áreas são fundamentais para inovação, competitividade global e avanço tecnológico. Ao investir em STEM como movimento econômico, os EUA buscaram moldar uma sociedade preparada para os desafios

futuros, promovendo prosperidade econômica e segurança nacional. Todavia, as facetas política e econômica dependem do sucesso do movimento STEM na sua dimensão educacional, que requer conceitos e ferramentas bem definidos para cumprir os objetivos de atrair jovens para carreiras STEM, formar profissionais qualificados e garantir a hegemonia econômica norte-americana (Burrows et al., 2018; Sanders, 2009).

Embora o movimento STEM tenha origem nos EUA, espalhou-se para outras regiões como Austrália, Canadá, China, Coreia, Japão, Reino Unido e União Europeia, conservando os objetivos políticos e econômicos, mas adotando diferentes sentidos para STEM como movimento pedagógico (Razi & Zhou, 2022).

Esta revisão visa compreender o movimento STEM na sua dimensão educacional, tomando como objeto de análise a abordagem STEM Integrada e seus fundamentos epistemológicos, pedagógicos, metodológicos e avaliativos. Para isso, propõe a investigação de quatro elementos essenciais: 1) esclarecer a definição daabordagem STEM Integrada como ferramenta pedagógica, para compreender suas implicações e desafios no contexto educacional contemporâneo; 2) examinar seus fundamentos epistemológicos para entender como essa perspectiva reconfigura concepções tradicionais de ensino e aprendizagem nas disciplinas STEM; 3) analisar metodologias utilizadas na execução de propostas associadas à abordagem STEM Integrada, identificando potencialidades e limitações na promoção da interdisciplinaridade; e 4) investigar a avaliação da eficiência das práticas STEM na aprendizagem, explorando desafios e nuances na mensuração do impacto educacional dessas práticas.

A partir das respostas às questões da pesquisa, propomos um caminho para compreender o movimento STEM educacional e suas implicações para a prática pedagógica, considerando especificidades, desafios e desigualdades sociais presentes em sistemas educacionais diversos.

Metodologia

A metodologia para a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) baseou-se no protocolo proposto por Kitchenham (2007) que, embora tenha sido projetado para ser utilizado em Revisões Sistemáticas na área de Engenharia de Software, por sua estrutura de organização, possui potencial para ser utilizado em outras áreas. Esse protocolo se caracteriza por três etapas: 1) o planejamento, 2) a condução e 3) o

relato da RSL, com vistas à publicação. A ferramenta Parsifal®[1]foi utilizada para auxiliar no planejamento, na organização, na condução e no registro das etapas da RSL.

A proposta desta RSL foi realizar uma revisão crítica sobre o termo STEM e suas variações, buscando caracterizar a polissemia do seu uso. Buscou-se, ainda, identificar e elucidar seus princípios epistemológicos, metodológicos e avaliativos enquanto abordagem pedagógica, bem como indicar as possíveis estratégias para a realização de atividades STEM em consonância com os princípios estabelecidos nesta RSL, para a formação integral(Ortiz-Revilla et al., 2022) dos estudantes.

A partir da identificação de lacunas relacionadas ao uso do termo STEM, especialmente enquanto abordagem pedagógica, esta RSL pretende responder às questões apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1

Questões de Pesquisa e Motivações

Questões de Pesquisa	Descrição e Motivações
Q1. Qual a definição para STEM enquanto ferramenta pedagógica?	Compreender a interpretação, nos textos selecionados, da abordagem STEM, suas implicações e desafios no contexto educacional contemporâneo.
Q2. Quais os fundamentos epistemológicos da abordagem STEM Integrada?	Examinar nos documentos analisados a presença de um embasamento epistemológico e sua relação com as práticas de ensino e aprendizagem nas áreas correlatas às Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática.
Q3. Quais	Identificar as

[1] O Parsifal® (https://parsif.al/) é uma ferramenta on-line destinada ao planejamento, à condução e à documentação de revisões sistemáticas da literatura. A plataforma permite registrar questões de pesquisa, *strings* de busca, critérios de inclusão e exclusão, avaliação da qualidade dos estudos e etapas de extração de dados. Seu uso auxilia na organização e na rastreabilidade do processo de revisão, podendo ser associado a protocolos e diretrizes de revisão sistemática, como os propostos por Kitchenham (2007) e pelo PRISMA.

	metodologias são utilizadas para executar propostas associadas à abordagem STEM Integrada?	metodologias frequentemente utilizadas e discutir seus potenciais usos e limitações para a efetivação da abordagem STEM Integrada.
	Q4. Como é possível avaliar a eficiência de uma prática STEM na aprendizagem dos estudantes?	Investigar o impacto do modelo de abordagem STEM Integrada e das práticas delineadas em cada estudo no processo de ensino e aprendizagem, por meio das avaliações sugeridas nos respectivos artigos analisados.

As perguntas da RSL e os critérios de elegibilidade foram elaborados conforme critérios PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*), assim descritos: *População:* contempla as publicações revisadas por pares que abordaram e conceituaram o termo STEM e relataram abordagens pedagógicas; *Intervenção:* coletar informações acerca do termo STEM, conceitos, aspectos epistemológicos, metodológicos e avaliativos, na perspectiva da abordagem STEM Integrada; *Comparação*: não se aplica; *Resultados (Outcome):* conceituação ou caracterização da polissemia do termo STEM, os aportes epistemológicos e pedagógicos, as metodologias utilizadas para exequibilidade da abordagem STEM Integrada bem como as formas de avaliação e a eficiência da abordagem; e *Contexto:* abrange qualquer atividade relacionada à educação e/ou a currículos escolares.

As plataformas de busca utilizadas foram Eric (https://eric.ed.gov), ISI Web of Science (http://www.isiknowledge.com) e Scopus (http://www.scopus.com). Essa escolha se deu porque a ISI Web of Science e Scopus são as principais bases de dados para pesquisas científicas (Vera-Baceta et al., 2019) e a base de dados Eric é patrocinada pelo Ministério da Educação dos Estados Unidos da América abrangendo publicações na área da educação.

A *string* de busca foi elaborada a partir das questões de pesquisa e refinada durante a etapa exploratória de elaboração da estratégia de busca.Esse processo permitiu ajustar os descritores utilizados e ampliar a sensibilidade da busca,

resultando nos seguintes descritores ("STEM" OR "STEAM") AND ("Integrated STEM" OR "Integrated STEM Education").

A inclusão do termo STEAM na estratégia de busca teve por objetivo ampliar a recuperação de estudos relacionados às propostas de integração curricular associadasao movimento STEM. Essa opção não pressupõe equivalência conceitual ou epistemológica entre STEM e STEAM. Os estudos recuperados foram posteriormente avaliados segundo os critérios de elegibilidade e incluídos no *corpus* em função de sua aderência às questões de pesquisa desta revisão, e não do acrônimo empregado pelos autores. Dessa forma, artigos identificados como STEAM foram considerados quando contribuíam para compreender as concepções de integração, os fundamentos epistemológicos, as metodologias e os processos de avaliação investigados neste estudo.

A etapa de planejamento e busca da RSL, nas bases de dados, ocorreu no mês de junho de 2023. Aos resultados das buscas, nas bases de dados, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2

Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
1. Artigos em inglês ou espanhol 2. Estudos Primários 3. Artigos que conceituavam o termo STEM 4. Artigos que abordavam uma estrutura teórica para STEM explorando fundamentos epistemológicos, metodológicos e de avaliação. 5. Artigos que faziam referência à abordagem Integrated STEM e/ou STEM Education.	1. Estudos Duplicados 2. Livros, dissertações, teses, resumos (Literatura Cinza) 3. Publicações anteriores a 2013 4. Revisões de Literatura 5. Estudos insuficientes para responder às questões de pesquisa delineadas para essa RSL especialmente por não conceituar STEM e não abordar aspectos epistemológicos, a metodologia e/ou a avaliação utilizadas na abordagem STEM.

A partir do uso da *string* de busca foram obtidos 77 títulos na base de dados Eric, 241 títulos na base de dados ISI Web of Science e 178 títulos na base de dados Scopus, totalizando 496 artigos. Deste total, 164 eram duplicados (Critério 1 de exclusão) e foram excluídos restando para uma primeira análise 332 artigos. A seguir, a partir da análise do título, do resumo e de uma leitura dinâmicados textos, considerando os critérios de exclusão, foram eliminados 175 artigos. Caso houvesse

alguma dúvida, o trabalho era deixado para ser analisado com maior rigor na etapa seguinte. Para avaliar a qualidade, a credibilidade, a abrangência e a relevância dos textos restantes, utilizamos uma ferramenta de pontuação, disponibilizada no Parsifal®, na qual estabelecemos critérios de avaliação da qualidade dos estudos. Todos os 157 artigos foram avaliados em relação a um conjunto de 5 critérios de qualidade. O instrumento de avaliação utilizado é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3

Critérios de Avaliação da Qualidade dos Estudos

Questões
A1. Os autores abordaram a definição STEM?
A2. Os autores discutiram aspectos epistemológicos referentes à STEM?
A3. O artigo aborda a metodologia utilizada para efetivar a abordagem STEM?
A4. O artigo aborda a forma de avaliação da aprendizagem?
A5. O artigo é literatura fundamental no campo de pesquisa?

