

A Robótica Educacional (RE) no Ensino Médio público: desafios formativos e pedagógicos para sua integração curricular¹

Educational Robotics (ER) in public High Schools: formative and pedagogical challenges for curricular integration

La Robótica Educativa (RE) en la Educación Secundaria pública: desafíos formativos y pedagógicos para su integración curricular

DOI: 10.54901/educa.v9-523

Wanderley Rodrigo de Souza²
Prof. Dr. João Marcos Borges Mattos³

RESUMO: A Robótica Educacional (RE) tem sido apontada como estratégia pedagógica com potencial para promover a aprendizagem ativa, o pensamento computacional e a articulação entre teoria e prática no Ensino Médio. Contudo, modelos consolidados na literatura internacional sobre integração tecnológica — como o TPACK (Mishra; Koehler, 2006) e o quadro de barreiras de primeira e segunda ordem (Ertmer, 1999) — não articulam de modo integrado as dimensões epistemológica, curricular e institucional que condicionam a sustentabilidade dessa integração ao longo do tempo. Este ensaio teórico, construído a partir de revisão narrativa da literatura nacional e internacional publicada entre 2006 e 2025 nas bases SciELO, ERIC, Portal de Periódicos da CAPES e Google Scholar, examina essa lacuna à luz das orientações da Base Nacional Comum Curricular, discutindo as tensões entre inovação tecnológica e cultura escolar historicamente compartimentalizada. Argumenta-se que a consolidação da Robótica Educacional exige articulação sequencial entre fundamentos epistemológicos, reorganização curricular e sustentação institucional sistêmica, e que a fragilidade de qualquer um desses eixos compromete a continuidade dos demais. Como síntese analítica, propõe-se o Modelo Conceitual de Integração Estrutural da Robótica Educacional (MCI-RE), que formula essa hipótese de interdependência sequencial e sistematiza as condições necessárias para a incorporação da RE como prática curricular transformadora e sustentável no Ensino Médio público.

Palavras-chave: Robótica Educacional; pensamento computacional; formação docente; Ensino Médio; integração curricular; tecnologias digitais.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico contemporâneo impõe transformações significativas às instituições escolares, exigindo que as tecnologias digitais deixem de ser meros suportes instrumentais para se tornarem espaços de construção ativa do conhecimento. Wing (2006), ao

¹ O presente ensaio integra pesquisa de mestrado profissional em Gestão, Planejamento e Ensino, em andamento.

² Mestrando em Gestão, Planejamento e Ensino, Centro Universitário UninCor, Alegre, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: wrstelematica@gmail.com

³ Pós-Doutor em Reabilitação Oral, Centro Universitário UninCor, Três Corações, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: matteduc76@gmail.com

sistematizar o conceito de pensamento computacional, antecipou que a capacidade de decompor problemas, reconhecer padrões e formular soluções algorítmicas constituiria habilidade fundamental para a formação cidadã no século XXI — perspectiva que tem orientado reformas curriculares em diferentes contextos nacionais (Voogt; Knezek, 2008). No Brasil, a incorporação qualificada dessas tecnologias demanda revisão das práticas pedagógicas e das concepções tradicionais de ensino, ainda fortemente marcadas por modelos organizacionais de inspiração industrial, nos quais o professor ocupa posição central como transmissor de conteúdos e o estudante assume papel predominantemente receptivo.

Nesse cenário, a Robótica Educacional (RE) emerge como estratégia pedagógica com potencial para articular conhecimentos científicos, tecnológicos e investigativos em práticas que favorecem o protagonismo discente e o desenvolvimento do pensamento computacional. Revisões sistemáticas internacionais têm evidenciado o potencial da RE para promover aprendizagem ativa, motivação e engajamento (Benitti, 2012), ao mesmo tempo em que identificam limitações recorrentes: curta duração das intervenções, ausência de integração curricular sustentada e lacunas nos referenciais que orientam a implementação (Alimisis, 2013). No contexto brasileiro, tal perspectiva dialoga com as orientações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que enfatiza a cultura digital como dimensão constitutiva da formação integral no Ensino Médio. Contudo, a efetiva integração curricular da robótica nas escolas públicas ainda enfrenta entraves relacionados à formação docente, às condições estruturais e à própria cultura institucional.