Cada critério de avaliação da qualidade foi julgado segundo três possibilidades de resposta: “Sim” (1,0 ponto), “Parcialmente” (0,5 ponto) e “Não” (0,0 ponto). A pontuação total (p_t) de cada estudo correspondeu à soma das pontuações obtidas nos cinco critérios de avaliação (A1–A5), podendo variar de 0 a 5 pontos. As pontuações de qualidade dos estudos selecionados compõem as tabelas elaboradas para subsidiar as análises desta revisão.

Os critérios A1 a A4 foram definidos a partir das questões de pesquisa desta RSL. Como complemento, foi incluído o critério A5, destinado a avaliar a circulação do artigo na comunidade acadêmica por meio do número médio de citações por ano ($n_{c/ano}$) desde sua publicação. Para esse critério, atribuiu-se pontuação 0 aos estudos com $n_{c/ano} \leq 1,0$, pontuação 0,5 aos estudos com $1,0 \leq n_{c/ano} \leq 2,0$ e pontuação 1,0aos estudos $n_{c/ano} > 2,0$.

Consideramos que os estudos com pontuação total (p_t) ≤ a 3,0 fossem excluídos, de acordo com o critério 5de exclusão. Após essa etapa, o corpus final foi composto por 55 estudos submetidos à leitura integral e à extração sistemática dos dados da revisão. As informações foram organizadas em uma matriz analítica contendo características do corpus, como nível de ensino, metodologia empregada, formas de avaliação e país de realização da pesquisa. Essas informações tiveram caráter descritivo e permitiram caracterizar o conjunto de estudos incluídos na

revisão. A organização do corpus é apresentada como Material Suplementar. Embora todos os 55 estudos tenham sido analisados, a mobilização individual dos artigos na discussão ocorreu de acordo com sua contribuição para responder às questões de pesquisa da revisão.

Em seguida, os dados foram interpretados à luz dos pressupostos da análise de conteúdo (Bardin, 2011), tomando as questões de pesquisa como eixo estruturante da síntese. Assim, as categorias descritivas utilizadas na caracterizaçãodo *corpus* não corresponderam às categorias de apresentação dos resultados. Os resultados são apresentados em função das quatro questões formuladas para esta RSL.

Resultados

Considerando a natureza exploratória da pesquisa, apresentamos uma discussão ampla que acreditamos ser um tratamento mais flexível e capaz de capturar a complexidade e a diversidade do movimento educacional STEM nos diferentes contextos pesquisados. Os resultados foram organizados em torno das questões de pesquisa da revisão sistemática, constituindo uma síntese analítica das evidências identificadas, e não uma descrição individual de todos os estudos do *corpus*. Assim, aspectos contextuais como percepções dos participantes, interesse por carreiras STEM e condições de implementação subsidiaram a interpretação das evidências sintetizadas, ainda que nem sempre fossem discutidos individualmente ao longo do texto.

Quais as Definições para STEM enquanto Ferramenta Pedagógica?

A definição mais encontrada para introduzir a discussão acerca de STEM vincula-se com sua origem, nos EUA, que está relacionada ao foco político que enfatiza a necessidade de uma educação em Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática capaz de sustentar a competitividade dos países na economia global a partir da força de trabalho produzida por profissionais qualificados nas áreas STEM (English, 2017; Hallström & Ankiewicz, 2023; Reynante et al., 2020). Neste contexto, as definições são relativamente claras, traduzidas em políticas e investimentos direcionados para promover o avanço dessas áreas e impulsionar a inovação e o desenvolvimento.

Quando se trata do movimento educacional STEM, as definições se tornam mais ambíguas. No âmbito deste estudo, nos referimos ao "movimento educacional STEM" como uma designação que contempla a variedade de estratégias, de metodologias e de objetivos das iniciativas voltadas para a integração curricular dessas áreas, destacando a necessidade de uma abordagem multifacetada para abranger as complexidades inerentes ao processo educativo em diferentes contextos educacionais.

Ao longo do tempo, diferentes interesses, perspectivas e críticas foram incorporados ao movimento educacional STEM, favorecendo o surgimento de novos acrônimos[2](Toma & García-Carmona, 2021). Essa diversidade de siglas sinaliza a ausência de uma definição única para a abordagem educacional STEM e qual a sua efetiva contribuição para a educação científico-tecnológica para além da mera junção de conteúdos de diferentes disciplinas.

A partir da revisão de literatura, trazemos algumas propostas para definir STEM enquanto abordagem pedagógica. Kelley & Knowles (2016) atribuem à abordagem STEM Integrada a sigla iSTEM e defendem que o ensino de dois ou mais domínios STEM deve estar vinculado a práticas autênticas com o propósito de conectar essas disciplinas tornando-as relevantes para professores e alunos. Assim, visa propiciar aprendizagem conceitual e compreensão de novos contextos que refletem a natureza multidisciplinar e interdisciplinar do trabalho dos profissionais de STEM (Chalmers et al., 2017; Gardner & Tillotson, 2019). Complementarmente, English (2016) menciona que as disciplinas STEM, no Sistema K-12[3], não podemnem devem ser ensinadas de forma isolada porque no mundo real ou na força de trabalho elas estão conectadas e que é necessário avançar em pesquisas para auxiliar estudantes e professores a fazerem conexões significativas entre as disciplinas através de currículos adequados.

Com base no trabalho de Bybee (2013), vários autores como Hallström e Ankiewicz (2023) e Ortiz-Revilla et al. (2020) chamam a atenção para uma espécie de amadurecimento em STEM no campo educacional, que se mostra capaz de fomentar a alfabetização dos alunos nas diversas disciplinas constituintes, por meio da integração mais ou menos extensa dos conhecimentos que surgem deles. De forma complementar, Hallström e Schönborn (2019) indicam que a abordagem

[2]STEAM: Ciência, Tecnologia, Engenharia, Arte e Matemática; iSTEM: inclui imaginação ao termo STEM; iSTEM também é utilizado para definir STEM Integrado(RAZI; ZHOU, 2022); STREAM: Propostas STEM aliadas à robótica, ST®E(A)M(S)Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática, Arte, Educação para a sustentabilidade e integração curricular.

[3]Sistema K-12 EUA corresponde aos Ensino Fundamental e Médio, no Brasil. Os estudantes iniciam no *Elementary School* (1º- 4º anos), depois vem o *Middle School* (do 5º- 8º anos) e, por fim, o *High School* (do 9º - 12º anos).

STEM Integrada deve estar atrelada à perspectiva de desenvolvimento individual do estudante habilitando-o a identificar problemas do mundo real a partir da compreensão das disciplinas STEM. De forma mais contundente, Ortiz-Revilla et al. (2022) defendem que uma abordagem educacional não deve se curvar aos imperativos econômicos, mas se empenhar na promoção de uma ampla gama de competências capazes de promover o desenvolvimento integral dos estudantes para que atinjam a cidadania plena na sociedade em que estão inseridos.

No âmbito da abordagem STEM Integrada, com frequência, a Ciência é o foco principal das práticas (Hourigan et al., 2022), enquanto as demais disciplinas desempenham a função de suporte. Embora haja críticas sobre a ausência,especialmente da Engenharia (Hallström & Schönborn, 2019; Reynante et al., 2020), nas práticas relacionadas à abordagem STEM Integrada, a faceta educacional do STEM tem sido relatada e implementada através do prisma da Engenharia, destacando-se especialmente o papel do *design* de engenharia[4](Bertrand & Namukasa, 2023; Dare et al., 2021; Lin et al., 2022; Thibaut et al., 2018; Zhou et al., 2022). Nesse sentido, Ortiz-Revilla et al. (2020) e Zhou et al. (2022) alertam para a compreensão da abordagem STEM Integrada como diversas disciplinas escolares integradas ao *ethos* da engenharia, entendido como *design*de engenharia e não como uma disciplina.

Essa interpretação centrada no *design* de engenharia implica que o movimento educacional STEM deve incorporar a integração de fatores instrucionais adicionais, como pensamento crítico, comunicação eficaz, colaboração, competências cognitivas avançadas (Bertrand & Namukasa, 2023; Dare et al., 2021; Razi & Zhou, 2022) e, complementarmente, a geração de novos conhecimentos e habilidades essenciais na resolução dos desafios sociais, econômicos e ambientais emergentes (Hallström & Ankiewicz, 2023; Hong et al., 2019; Lupinacci & Happel-Parkins, 2017; Ortiz-Revilla et al., 2022). Os fatores instrucionais citados, claramente, remetem às habilidades do século XXI[5]. Verificamos ênfase no conceito de STEM Integrada como fundamental para o desenvolvimento das habilidades do século XXI de maneira generalizada em vários trabalhos (Corlu & Aydin, 2016; Dong et al., 2020; Sarican & Akgunduz, 2018; Hallström & Ankiewicz, 2023; Hong et al.,

[4] Neste documento, a expressão "design de engenharia" refere-se ao processo descrito em Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013), entendido como uma prática própria da engenharia voltada à definição de problemas, desenvolvimento, teste e otimização de soluções. Essa concepção distingue-se do *Design Thinking*, metodologia de inovação centrada no usuário, mantida neste manuscrito apenas quando utilizada explicitamente pelos estudos analisados.

[5] Utilizamos a expressão "habilidades do século XXI" para nos referirmos ao conjunto de competências relacionadas à resolução de problemas, criatividade, pensamento crítico, colaboração e comunicação, conforme discutido por *National Research Council (2012)*.

2019; Leung, 2020; Ortiz-Revilla et al., 2020; Priemer et al., 2020; Tuong et al., 2023; Yaki, 2022).

A abordagem STEM Integrada, fundamentada no *design* de engenharia, juntamente com as competências do século XXI, propicia a expansão do acrônimo para STEAM, que incorpora a Arte. Ao abranger uma gama mais ampla de interesses dos alunos busca-se promover a equidade no acesso à educação STEM (Yaki, 2022), aumentando o interesse dos jovens por essas carreiras e favorecendo o envolvimento dos estudantes historicamente marginalizados em STEM (Bertrand e Namukasa, 2023; Chu et al., 2019; Dare et al., 2021; English, 2017; Ortiz-Revilla et al., 2020).

Segundo Yakman (2008), a abordagem educacional STEAM é um modelo em que a ciência é estudada de forma integrada com outras disciplinas do currículo como a matemática e as humanidades. Esta ampliação do acrônimo, de STEM para STEAM, incorpora a cultura em diversas dimensões, como a arte, a música e as perspectivas sociais, enriquecendo as vivências de aprendizagem dos alunos e os aspectos afetivos do processo de ensino-aprendizagem.

> Compreendemos que a adoção de diferentes acrônimos (como STEM e STEAM) expressa debates relevantes acerca dos fundamentos, das finalidades e dos limites das propostas de integração curricular. Embora essas distinções sejam importantes e reflitam diferentes posicionamentos no campo, elas não constituem o foco deste artigo. Nossa opção foi privilegiar a análise do movimento STEM em sua dimensão educacional, concentrando a discussão nos fundamentos epistemológicos que sustentam as diferentes propostas de integração, independentemente do acrônimo adotado. Entendemos que é a perspectiva epistemológica assumida pelo pesquisador ou professor que orienta as escolhas pedagógicas, metodológicas e avaliativas e, consequentemente, confere sentido à abordagem educacional implementada.

Quais os Fundamentos Epistemológicos da Abordagem STEM Integrada?

O interesse em explorar as epistemologias que guiam o movimento educacional STEM surge da concepção de que compreender os aspectos epistemológicos é fundamental tanto para orientar o processo de ensino e aprendizagem, quanto para entender o papel, a importância e os valores associados à abordagem STEM Integrada ao optar por implementá-la. Poucos dos artigos

analisados apresentam de forma explícita uma proposta epistemológica para a abordagem STEM Integrada.

Ortiz-Revilla et al. (2020) propõem uma estrutura teórica baseada na filosofia da ciência pós-kuhniana e na visão semântica das teorias científicas. O pós-kuhnianismo, ao rejeitar o positivismo lógico, reconhece o caráter histórico, linguístico e social das práticas científicas. A visão semântica, por sua vez, oferece ferramentas para compreender a modelagem científica como construção contextualizada, possibilitando sua aplicação às demais áreas STEM.

A partir desses referenciais, Ortiz-Revilla et al. (2020) propõem o modelo *seamless web*, ou "rede contínua", que considera as particularidades e as inter-relações entre ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Esta concepção epistemológica propõe compreender o movimento educacional STEM como um empreendimento humano situado e plural, orientado por valores como equidade, justiça social e cidadania. A proposta visa, assim, deslocar o enfoque tradicional, marcado por imperativos econômicos, para uma orientação pedagógica crítica e transformadora.

Como referência estrutural, os autores adotam os *Next Generation Science Standards* (NGSS), propostos pelo *National Research Council* dos Estados Unidos, que definem três dimensões essenciais para a integração STEM: (1) práticas científicas e de engenharia; (2) temas transversais; e (3) ideias centrais disciplinares. Os autores também recorrem à abordagem de semelhança de família (*Family Resemblance Approach* – FRA) para descrever a ciência como um conjunto de disciplinas com características comuns, mas com especificidades. Com base em Irzik e Nola (2014), os autores destacam o caráter cognitivo e social da ciência, sustentado por metodologias, normas éticas e valores institucionais.

Complementando essa discussão, Reynante et al. (2020) investigam as epistemologias disciplinares de STEM e reforçam a necessidade de articulação entre elas. A matemática, tradicionalmente racionalista, incorpora elementos do empirismo por meio da modelagem e ciência de dados. A ciência, ancorada no empirismo, também é interpretada por perspectivas construtivistas, enquanto a engenharia se apresenta como uma disciplina pragmática, voltada para a concepção e o desenvolvimentode soluções. Essa diversidade epistemológica demanda uma articulação que reconheça as singularidades de cada campo e promova convergências significativas no contexto educacional.

Em consonância com os NGSS, Reynante et al. (2020) identificam temas transversais como comunicação, modelagem, uso de dados e resolução de

problemas como pontos de convergência entre as disciplinas STEM. Embora reconheçam a inter-relação entre essas áreas, enfatizam a necessidade de preservar suas epistemologias específicas, propondo uma composição mais multidisciplinar do que plenamente integrada. A tecnologia, por sua ubiquidade e indefinição como disciplina, foi excluída dessa análise (Kelley & Knowles, 2016).

Outros autores também buscaram caracterizar a natureza do STEM a partir das epistemologias disciplinares. Gardner e Tillotson (2019), Quinn et al. (2020) e Zhou et al. (2022), por exemplo, identificam que o *design*de engenharia é um elemento central na epistemologia da engenharia e, por extensão, uma possível base para a abordagem STEM integrada. Razi e Zhou (2022) destacam que uma epistemologia do *design* de engenharia aliada ao construtivismo pode ampliar as possibilidades de aprendizagem por meio da produção criativa e da resolução contextualizada de problemas reais.

Hallström e Schönborn (2019) defendem o uso da modelagem como uma ferramenta epistemológica comum às disciplinas STEM, capaz de transcender fronteiras disciplinares e fomentar a cooperação interdisciplinar. Assim como Ortiz-Revilla et al. (2020) e Reynante et al. (2020), os autores reconhecem a proximidade prática entre os campos STEM, ainda que mantenham fundamentos epistemológicos distintos.

Os artigos discutem as epistemologias alinhadas às práticas que os profissionais STEM desenvolvem e propõem a integração entre as práticas em comum que moldam os profissionais de cada área, pensando nisso para uma espécie de transposição do campo profissional para o STEM enquanto movimento educacional. Essa transposição visa a uma integração e colaboração entre as áreas, mas parece manter o status de cada campo, prevalecendo uma composição multidisciplinar em vez da integração disciplinar. Encontramos no artigo de Ortiz-Revilla et al. (2020), no modelo de teia contínua, uma proposta que preconiza borrar as fronteiras dos campos epistemológicos com maior ênfase que os trabalhos de Hallström e Schönborn (2019), Reynante et al. (2020).

Em estudo mais recente, Ortiz-Revilla et al. (2022) propõem uma estrutura epistemológica fundamentada na filosofia de Larry Laudan. Para o autor, o progresso científico depende da capacidade de resolução de problemas das teorias, sendo determinada por uma rede triádica de objetivos, métodos e teorias. Essa perspectiva implica que os valores e propósitos da investigação científica influenciam diretamente os métodos adotados e, consequentemente, as teorias produzidas.

Outros estudos, embora de maneira menos explícita, têm dialogado com epistemologias construtivistas. Autores como Burrows et al. (2018), Corlu e Aydin (2016), Nguyen et al. (2020) e Yaki et al. (2019) abordam a aprendizagem STEM por meio de atividades centradas no estudante. Hong et al. (2019) destacam a influência do pensamento de John Dewey, sobretudo sua ênfase na aprendizagem por experiência.