A implementação da RE não se reduz à aquisição de equipamentos ou à adoção de linguagens de programação. Ela implica deslocamentos epistemológicos e organizacionais que tensionam práticas consolidadas, especialmente em contextos marcados por organização curricular compartimentalizada e por lógicas avaliativas centradas na reprodução de conteúdos. Ertmer (1999), ao propor a distinção entre barreiras de primeira e segunda ordem para a integração de tecnologias educacionais, evidenciou que os obstáculos mais resistentes não são os de ordem técnica ou material, mas os de ordem cultural e epistemológica — crenças docentes, culturas institucionais e concepções de ensino arraigadas. Essa perspectiva evidencia por que a mera disponibilização de recursos tecnológicos não assegura transformação pedagógica efetiva. A transição para o Novo Ensino Médio — reforma curricular instituída pela Lei nº 13.415/2017, que reorganiza a etapa em áreas de conhecimento e itinerários formativos — introduz, ademais, novas demandas e ambiguidades quanto ao papel das tecnologias educacionais na formação dos estudantes.

A análise da literatura nacional e internacional revela, contudo, uma lacuna específica: embora estudos venham examinando dimensões isoladas da integração da RE — formação docente, infraestrutura, currículo ou cultura escolar —, ainda são escassos os quadros conceituais que articulem essas dimensões de modo integrado e explicitem as condições de sua interdependência sistêmica (Alimisis, 2013; Benitti, 2012). Modelos amplamente adotados na literatura de tecnologia educacional, como o TPACK (Mishra; Koehler, 2006), abordam o conhecimento tecnológico-pedagógico do professor, mas não incorporam a dimensão institucional e curricular como variável estruturante. Tal fragmentação analítica dificulta a compreensão de por que intervenções bem-sucedidas em contextos isolados frequentemente não produzem transformação sistêmica duradoura — fenômeno que o presente ensaio busca precisamente examinar.

Diante desse contexto, este ensaio tem como objetivo propor o Modelo Conceitual de Integração Estrutural da Robótica Educacional (MCI-RE) como quadro analítico de nível sistêmico-institucional que supre a lacuna identificada na literatura: a ausência de modelos que expliquem, mecanicamente, por que a fragilidade em qualquer uma das dimensões — epistemológica, curricular ou institucional — compromete a sustentabilidade das demais, mesmo quando recursos e formação docente estão disponíveis. Argumenta-se que a consolidação da RE como prática curricular transformadora exige articulação sequencial e coerente entre fundamentos epistemológicos, reorganização curricular e sustentação institucional sistêmica — condição que os modelos existentes não capturam de modo integrado.

Do ponto de vista metodológico, o estudo caracteriza-se como ensaio teórico construído a partir de revisão narrativa da literatura nacional e internacional, conduzida nas bases de dados SciELO, ERIC, Portal de Periódicos da CAPES e Google Scholar. Os descritores utilizados — em português e inglês — incluíram: robótica educacional, educational robotics, pensamento computacional, computational thinking, formação docente e tecnologia, teacher education technology, integração curricular, curricular integration e ensino médio / secondary education. O período de cobertura abrangeu publicações entre 2006 e 2025, com ênfase em estudos posteriores a 2015. Adotaram-se como critérios de inclusão: (a) publicações em periódicos revisados por pares indexados no Scopus, Web of Science ou SciELO; (b) documentos oficiais do Ministério da Educação; e (c) estudos teóricos ou empíricos que abordassem ao menos uma das três dimensões analíticas centrais ao modelo proposto. Foram excluídos relatos de experiência sem fundamentação teórica explícita e artigos restritos a aspectos técnicos de programação sem interface pedagógica. A seleção foi realizada por um dos autores e verificada

por revisão cruzada, tendo como critério analítico a contribuição ao debate sobre as condições estruturais — e não apenas instrumentais — da integração da RE.