Tan et al. (2023) também recorrem a Dewey (1938) e Bereiter (1992) para sustentar uma abordagem epistemológica do STEM Integrado. Para esses autores, Dewey oferece uma base sólida para compreender a relação entre investigação científica e resolução prática de problemas do cotidiano. Bereiter, por sua vez, diferencia dois tipos de conhecimento: centrado no referente e centrado no problema. O primeiro estrutura-se em torno de tópicos específicos; o segundo organiza-se a partir de problemas complexos, demandando investigação e aplicação interdisciplinar. A combinação desses tipos de conhecimento promove uma aprendizagem mais profunda, crítica e contextualizada.

Pleasants (2020) reforça a influência de Dewey no movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), destacando sua ênfase na conexão entre educação e problemas reais da sociedade (DeBoer, 1991; Yager, 1996). Segundo o autor, embora CTS e STEM compartilhem preocupações com a realidade social, o primeiro prioriza aspectos éticos, culturais e políticos, enquanto o segundo se concentra nas disciplinas específicas, com foco técnico.

Chalmers et al. (2017) situam a abordagem STEM Integrada nas teorias construtivistas de Piaget (1985), Bruner (1966) e Bereiter e Scardamalia (2010), defendendo que o ensino deve ser estruturado em torno de grandes ideias, compreendidas como conceitos estruturantes e formas de pensamento características das disciplinas STEM, capazes de promover conexões significativas entre Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. Os autores argumentam que os estudantes devem ser inseridos nas formas de pensar próprias das disciplinas STEM para compreender seus discursos e se engajar de forma legítima nesses campos.

Compreender os pressupostos epistemológicos que permeiam a abordagem STEM Integrada é essencial para embasar as práticas educacionais e cumprir com o objetivo de formação integral dos estudantes, além de auxiliar nas facetas econômica e política do movimento. Na próxima seção, buscamos apresentar as metodologias mais utilizadas dentro dessa abordagem e fornecer um panorama das

estratégias e práticas pedagógicas empregadas, nos trabalhos analisados, na abordagem STEM Integrada.

Quais as Metodologias Utilizadas para Executar Propostas Associadas à Abordagem STEM Integrada?

Após investigarmos a definição da abordagem STEM Integrada e seus fundamentos epistemológicos, constatamos que há uma relação explícita com práticas e estratégias pedagógicas que investem na multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade. Essa relação tem como objetivo contribuir para a formação integral dos estudantes e impactar nos objetivos originais de ampliar o contingente de profissionais em STEM e favorecer o desenvolvimento econômico das nações que empreendem essa abordagem educacional.

Grande parte dos artigos utilizados nessa RSL aponta para a abordagem STEM Integrada como uma forma viável de preparar os alunos para a resolução de problemas do mundo real, em uma sociedade global, que enfrenta desafios sociais e ambientais complexos. Percebemos que a resolução de problemas não necessariamente é concebida como metodologia, mas como estratégia para propor os questionamentos e desafios aos estudantes, sendo executada em conjunto com outras metodologias. Essa RSL levantou que a abordagem STEM Integrada pode ser operacionalizada a partir de metodologias ativas que são amplamente conhecidas como: aprendizagem baseada em projetos (Corlu & Aydin, 2016; Hudson et al., 2015; Kertil & Gurel, 2016; Sheffield et al., 2017), modelos e modelagem (Hallström & Schönborn, 2019; Kertil & Gurel, 2016; Ortiz-Revilla et al., 2020), resolução de problemas (Bartholomew et al., 2019; Burrows et al., 2018; Dare et al., 2021; Pimthong e Williams, 2021; Priemer et al., 2020; Sarican e Akgunduz, 2018; Yaki, 2022), ensino por investigação (Chalmers et al., 2017; Kahar et al., 2022; Ortiz-Revilla et al., 2022), projeto e *design de engenharia* (Bertrand & Namukasa, 2023; Chalmers et al., 2017; English, 2017, 2019; Hudson et al., 2015; Karahanet al., 2015; Lin et al., 2022; Nguyen et al., 2020; Ortiz-Revilla et al., 2020, 2022; Quinn et al., 2020; Razi & Zhou, 2022; Tan et al., 2023; Wu et al., 2019), entre outras (Dong et al., 2020;Hong et al., 2019; Lupinacci & Happel-Parkins, 2017).

A metodologia de investigação científica, nos trabalhos analisados, é sinônimo de investigação guiada ou investigação orientada. A investigação científica desenvolve habilidades de alfabetização científica (Bybee, 2013), pois orienta os estudantes através de um processo estruturado que explora situações problema, formula hipóteses, coleta e analisa dados e propõe conclusões. Também auxilia no

desenvolvimento de habilidades de compreensão conceitual, comunicação, colaboração e resolução de problemas que são essenciais para a alfabetização científica (Kahar et al., 2022; Ortiz-Revilla et al., 2022).

Os modelos e a modelagem são ferramentas essenciais para simplificar aspectos da realidade, incluindo resolução de problemas, previsão, tomada de decisão e comunicação científica. Essas representações podem assumir diferentes níveis de complexidade, desde desenhos, esquemas e diagramas até modelos matemáticos e computacionais. A capacidade de criar, aplicar, avaliar e revisar modelos é essencial para desenvolver uma compreensão dos processos de desenvolvimento tecnológico e prática científica. Conforme Hallström e Schönborn,(2019) e Kertil e Gurel, (2016), essas habilidades representam um componente central da aprendizagem em ambientes educacionais de tecnologia, matemática e ciências.

O Projeto e o *design* de engenharia interagem fortemente para a efetivação da abordagem STEM Integrada, conforme relatamos na primeira seção da discussão dos resultados deste trabalho, fornecendo a estrutura e o planejamento necessários para transformar conceitos em realidade funcional(English, 2019). Eles se alinham na medida em que os alunos são incentivados a aplicar conhecimentos STEM, a refletir sobre suas ações e a tomar decisões para alcançar soluções para situações problema.

Embora a abordagem STEM Integrada, complementada por metodologias ativas, seja defendida como uma estratégia para capacitar os estudantes a enfrentarem os desafios de uma sociedade em constante transformação, levando em consideração as dimensões políticas, sociais e ambientais, observamos uma lacuna significativa nas atividades STEM encontradas na literatura. Há predominância de práticas que parecem focar em projetos e *design* de engenharia voltados para questões tecnológicas, carecendo, em nossa percepção, de uma integração efetiva das dimensões sociais, políticas e/ou ambientais.

Dentro do contexto da abordagem STEM Integrada, é essencial reconhecer a diversidade de enfoques adotados pelos diferentes estudos. Assim, não buscamos limitar o alcance das práticas STEM, tampouco classificá-las como corretas ou incorretas. É possível notar que alguns trabalhos (Bertrand e Namukasa, 2023; English, 2017, 2019; Hudson et al., 2015; Ortiz-Revilla et al., 2022), tendem a se concentrar predominantemente em questões tecnológicas, explorando a interdisciplinaridade, os avanços e desafios por esse viés. Por outro lado, há trabalhos (Chalmers et al., 2017; Kahar et al., 2022; Lupinacci & Happel-Parkins,

2017; Suratno et al., 2020; Tan et al., 2023; Tuong et al., 2023) que exploram as dimensões política, social e ambiental, enriquecendo o debate e a compreensão sobre a interseção entre as disciplinas STEM.

As metodologias ativas revelam-se importantes estratégias para a operacionalização da abordagem STEM Integrada. Entretanto, a compreensão de seu potencial educativo depende também da forma como seus resultados são investigados. Nesse sentido, a seção seguinte analisa as estratégias empregadas para avaliar a aprendizagem em práticas STEM Integradas. Como nem todos os estudos que descrevem essas práticas apresentam informações suficientes sobre seus processos avaliativos, a discussão concentra-se no subconjunto de artigos que explicita os procedimentos de avaliação, os instrumentos utilizados e as evidências produzidas, permitindo responder à quarta questão de pesquisa.

Como é Possível Avaliar a Eficiência de uma Prática STEM na Aprendizagem dos Estudantes?

A resposta para esta questão de pesquisa foi construída a partir da análise de 11 estudos do *corpus* que descreveram explicitamente os procedimentos empregados para avaliar a aprendizagem em práticas STEM Integradas. Os estudos evidenciam que as diferentes propostas pedagógicas mobilizam objetos de avaliação distintos e, consequentemente, recorrem a estratégias de avaliação compatíveis com seus objetivos educacionais. Enquanto alguns estudos concentraram suas avaliações na aprendizagem de conhecimentos específicos, como Yaki et al. (2019), outros ampliaram esse escopo para diferentes dimensões da aprendizagem. Hudson et al. (2015) investigaram conhecimentos, habilidades, atitudes e envolvimento; Burrows et al. (2018), práticas científicas, argumentação, comunicação e colaboração; Corlu e Aydin (2016), habilidades investigativas e aprendizagem percebida; e Yaki (2022), pensamento crítico. Dimensões atitudinais e relacionadas ao envolvimento dos estudantes também foram contempladas por Karahan et al. (2015), por meio de atitudes, engajamento e colaboração, e por Chen e Chang (2018), que avaliaram, além dos conhecimentos STEM, interesse, percepções e orientação profissional.Em conjunto, esses resultados evidenciam uma compreensão multidimensional da aprendizagem e indicam que sua avaliação em práticas STEM Integradas não pode ser reduzida à mensuração de conhecimentos disciplinares, devendo contemplar diferentes dimensões do desenvolvimento dos estudantes.

As práticas identificadas apresentam elevado grau de diversidade, abrangendo desafios de engenharia, projetos investigativos, resolução de problemas contextualizados, investigações científicas, ensino integrado de conteúdos específicos e projetos STEAM *Maker*. Essa diversidade evidencia que os procedimentos de avaliação foram desenvolvidos em contextos pedagógicos bastante distintos, o que contribui para explicar a diversidade de objetos, instrumentos e estratégias metodológicas observadas no *corpus*. A Tabela 4 sintetiza essas práticas, os respectivos objetos de avaliação, as estratégias metodológicas adotadas e as principais evidências produzidas em cada estudo.

Tabela 4

Síntese das práticas pedagógicas STEM Integradas, contextos de implementação, estratégias de avaliação da aprendizagem e principais evidências produzidas e limitações dos estudos analisados

Estudo e contexto	Prática e objeto avaliado	Procedimentos de avaliação	Principais evidências
Estudo: Chalmers et al. (2017) País: Austrália Nível de ensino: Ensino[6] Fundamental (anos finais)	Prática STEM Integrada: Projeto, construção e teste de um veículo de resgate para terrenos acidentados. Objeto avaliado: Aprendizagem ao longo da unidade; avaliação formativa e somativa.	Delineamento metodológico: Estrutura conceitual para a abordagem STEM Integrada Instrumentos: Diários; relatórios; demonstrações; testes do protótipo; relatório final. Análise dos dados: Estrutura conceitual integrando avaliação formativa e somativa.	Propõe uma estrutura para planejar unidades STEM Integradas que articula conceitos e formas de pensamento característicos das disciplinas STEM, atividades de aprendizagem e avaliação, fundamentada em currículos, documentos orientadores e literatura especializada sobre integração curricular e avaliação.
Estudo: Hudson et al. (2015) País: Austrália Nível de ensino: Ensino Fundamental (anos iniciais)	Prática STEM Integrada: Construção e teste de kit médico integrando Ciências, Matemática e Engenharia. Objeto avaliado: Conhecimentos científicos e matemáticos; habilidades; atitudes; envolvimento.	Abordagem: Estudo qualitativo. Instrumentos: Produções dos estudantes; observações; fotografias; respostas escritas; entrevista. Análise dos dados: Análise qualitativa interpretativa.	Evidenciou mobilização de conhecimentos científicos e matemáticos, desenvolvimento de habilidades e elevado envolvimento.

[6] Os níveis de ensino utilizados nos estudos primários correspondem à organização dos sistemas educacionais de seus respectivos países, especialmente dos Estados Unidos, e não possuem equivalência exata com a estrutura da educação brasileira. Para fins de apresentação na Tabela 4, adotou-se a seguinte correspondência aproximada: elementary school - Ensino Fundamental (anos iniciais); middle school - Ensino Fundamental (anos finais); high school - Ensino Médio; e higher education - Ensino Superior. Trata-se de uma aproximação, e não de uma equivalência estrita.

Estudo e contexto	Prática e objeto avaliado	Procedimentos de avaliação	Principais evidências
Autor: Karahan et al. (2015) País: Turquia Nível de ensino: Ensino Fundamental (anos finais)	Prática STEM Integrada: Produção de anúncios de utilidade pública sobre genética, força, movimento e estrutura da matéria por meio do design de mídia. Objeto avaliado: Atitudes e experiências de aprendizagem.	Abordagem: Pesquisa-ação com métodos mistos. Instrumentos: Questionário de atitudes dos estudantes (Student Attitude Survey); entrevistas; artefatos; notas de campo. Análise dos dados: Wilcoxon; η^2; alfa de Cronbach; análise temática.	Melhora das atitudes, engajamento, colaboração e aprendizagem.
Estudo: Burrows et al. (2018) País: EUA Nível de ensino: Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio	Prática STEM Integrada: Investigação da recuperação ambiental de um rio, em espaço não formal de aprendizagem. Objeto avaliado: Práticas científicas e de Engenharia.	Abordagem: Pesquisa-ação qualitativa. Instrumentos: Observações; grupos focais; diário; pôsteres. Análise dos dados: Codificação temática; triangulação.	Fortaleceu investigação científica, argumentação, comunicação e colaboração.
Estudo: Corlu e Aydin (2016) País: Turquia Nível de ensino: Ensino Superior	Prática STEM Integrada: Projetos investigativos integrando Física, Matemática, Engenharia e computação, entre eles, investigação da variação da cafeína no café em função do tempo de extração. Objeto avaliado: Habilidades investigativas e aprendizagem percebida.	Abordagem: Estudo multimétodos com predominância quantitativa. Instrumentos: LGEF; WSRP; autoavaliação; avaliação por pares; avaliação docente; relatórios; provas. Análise dos dados: Estatística descritiva; correlação de Pearson; tamanho de efeito; alfa de Cronbach; análise qualitativa.	Maior consistência das avaliações por pares e evidências de aprendizagem autorrelatada.
Estudo: Suratno et al. (2020) País: Indonésia Nível de ensino: Ensino Médio	Prática STEM Integrada: Desenvolvimento de soluções para secagem de grãos de café. Objeto avaliado: Resolução de problemas e desempenho acadêmico.	Abordagem: Estudo quantitativo com análise correlacional. Instrumentos: Testes de resolução de problemas; testes de desempenho. Análise dos dados: Estatística descritiva; correlação de Spearman.	Estudantes com maior capacidade de resolução de problemas apresentaram melhor desempenho acadêmico.

Estudo e contexto	Prática e objeto avaliado	Procedimentos de avaliação	Principais evidências
Estudo: Chen e Chang (2018) País: Taiwan Nível de ensino: Ensino Médio	Prática STEM Integrada: Construção e otimização de veleiro robótico com Arduino e design de engenharia. Objeto avaliado: Conhecimentos STEM; interesse; percepções; orientação profissional; desempenho dos protótipos.	Abordagem: Estudo de métodos mistos com grupo experimental e grupo de comparação. Instrumentos: Teste de conhecimentos; questionários; avaliação dos protótipos; questões abertas. Análise dos dados: Teste t; ANCOVA; KR-20 (consistência interna); alfa de Cronbach; κ (concordância entre avaliadores); análise temática.	O grupo experimental apresentou melhor desempenho em conhecimentos STEM, interesse, percepções sobre STEM Integrado e orientação profissional.
Estudo: Yaki et al. (2019) País: Nigéria Nível de ensino: Ensino Médio	Prática STEM Integrada: Aprendizagem de Genética baseada em um problema autêntico - desenvolvimento de solução para mitigar a extinção de uma espécie e produção de modelo de uma lebre modificada. Objeto avaliado: Desempenho em Genética.	Abordagem: Estudo quantitativo quase experimental com grupo experimental e grupo controle. Instrumentos: Teste de Genética (40 itens). Análise dos dados: ANCOVA; ANOVA; teste t.	O grupo experimental apresentou desempenho significativamente superior ao grupo controle em Genética. A intervenção beneficiou estudantes dos diferentes níveis de habilidade acadêmica, com maior ganho médio de aprendizagem entre aqueles de menor habilidade inicial.
Estudo: Yaki (2022) País: Nigéria Nível de ensino: Ensino Médio	Prática STEM Integrada: Aprendizagem de Genética a partir da investigação de uma situação familiar com características genéticas inesperadas, orientada pelo modelo 5E. Objeto avaliado: Pensamento crítico.	Abordagem: Estudo quantitativo quase experimental com grupo experimental e grupo controle. Instrumentos: Teste de pensamento crítico. Análise dos dados: MANOVA; Lambda de Wilks; tamanho de efeito.	O grupo experimental apresentou melhora significativa nas cinco dimensões do pensamento crítico e desempenho superior ao grupo controle após a intervenção.