2 ROBÓTICA EDUCACIONAL E FORMAÇÃO DOCENTE NO CONTEXTO BRASILEIRO

A trajetória da robótica pedagógica no Brasil encontra fundamentos teóricos no construcionismo de Seymour Papert, segundo o qual a aprendizagem é potencializada quando o estudante se envolve na construção de artefatos tangíveis e socialmente significativos (Papert, 1980). Essa perspectiva, posteriormente retomada por estudos nacionais sobre robótica educacional e pensamento computacional (Cardoso; Trentin; Mendonça Neto, 2025), permanece atual: revisões internacionais sobre o tema confirmam que o valor pedagógico da robótica depende menos do artefato tecnológico em si do que da qualidade da mediação docente sobre o processo de construção (Benitti, 2012). A partir dos anos 2000, essa área ganha maior visibilidade no país, consolidando eventos, pesquisas e espaços institucionais voltados à troca de experiências e à difusão de práticas inovadoras.

Atualmente, o cenário nacional caracteriza-se pela coexistência de kits comerciais proprietários, amplamente difundidos em redes privadas, e pela crescente adoção de plataformas de hardware livre, que possibilitam projetos de menor custo e maior flexibilidade pedagógica (Andrade; Ramalho, 2024). Essa diversidade de recursos amplia as possibilidades didáticas, mas também tensiona a atuação docente. Nesse sentido, a democratização do acesso também passa por questões de gênero, como discutido por Castro et al. (2023) ao analisarem o impacto de oficinas de robótica com Arduino especificamente para o público feminino no Ensino Médio público. O quadro 1 sintetiza as principais diferenças entre esses modelos de recursos tecnológicos no contexto da formação docente.

Quadro 1. Comparativo de modelos de recursos tecnológicos na formação docente

Critério de comparação	Kits comerciais (ex.: LEGO)	Plataformas de hardware livre (ex.: Arduino)
Acessibilidade financeira	Alto custo, restrito a instituições com maior aporte financeiro	Baixo custo, viável para a rede pública
Interface e usabilidade	Interface intuitiva, com programação em blocos simplificada	Maior exigência de conhecimentos em eletrônica e lógica textual
Autonomia e customização	Dependência de componentes proprietários	Alta autonomia, com possibilidade de reuso de lixo eletrônico
Foco pedagógico	Prototipagem rápida e desafios pré-definidos	Prototipagem autoral e resolução de problemas reais

Fonte: Elaboração própria, com base em Afecto, Moretti e Teixeira (2024), Andrade e Ramalho (2024), Cardoso, Trentin e Mendonça Neto (2025), Silva, Gonzatti e Böckel (2019), Vilaça e Santos (2024).

Nesse processo, o professor deixa de ocupar exclusivamente o papel de transmissor de conteúdo para assumir a função de mediador e facilitador da aprendizagem, auxiliando os estudantes na coleta, organização e problematização das informações (Silva; Gonzatti; Böckel, 2019; Silva; Carbo, 2024). Contudo, muitos docentes demonstram insegurança diante dessas tecnologias, sobretudo por não terem tido contato significativo com elas em sua formação inicial (Silva; Pazuch, 2024). Esse padrão de insegurança não é exclusivo do contexto brasileiro: Ertmer (1999) distingue, na literatura internacional sobre integração tecnológica, barreiras de primeira ordem — relacionadas a acesso, tempo e suporte técnico — de barreiras de segunda ordem, associadas a crenças pedagógicas, autoconfiança profissional e concepções arraigadas sobre o papel do professor. A insegurança docente diante da robótica configura-se, nesses termos, predominantemente como barreira de segunda ordem: ainda que kits e formações técnicas estejam disponíveis, a apropriação pedagógica efetiva depende de mudança nas crenças do professor sobre sua própria autoridade e função em sala de aula.

A falta de versatilidade pedagógica frente às tecnologias digitais configura-se, assim, como lacuna crítica. As inovações educacionais frequentemente conduzem o professor a uma "zona de risco", caracterizada pelo desconforto diante do novo, o que pode resultar na cristalização de práticas tradicionais quando não há suporte institucional adequado. Nesse sentido, a formação continuada precisa ultrapassar o viés meramente técnico, priorizando a reflexão crítica sobre a própria práxis docente e sobre os sentidos pedagógicos do uso da tecnologia (Silva; Carbo, 2024). Tal exigência converge com a literatura internacional sobre desenvolvimento profissional docente: Desimone (2009) demonstra que formações eficazes compartilham características centrais — foco em conteúdo específico, aprendizagem ativa, coerência com as práticas e crenças prévias dos professores, duração prolongada e participação coletiva —, condições raramente presentes em capacitações pontuais e instrumentais sobre o uso de kits de robótica.

Para que a integração curricular da robótica seja efetiva, faz-se necessário investir em formações que contemplem essas características e favoreçam a criação de situações didáticas desafiadoras (Cardoso; Trentin; Mendonça Neto, 2025). Abordagens como o STEAM mostram-se estratégicas ao promoverem a interdisciplinaridade e a articulação entre teoria e prática (Afecto; Moretti; Teixeira, 2024). Sem esse suporte formativo — caracterizado pela duração, coerência e participação coletiva indicadas por Desimone (2009) — e sem diretrizes institucionais claras, o uso da tecnologia tende a permanecer restrito a uma perspectiva instrumental e mecânica.

Conclui-se, portanto, que o sucesso dos projetos de Robótica Educacional depende diretamente do engajamento e da qualificação do corpo docente, considerado o recurso mais relevante para mobilizar o interesse e a motivação dos estudantes (Silva et al., 2025). Torna-se imprescindível que as políticas públicas assegurem não apenas a disponibilização de kits tecnológicos, mas programas estruturados de formação continuada que valorizem a autoria, a autonomia e o protagonismo docente — características que, como discutido, distinguem barreiras de segunda ordem superadas de barreiras meramente contornadas pela disponibilidade técnica de recursos.

3 TENSÕES ENTRE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E CULTURA ESCOLAR

A introdução da Robótica Educacional nas escolas públicas brasileiras não representa apenas a incorporação de novos artefatos tecnológicos ao cotidiano pedagógico, mas a confrontação de uma estrutura escolar historicamente consolidada sob lógica organizacional de matriz industrial. Tal configuração, marcada por organização curricular compartimentalizada, controle do tempo didático e centralidade do professor como principal agente transmissor do conhecimento, tende a operar segundo princípios de previsibilidade, padronização e eficiência — elementos que se chocam com a natureza experimental, colaborativa e aberta das práticas de robótica (Cardoso; Trentin; Mendonça Neto, 2025).

A cultura escolar, compreendida como o conjunto de normas, valores, rotinas e expectativas que regulam o funcionamento institucional, exerce forte influência sobre os limites da inovação pedagógica. Tal resistência corrobora o argumento de Ertmer (1999) segundo o qual as barreiras mais persistentes à integração tecnológica não são de ordem material, mas de ordem cultural — crenças arraigadas sobre o que constitui ensino legítimo, frequentemente mais resistentes à mudança do que a própria disponibilidade de equipamentos — padrão cuja persistência ao longo do tempo é confirmada por levantamentos longitudinais posteriores

(Francom, 2020). Nesse sentido, a robótica desafia não apenas métodos de ensino, mas pressupostos estruturais sobre o que significa ensinar e aprender, tensionando a lógica tradicional da aula expositiva silenciosa e da avaliação centrada na reprodução de conteúdo — razão pela qual revisões sistemáticas sobre a formação continuada de professores para a robótica destacam a necessidade de deslocamentos pedagógicos, e não apenas técnicos (Oliveira et al., 2023).

No contexto das escolas públicas, essa tensão cultural é agravada por limitações materiais concretas. A precariedade dos laboratórios, a instabilidade do acesso à internet e a ausência de políticas sistemáticas de manutenção tecnológica criam um hiato entre o currículo prescrito — que incorpora a cultura digital como eixo formativo — e o currículo efetivamente vivido (Monteiro; Holanda, 2023). Importa observar que a desigualdade digital não se reduz à mera disponibilidade de equipamentos: conforme argumenta Selwyn (2004), a exclusão digital opera em múltiplos níveis — acesso ao hardware, qualidade do uso pedagógico e capacidade de converter esse uso em aprendizagem efetiva —, de modo que escolas tecnicamente equipadas podem ainda assim reproduzir desigualdades quando a apropriação pedagógica da tecnologia permanece superficial. Nesse cenário, a desigualdade digital deixa de ser apenas problema técnico e passa a constituir questão política e pedagógica, pois condiciona quem pode experimentar práticas inovadoras e em que medida.