Estudo e contexto	Prática e objeto avaliado	Procedimentos de avaliação	Principais evidências
Estudo: Bertrand e Namukasa (2023) País: Canadá Nível de ensino: Ensino Fundamental (anos iniciais e finais)	Prática STEM Integrada: Unidades STEAM Maker em quatro programas escolares e não escolares, com produção de artefatos e protótipos, incluindo robôs e sistemas para estudar variação de pressão. Objeto avaliado: Aprendizagem matemática.	Abordagem: Estudo de casos qualitativo. Instrumentos: Entrevistas; observações; documentos; fotografias. Análise dos dados: Análise documental; triangulação; apoio do software NVivo.	Propõe o modelo STEAM Maker Learning para explicitar a aprendizagem matemática.
Estudo: Tuong et al. (2023) País: Vietnã Nível de ensino: Ensino Médio	Prática STEM Integrada: Construção de rampa para cadeira de rodas utilizando trigonometria e design de engenharia. Objeto avaliado: Aplicação da Matemática; resolução de problemas; habilidades do século XXI.	Abordagem: Estudo de métodos mistos. Instrumentos: Questionários; grupos focais; observações. Análise dos dados: Estatística descritiva; análise temática; apoio do software NVivo.	Percepções positivas sobre aplicação da Matemática, resolução de problemas e habilidades do século XXI.

Nota: Arduino = plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto; LGEF (*Learning Gains Evaluation Form*) = formulário para avaliação dos ganhos de aprendizagem percebidos; WSRP (*Writing a Scientific Research Paper*) = instrumento para avaliação da redação de artigos científicos; ANCOVA = análise de covariância; ANOVA = análise de variância; MANOVA = análise multivariada de variância; KR-20 = coeficiente Kuder-Richardson para avaliação da consistência interna; teste *t* = teste *t* de Student; κ = coeficiente kappa de Cohen (concordância entre avaliadores); η^2 = eta quadrado (tamanho de efeito); Modelo 5E= *Engage, Explore, Explain, Elaborate and Evaluate* (do português: Envolver, Explorar, Explicar, Elaborar e Avaliar) proposto por Bybee (2010) NVivo = software de apoio à análise qualitativa de dados.

A análise do *corpus* demonstra que as estratégias de avaliação foram definidas em função dos objetivos de aprendizagem de cada intervenção, excluindo-se a adoção de um protocolo de avaliação específico. Estudos voltados à mensuração do desempenho recorreram a testes de conhecimento e a delineamentos comparativos ou quase experimentais (Chen & Chang, 2018; Yaki et

al., 2019; Yaki, 2022), enquanto pesquisas interessadas em compreender os processos de aprendizagem mobilizaram observações, entrevistas, grupos focais, análise de documentos e de artefatos produzidos pelos estudantes (Hudson et al., 2015; Burrows et al., 2018; Bertrand & Namukasa, 2023). Em diversos casos, essas estratégias foram utilizadas de forma combinada, articulando dados quantitativos e qualitativos para produzir evidências complementares sobre a aprendizagem (Karahan et al., 2015; Corlu & Aydin, 2016; Chen & Chang, 2018; Tuong et al., 2023).

Os resultados obtidos refletem diretamente a diversidade dos objetos de avaliação investigados. O melhor desempenho em conhecimentos relacionados aos conteúdos trabalhados nas intervenções foi identificado por Chen e Chang (2018) e Yaki et al. (2019), enquanto Suratno et al. (2020) verificaram que estudantes com maior capacidade de resolução de problemas apresentaram melhor desempenho acadêmico. Corlu e Aydin (2016) produziram evidências autorrelatadas sobre ganhos de aprendizagem e identificaram maior consistência nas avaliações realizadas por pares. Burrows et al. (2018) identificaram avanços na participação em práticas científicas e de Engenharia, e Yaki (2022) encontrou melhorias nas diferentes dimensões do pensamento crítico. Além disso, Karahan et al. (2015) e Chen e Chang (2018) registraram evidências relacionadas ao engajamento, às atitudes e ao interesse dos estudantes durante o desenvolvimento das atividades. Em conjunto, esses resultados indicam que a avaliação da aprendizagem em práticas STEM Integradas ultrapassa a mensuração do desempenho acadêmico e incorpora dimensões cognitivas, procedimentais e atitudinais.

Os próprios estudos também reconhecem limitações em seus procedimentos de avaliação. Parte deles concentrou a avaliação em objetos específicos, como conteúdos disciplinares (Yaki et al., 2019) ou competências particulares (Suratno et al., 2020). Outros apresentaram limitações decorrentes do delineamento metodológico, como a impossibilidade de comparar diretamente os ganhos em conhecimentos STEM entre os grupos (Chen e Chang, 2018) e a ausência de distribuição aleatória dos estudantes entre os grupos experimental e controle (Yaki, 2022). Além disso, estudos baseados predominantemente em abordagens qualitativas (Burrows et al., 2018; Bertrand e Namukasa, 2023) não produziram medidas quantitativas de aprendizagem, restringindo a comparação dos resultados com pesquisas de delineamento experimental ou quase experimental.

Em síntese, a revisão evidencia que a literatura não converge para um instrumento ou protocolo único de avaliação. O principal padrão identificado entre os

estudos consiste na utilização de múltiplas fontes de evidência, articuladas de acordo com os objetivos educacionais de cada intervenção. Assim, as evidências analisadas sugerem que a eficiência de práticas STEM Integradas pode ser avaliada por meio de estratégias coerentes com os objetivos educacionais de cada intervenção, mobilizando múltiplas fontes de evidência capazes de contemplar diferentes dimensões da aprendizagem.

Considerações Finais

O Movimento STEM: Análise e Reflexão

A presente revisão de literatura analisou artigos que tratam da abordagem educacional STEM Integrada. Esse recorte foi delineado pelos objetivos iniciais da pesquisa, mas também conformado pelos achados consistentes e recorrentes ao longo da investigação. Buscamos: i) esclarecer a definição de STEM como uma ferramenta pedagógica, de modo a compreender suas implicações e desafios no contexto educacional contemporâneo; ii) examinar os fundamentos epistemológicos subjacentes à abordagem STEM Integrada, para compreender como essa perspectiva reconfigura concepções tradicionais de ensino e aprendizagem nas disciplinas de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática; iii) analisar as metodologias utilizadas na execução de propostas associadas à abordagem STEM Integrada, identificando suas potencialidades e limitações na promoção da interdisciplinaridade; e iv) investigar a avaliação da eficiência das práticas STEM na aprendizagem dos estudantes, explorando os desafios e nuances envolvidos na mensuração do impacto educacional dessas abordagens.

Conforme o panorama apresentado nos resultados, a RSL abrangeu trabalhos científicos de diferentes escopos, envolvendo atividades práticas aplicadas em salas de aula dos níveis primário, secundário e superior, atividades em espaços não formais e artigos que propuseram uma estrutura para a abordagem, incluindo publicações de diferentes países. Compreendemos que os aspectos epistemológicos, metodológicos e de avaliação relacionados à abordagem STEM Integrada podem ser interpretados através de lentes analíticas qualitativas. Essa abordagem metodológica flexível permeia diferentes metodologias, valorizando a adaptaçãocontextual e a recombinação de diversos

elementos para a construção do conhecimento. Consideramos que pesquisadores e professores elaboram e implementam estruturas para a abordagem STEM Integrada a partir dos campos teóricos em que são especializados e de suas vivências, o que explica a diversidade de estruturas propostas.Essa interpretação decorre da análise conjunta das quatro dimensões investigadas, que evidenciou a coexistência de diferentes concepções de STEM Integrada, sem que se configurasse um modelo único de referência.

A diversidade de estruturas para a STEM Integrada não apresenta uma evolução cronológica linear nem restrita a determinados contextos nacionais. Ao contrário, diferentes perspectivas epistemológicas e pedagógicas coexistem no período analisado, razão pela qual optamos por organizar a discussão a partir dos fundamentos das propostas educacionais.

O movimento STEM possui conceitos bem estabelecidos em suas facetas econômica e política. Os documentos analisados apontam que o movimento está vinculado ao engajamento dos estudantes para que escolham e permaneçam nas carreiras STEM, contribuindo para fortalecer a economia dos países, especialmente por meio de inovações tecnológicas. Concordamos com a afirmação de Sanders (2009) de que STEM sem Educação é uma simples referência aos campos de atuação de cientistas, engenheiros e matemáticos. A dimensão educacional do movimento define sua eficácia, sendo fundamental para a integração coesa entre as facetas política, educacional e econômica, que se espera que este movimento promova.