Outro elemento crítico refere-se à organização temporal da escola. As atividades de robótica pressupõem ciclos prolongados de planejamento, experimentação, falha, reformulação e validação — processo que contrasta estruturalmente com aulas de cinquenta minutos e calendários rigidamente segmentados (Souza; Andrade; Sampaio, 2021). A pressão por resultados mensuráveis em avaliações externas de larga escala reforça a priorização de conteúdos tradicionalmente cobrados, relegando práticas investigativas a espaço periférico no planejamento pedagógico (Monteiro; Holanda, 2023). Trata-se de um obstáculo de natureza distinta daquele discutido na Seção 2: não se trata de ausência de metodologias ou de formação docente adequada, mas de incompatibilidade estrutural entre a temporalidade pedagógica que a robótica demanda e a temporalidade administrativa que organiza o funcionamento da escola.

No contexto da reforma do Ensino Médio instituída pela Lei nº 13.415/2017 — o Novo Ensino Médio —, a incorporação de tecnologias educacionais é frequentemente apresentada como resposta às demandas do mundo do trabalho. Todavia, quando orientada exclusivamente por racionalidade tecnicista, a robótica corre o risco de ser instrumentalizada como treinamento operacional, esvaziando seu potencial formativo mais amplo (Alimisis, 2013). A tensão reside na disputa entre duas concepções: uma que compreende a tecnologia como ferramenta de

adestramento para funções produtivas imediatas, e outra que a entende como meio para o desenvolvimento da autonomia intelectual.

Em síntese, a tensão entre inovação tecnológica e cultura escolar não deve ser compreendida como obstáculo intransponível, mas como campo de disputa formativa, no qual operam simultaneamente barreiras culturais de segunda ordem (Ertmer, 1999), limitações materiais e incompatibilidades de organização temporal. Esses três planos de tensão — cultural, material e temporal — não se resolvem isoladamente: sua superação depende de articulação sistêmica entre fundamentos pedagógicos, reorganização curricular e sustentação institucional, dimensões que serão sistematizadas na proposição do modelo conceitual apresentado na Seção 4.

4 DESAFIOS FORMATIVOS PARA A INTEGRAÇÃO CURRICULAR DA ROBÓTICA EDUCACIONAL

A integração curricular da Robótica Educacional no Ensino Médio público impõe desafios que ultrapassam a dimensão técnica e alcançam o núcleo epistemológico da organização escolar. Em sistemas historicamente estruturados sob forte compartimentalização disciplinar, a proposta de articulação entre saberes científicos, tecnológicos e sociais exige um deslocamento paradigmático que tensiona práticas consolidadas ao longo de décadas. A interdisciplinaridade, embora amplamente defendida nos discursos normativos, permanece frequentemente restrita ao plano retórico, sem consolidação estrutural no cotidiano pedagógico (Afecto; Moretti; Teixeira, 2024).

A própria BNCC enfatiza o desenvolvimento de competências relacionadas à cultura digital, ao pensamento científico e à resolução de problemas complexos — convergindo com a formulação internacional do pensamento computacional como habilidade fundamental para a formação cidadã contemporânea (Wing, 2006). Entretanto, a transposição dessas diretrizes para a prática escolar revela entraves recorrentes, tais como a fragmentação dos horários docentes, a ausência de planejamento coletivo e a centralidade de avaliações classificatórias (Andrade; Ramalho, 2024). A robótica, ao demandar projetos integradores e situações-problema contextualizadas, evidencia tais limitações e expõe a necessidade de reorganização curricular mais profunda.

Nesse cenário, a Robótica Educacional de Baixo Custo emerge como alternativa estratégica não apenas por sua viabilidade financeira, mas por seu potencial formativo. Diferentemente de kits proprietários pré-configurados, o uso de hardware livre e materiais

reutilizáveis exige compreensão conceitual dos princípios físicos e lógicos que sustentam os sistemas automatizados, deslocando o foco da execução orientada para a construção autoral (Silva; Gonzatti; Böckel, 2019). Essa potencialidade interdisciplinar se confirma também no ensino de Matemática, em que a robótica de baixo custo tem sido empregada para tornar conceitos abstratos mais concretos e manipuláveis pelos estudantes (Vilaça; Santos, 2024). Estudos de revisão sistemática indicam que essa abordagem amplia as possibilidades de democratização do acesso às tecnologias educacionais, ao mesmo tempo em que fortalece o rigor conceitual quando articulada a objetivos pedagógicos bem definidos (López-Belmonte et al., 2021) — achado que converge com revisões internacionais sobre o tema, as quais apontam que o ganho educacional da robótica depende menos do custo dos recursos do que da qualidade do desenho pedagógico que os acompanha (Benitti, 2012).

Contudo, tal potencialidade depende de condições formativas consistentes. O equilíbrio entre criatividade e rigor conceitual constitui um dos pontos mais sensíveis da integração curricular. Há o risco de que a robótica seja reduzida a atividade meramente lúdica, desarticulada dos fundamentos teóricos das disciplinas, assim como existe o perigo inverso: a instrumentalização excessiva que transforma o projeto em simples aplicação técnica de conteúdos previamente ensinados. O desafio pedagógico reside em articular teoria e prática de modo dialético, permitindo que conceitos de Física e Matemática sejam reconstruídos a partir da experiência concreta e problematizadora (Rodrigues; Araújo; Formenton, 2017).

Do ponto de vista metodológico, abordagens como a Aprendizagem Baseada em Problemas e o ensino por projetos mostram-se coerentes com a natureza investigativa da robótica, ao valorizarem o percurso reflexivo, o trabalho colaborativo e a tomada de decisões fundamentadas (Furtado; Almeida; Kohls-Santos, 2025). Todavia, sua implementação requer revisão dos critérios avaliativos predominantes. A ênfase em instrumentos exclusivamente somativos dificulta o reconhecimento de processos iterativos nos quais o erro desempenha papel estruturante na aprendizagem e no desenvolvimento do pensamento crítico (Neuenfeldt et al., 2021).

Outro aspecto central refere-se à cultura profissional docente. A integração curricular da robótica demanda planejamento interdisciplinar sistemático e diálogo permanente entre áreas tradicionalmente segmentadas. Tal articulação exige tempo institucionalizado para estudo, reflexão coletiva e construção de sequências didáticas integradas — precisamente a condição que, conforme discutido na Seção 2, distingue a formação continuada efetiva da capacitação técnica pontual (Silva; Carbo, 2024). Sem essa estrutura organizacional, a interdisciplinaridade tende a permanecer como iniciativa isolada, sem consolidação sistêmica.

A análise desenvolvida revela que os desafios formativos e estruturais aqui discutidos não operam de modo isolado, mas como sistema interdependente, no qual intervenções pontuais tendem a produzir resultados limitados ou descontínuos. Essa constatação demanda uma proposição sintética capaz de organizar conceitualmente os elementos identificados — não como simples recapitulação do diagnóstico, mas como modelo que explicita os mecanismos de interdependência entre eles. É o que se propõe a seguir.