Embora reconheçamos que a origem do movimento STEM está na interseção entre política, economia e educação, a análise dos estudos que discutem os fundamentos epistemológicos evidenciouelementos consistentes a favor de uma abordagem que privilegie questões socioambientais em detrimento das econômicas. A abordagem STEM Integrada deve promover a conscientização e a ação em torno de desafios globais, como mudanças climáticas, sustentabilidade ambiental e justiça social. Dessa forma, a educação se torna um componente chave para a formação de cidadãos críticos e responsáveis, capazes de aplicar seus conhecimentos científicos e tecnológicos para resolver problemas reais e urgentes. Parece essencial que as decisões políticas sejam

fundamentadas em informações que contemplem a diversidade cultural e antropológica dos estudantes, além das questões de estrutura física e profissional, pois tanto o ambiente escolar quanto ambientes informais de aprendizagem, devidamente estruturados, podem cumprir os objetivos do movimento STEM. Esta perspectiva não só reforça a coesão da tríade política-economia-educação, mas também amplia o alcance e a relevância do movimento, preparando os estudantes para contribuírem de forma significativa para um futuro mais sustentável e equitativo.

Com isso, a síntese dos estudos permitiu identificar aproximações entre as abordagens STEM Integrada e STEAM (Yakman, 2008), que desde sua concepção, se insere como abordagem no campo da educação. Yakman (2008) propõe uma estrutura educacional que valoriza a aprendizagem contínua, a integração interdisciplinar, a exploração de unidades multidisciplinares autênticas e o desenvolvimento de habilidades especializadas, com o objetivo de proporcionar uma educação integral e significativa aos estudantes.

Por fim, os resultados desta revisão indicam que a abordagem STEM Integrada pode incorporar dimensões sociais, culturais, artísticas e humanísticas, independentemente da ampliação formal do acrônimo para STEAM. Essa interpretação decorre especialmente da análise das definições de STEM Integrada e dos fundamentos epistemológicos identificados na literatura, que evidenciaram uma valorização crescente de aspectos sociais, culturais e humanísticos da formação.

Os dados do PISA (Programa Internacional de Avaliação dos Estudantes), vinculado à OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), mostram que estudantes de países e economias que investem em uma educação integradora — como Canadá, Dinamarca, Finlândia, Hong Kong, Macau, Irlanda, Japão, Coreia do Sul, Letônia e Reino Unido — apresentam maior proficiência em matemática, leitura e ciência. Esse resultado, além de ser um preditivo significativo de que a condição socioeconômica impacta a equidade na educação, revela que, nos Estados Unidos, país de origem do movimento STEM, observa-se dificuldade persistente em melhorar esses índices, mesmo com consideráveis investimentos em programas focados exclusivamente em STEM. Isso parece indicar que a visão epistemológica presente na abordagem STEM Integrada favorece uma educação mais holística e

eficaz, capaz de preparar os estudantes de forma mais abrangente para os desafios contemporâneos (OECD, 2023a, 2023b).

Aanálise dos resultados de diferentes países em exames de larga escala nos serve como elemento complementar de reflexão reforçando a aproximação,adotada neste documento, à abordagem STEM Integrada.

Referências

Bardin, L. (2011). *Análise de Conteúdo*. Edições 70.

Bartholomew, S. R., Moon, C., Ruesch, E. Y., & Strimel, G. J. (2019). Kindergarten student's approaches to resolving open-ended design tasks. *Journal of Technology Education*, *30*(2), 90–115. https://doi.org/10.21061/jte.v30i2.a.6

Bereiter, C. (1992). Referent-centred and problem-centred knowledge: Elements of an educational epistemology. *Interchange*, *23*(4), 337–361. https://doi.org/10.1007/BF01447280

Bereiter, C., & Scardamalia, M. (2010). Can children really create knowledge? *Canadian Journal of Learning and Technology,* 36(1), 1–15. https://doi.org/10.21432/T2ZP43

Bertrand, M. G., & Namukasa, I. K. (2023). A pedagogical model for STEAM education. *Journal of Research in Innovative Teaching and Learning*, 16(2), 169–191. https://doi.org/10.1108/JRIT-12-2021-0081

Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.

Burrows, A., Lockwood, M., Borowczak, M., Janak, E., & Barber, B. (2018). Integrated STEM: Focus on informal education and community collaboration through engineering. *Education Sciences*, 8(1), 4. https://doi.org/10.3390/educsci8010004

Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, *70*(1), 30–35.

Bybee, R. W. (2013). What is your perspective of STEM education? In *The case for STEM education: Challenges and opportunities* (pp. 74–80). NSTA Press.

Chalmers, C., Carter, M, Cooper, T., & Nason, R. (2017). Implementing "big ideas" to advance the teaching and learning of science, technology, engineering, and mathematics (STEM). *International Journal of Science and Mathematics Education*, *15*(Suppl 1), 25–43. https://doi.org/10.1007/s10763-017-9799-1

Chen, Y., & Chang, C. C. (2018). The impact of an integrated robotics STEM course with a sailboat topic on high school students' perceptions of integrative STEM, interest, and career orientation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *14*(12). https://doi.org/10.29333/ejmste/94314

Chu, H. E., Martin, S. N., & Park, J. (2019). A theoretical framework for developing an intercultural STEAM program for Australian and Korean students to enhance science teaching and learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1251–1266. https://doi.org/10.1007/s10763-018-9922-y

Corlu, M. A., & Aydin, E. (2016). Evaluation of learning gains through integrated STEM projects. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, *4*(1), 20– 29. https://doi.org/10.18404/ijemst.35021

Dare, E. A., Keratithamkul, K., Hiwatig, B. M., & Li, F. (2021). Beyond content: The role of STEM disciplines, real-world problems, 21st-century skills, and STEM careers within science teachers' conceptions of integrated STEM education. *Education Sciences*, *11*(11), 737. https://doi.org/10.3390/educsci11110737

DeBoer, G. E. (1991). *A history of ideas in science education: Implications for practice*. Teachers College Press.

Dong, Y., Wang, J., Yang, Y., & Kurup, P. M. (2020). Understanding intrinsic challenges to STEM instructional practices for Chinese teachers based on their beliefs and knowledge base. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 47. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00245-0

Dewey, J. (1938). *Experience and education*. The Macmillan Company.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3, 3. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1

English, L. D. (2017). Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(Suppl. 1), 5–24. https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x

English, L. D. (2019). Learning while designing in a fourth-grade integrated STEM problem. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(5), 1011–1032. https://doi.org/10.1007/s10798-018-9482-z

Gardner, M., & Tillotson, J. W. (2019). Interpreting integrated STEM: Sustaining pedagogical innovation within a public middle school context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1283–1300. https://doi.org/10.1007/s10763-018-9927-6

Hallström, J., & Ankiewicz, P. (2023). Design as the basis for integrated STEM education: A philosophical framework. *Frontiers in Education*, 8, 1–8. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1078313

Hallström, J., & Schönborn, K. J. (2019). Models and modelling for authentic STEM education: Reinforcing the argument. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/s40594-019-0178-z

Hong, H. Y., Lin, P. Y., Chen, B., & Chen, N. (2019). Integrated STEM learning in an idea-centered knowledge-building environment. *Asia-Pacific Education Researcher*, 28(1), 63–76. https://doi.org/10.1007/s40299-018-0409-y

Hourigan, M., O'Dwyer, A., Leavy, A. M., & Corry, E. (2022). Integrated STEM–A step too far in primary education contexts? *Irish Educational Studies*, 41(4), 687–711. https://doi.org/10.1080/03323315.2021.1899027

Hudson, P., English, L., Dawes, L., King, D., & Baker, S. (2015). Exploring links between pedagogical knowledge practices and student outcomes in STEM education for primary schools. *Australian Journal of Teacher Education, 40*(6), 133–151. https://doi.org/10.14221/ajte.2015v40n6.8

Irzik, G., & Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 999–1021). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_30

Kahar, M. S., Susilo, Abdullah, D., & Oktaviany, V. (2022). The effectiveness of the integrated inquiry guided model STEM on students' scientific literacy abilities. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 13*(1), 1667–1672. https://doi.org/10.22075/IJNAA.2022.5782

Karahan, E., Canbazoglu-Bilici, S., & Unal, A. (2015). Integration of media design processes in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education. *Eurasian Journal of Educational Research, 60*, 221–240. https://doi.org/10.14689/ejer.2015.60.15

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 1– 11. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z

Kertil, M., & Gurel, C. (2016). Mathematical modeling: A bridge to STEM education. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, 4*(1), 44– 55. https://doi.org/10.18404/ijemst.95761

Kitchenham, B.(2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. (EBSE Technical Report EBSE-2007-01). Keele University & University of Durham.

Leung, A. (2020). Boundary crossing pedagogy in STEM education. *International Journal of STEM Education, 7*(1), 1– 12. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00212-9

Lin, P. Y., Chai, C. S., Di, W., & Wang, X. (2022). Modeling Chinese teachers' efficacies for the teaching of integrated STEM with interdisciplinary communication and epistemic fluency. *Frontiers in Psychology, 13*, 1– 13. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.908421

Lupinacci, J., & Happel-Parkins, A. (2017). Ecocritically (Re)Considering STEM: Integrated ecological inquiry in teacher education. *Issues in Teacher Education, 26(3)*, 52–64.

National Research Council. (2012). *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13398

NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*.The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/18290

Nguyen, T. P. L., Nguyen, T. H., & Tran, T. K. (2020). STEM education in secondary schools: Teachers' perspective towards sustainable development. *Sustainability, 12*(21), 1–16. https://doi.org/10.3390/su12218865

OECD (2023a).*PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity ineducation.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/53f23881-en

OECD. (2023b). *PISA 2022 results (Volume II): Learning during – and from – disruption*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/a97db61c-en

Ortiz-Revilla, J., Adúriz-Bravo, A., & Greca, I. M. (2020). A framework for epistemological discussion on integrated STEM education. *Science & Education, 29*(4), 857–880. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00131-9

Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriassecq, I. (2022). A theoretical framework for integrated STEM education. *Science & Education, 31*(2), 383–404. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x

Piaget, J. (1985). *The equilibration of cognitive structures: The central problem of intellectual development* (T. Brown & K. J. Thampy, Trans.). University of Chicago Press.

Pimthong, P., & Williams, P. J. (2021). Methods course for primary level STEM preservice teachers: Constructing integrated STEM teaching. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 17*(8), 1–14. https://doi.org/10.29333/ejmste/11113

Pleasants, J. (2020). Inquiring into the nature of STEM problems: Implications for pre-college education. *Science & Education, 29*(4), 831–855. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00135-5

Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rösken-Winter, B., Tiemann, R., & Upmeier Zu Belzen, A. (2020). A framework to foster problem-solving in STEM and computing education. *Research in Science & Technological Education, 38*(1), 105–130. https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1600490

Quinn, C. M., Reid, J. W., & Gardner, G. E. (2020). S + T + M = E as a convergent model for the nature of STEM. *Science & Education, 29*(4), 881–898. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00130-w

Razi, A., & Zhou, G. (2022). STEM, iSTEM, and STEAM: What is next? *International Journal of Technology in Education, 5*(1), 1–29. https://doi.org/10.46328/ijte.119

Reynante, B. M., Selbach-Allen, M. E., & Pimentel, D. R. (2020). Exploring the promises and perils of integrated STEM through disciplinary practices and epistemologies. *Science & Education, 29*(4), 785–803. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00121-x

Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher, 68*(4), 20–26.

Sarican, G., & Akgunduz, D. (2018). The impact of integrated STEM education on academic achievement, reflective thinking skills towards problem-solving and permanence in learning in science education. *Cypriot Journal of Educational Sciences, 13*(1), 94– 113. https://doi.org/10.18844/cjes.v13i1.3322

Sheffield, R., Koul, R., Blackley, S., & Maynard, N. (2017). Makerspace in STEM for girls: A physical space to develop twenty-first-century skills. *Educational Media International, 54*(2), 148–164. https://doi.org/10.1080/09523987.2017.1362812

Suratno, Wahono, B., Chang, C. Y., Retnowati, A., & Yushardi. (2020). Exploring a direct relationship between students' problem-solving abilities and academic achievement: A STEM education at a coffee plantation area. *Turkish Journal of Science Education, 17*(2), 211–224. https://doi.org/10.36681/tused.2020.22

Tan, A. L., Ong, Y. S., Ng, Y. S., & Tan, J. H. J. (2023). STEM problem-solving: Inquiry, concepts, and reasoning. *Science & Education, 32*(2), 381–397. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00310-2

Thibaut, L., Knipprath, H., Dehaene, W., & Depaepe, F. (2018). The influence of teachers' attitudes and school context on instructional practices in integrated STEM education. *Teaching and Teacher Education, 71*, 190–205. https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.12.014

Toma, R. B., & García-Carmona, A. (2021). «Of STEM we like everything but STEM». A critical analysis of a buzzing educational trend. *Enseñanza de las Ciencias, 39*(1), 65–80. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093

Tuong, H. A., Nam, P. S., Hau, N. H., Tien, V. T. B., Lavicza, Z., & Hougton, T. (2023). Utilising STEM-based practices to enhance mathematics teaching in Vietnam: Developing students' real-world problem-solving and 21st-century skills. *Journal of Technology and Science Education, 13*(1), 73–91. https://doi.org/10.3926/jotse.1790

Vera-Baceta, M. A., Thelwall, M., & Kousha, K. (2019). Web of Science and Scopus language coverage. *Scientometrics, 121*(3), 1803–1813. https://doi.org/10.1007/s11192-019-03264-z

Wu, B., Hu, Y., & Wang, M. (2019). Scaffolding design thinking in online STEM preservice teacher training. *British Journal of Educational Technology, 50*(5), 2271–2287. https://doi.org/10.1111/bjet.12873

Yager, R. E. (Ed.). (1996). *Science/technology/society as reform in science education.*State University of New York Press.

Yaki, A. A. (2022). Fostering critical thinking skills using integrated STEM approach among secondary school biology students. *European Journal of STEM Education, 7*(1), Article 06. https://doi.org/10.20897/ejsteme/12481

Yaki, A. A., Saat, R. M., Sathasivam, R. V., & Zulnaidi, H. (2019). Enhancing science achievement utilizing an integrated STEM approach. *Malaysian Journal of Learning and Instruction, 16*(1), 181–205.https://doi.org/10.32890/mjli2019.16.1.8

Yakman, G. (2008). STEAM education: An overview of creating a model of integrative education. In M. J. de Vries (Ed.), PATT-17 and PATT-19 Proceedings (pp.335–358). ITEEA.

Zhou, D., Gomez, R., Wright, N., Rittenbruch, M., & Davis, J. (2022). A design-led conceptual framework for developing school integrated STEM programs: The Australian context. *International Journal of Technology and Design Education, 32*(1), 383–411. https://doi.org/10.1007/s10798-020-09619-5

NOTAS

COMPREENDENDO A ABORDAGEM STEM INTEGRADA: SUBSÍDIOS PARA ESCOLHAS EPISTEMOLÓGICAS, PEDAGÓGICAS E METODOLÓGICAS

Elisangela Muncinelli Caldas Barbosa
Doutora em Química
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Farroupilha, Brasil elisangela.caldas@farroupilha.ifrs.edu.br
https://orcid.org/0000-0002-2731-6617

Flávia Maria Teixeira dos Santos
Doutora em Educação
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Educação, Porto Alegre, Brasil flavia.santos@ufrgs.br
https://orcid.org/0000-0002-1778-4775

Elisangela Muncinelli Caldas Barbosa é professora efetiva do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Farroupilha, desde 2013. Possui graduação em Química Bacharelado e Licenciatura (2003) e Mestrado em Química Aplicada pela Universidade Estadual do Centro Oeste (2009) e doutorado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2014). Fez pós-doutorado na Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, entre 2023 e 2024, com um período da pesquisa tendo sido realizado na Universidade de Burgos, Espanha. Ingressou na Educação Básica em 2004, atuando nos níveis médio e Superior, com experiência na docência, na pesquisa e extensão. Seus interesses de pesquisa concentram-se na formação de professores, abordagens para o ensino-aprendizagem de Ciências e de Química.

Flávia Maria Teixeira dos Santos é Professora Titular da Faculdade de Educação, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Licenciada em Química pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Formiga (1990), Mestre em Educação pela Universidade Federal de Santa Catarina (1996) e Doutora em Educação pela Universidade Federal de Minas Gerais (2001). Fez pós-doutorado no Instituto de Educação da Universidade de Londres, de 2011 a 2012. Foi professora da Educação Básica por 13 anos e, desde 2001, atua na educação superior, com experiência na docência, na pesquisa e extensão. Seus interesses de pesquisa concentram-se na formação de professores, dinâmica das interações, interações discursivas em sala de aula e ensino-aprendizagem de Química.

Endereço de correspondência do principal autor

Avenida São Vicente, 785, CEP 95174-274, Farroupilha, RS, Brasil.

AGRADECIMENTOS
Não se aplica.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA
Concepção e elaboração do manuscrito: E. M. Caldas, F. M. T. dos Santos
Coleta de dados: E. M. Caldas
Análise de dados: E. M. Caldas
Discussão dos resultados: E. M. Caldas, F. M. T. dos Santos
Revisão e aprovação: E. M. Caldas, F. M. T. dos Santos

CONJUNTO DE DADOS DE PESQUISA
Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no artigo e na seção “Materiais suplementares”.

FINANCIAMENTO
Este estudo contou com o apoio do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil) por meio da chamada CNPq/MCTI Nº 10/2023, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS/Brasil) e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS/Brasil).

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM
Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES
Não se aplica.

LICENÇA DE USO
Os autores cedem à revista **Alexandria** os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a Licença Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 International. Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

PUBLISHER
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Publicação no Portal de Periódicos UFSC. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

HISTÓRICO
Recebido em: 27-07-2025 – Aprovado em: 26-08-2026 – Publicado em: 06-11-2026