4.1 Proposição do Modelo Conceitual de Integração Estrutural da Robótica Educacional (MCI-RE)

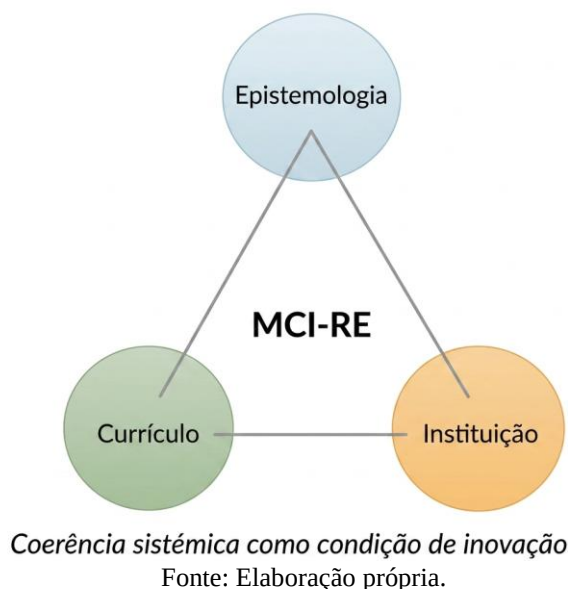
A análise desenvolvida nas seções anteriores evidencia que a integração curricular da Robótica Educacional no Ensino Médio público não pode ser compreendida como processo linear ou exclusivamente técnico. Contudo, antes de propor um novo modelo, é necessário situar essa proposição em relação aos quadros conceituais já consolidados na literatura, identificando especificamente a insuficiência que justifica sua formulação.

O modelo TPACK (Mishra; Koehler, 2006) oferece contribuição relevante ao descrever a interseção entre conhecimento tecnológico, pedagógico e de conteúdo necessária à integração de tecnologias pelo professor. Entretanto, o TPACK opera no nível do conhecimento individual docente, tratando a escola como contexto relativamente neutro de aplicação — pressuposto problemático em sistemas marcados por compartimentalização curricular e descontinuidade institucional, como o Ensino Médio público brasileiro. De modo complementar, o modelo de barreiras de primeira e segunda ordem proposto por Ertmer (1999) identifica corretamente que obstáculos culturais e epistemológicos são mais resistentes que limitações materiais, mas não articula como essas barreiras interagem dinamicamente com a estrutura curricular e com mecanismos de sustentação institucional ao longo do tempo. Revisões sistemáticas internacionais sobre robótica educacional (Benitti, 2012; Alimisis, 2013) corroboram essa lacuna ao apontarem reiteradamente que intervenções de RE tendem a ser pontuais e de curta duração, sem que a literatura explique satisfatoriamente por que a sustentação ao longo do tempo falha mesmo quando há formação docente adequada e recursos disponíveis.

É precisamente nessa lacuna — a ausência de um modelo que articule a interdependência dinâmica entre conhecimento docente, estrutura curricular e sustentação institucional, em vez de tratá-los como dimensões paralelas — que se posiciona o Modelo Conceitual de Integração Estrutural da Robótica Educacional (MCI-RE). O modelo não pretende substituir o TPACK ou os modelos de barreiras à integração tecnológica, mas articulá-

los em um nível de análise distinto: o nível sistêmico-institucional, no qual a sustentabilidade da inovação curricular — e não apenas sua implementação inicial — é a variável central. A estrutura conceitual proposta encontra-se sintetizada na Figura 1.

Figura 1. Modelo Conceitual de Integração Estrutural da Robótica Educacional (MCI-RE)



O primeiro eixo, Fundamento Epistemológico, refere-se à densidade conceitual que sustenta a formação docente e a prática pedagógica, dialogando diretamente com a dimensão de conhecimento tecnológico-pedagógico do TPACK (Mishra; Koehler, 2006), mas estendendo-a: não basta que o professor detenha esse conhecimento de forma individual, é necessário que ele seja compartilhado e reproduzível na cultura profissional da escola. Inspirado nos pressupostos do construcionismo formulados por Seymour Papert (1980), este eixo compreende a robótica como ambiente de construção ativa do conhecimento, no qual o erro assume função estruturante no processo cognitivo. A ausência desse fundamento tende a reduzir a robótica a atividade instrumental ou meramente lúdica.

O segundo eixo, Estrutura Curricular Integrada, aborda a reorganização do currículo escolar para superar a compartimentação histórica dos saberes — dimensão ausente tanto no TPACK quanto no modelo de Ertmer (1999), que tratam a integração tecnológica primariamente como decisão do professor individual, e não como propriedade emergente da organização curricular da escola como um todo. A robótica, por sua natureza interdisciplinar, demanda ampliação de tempos pedagógicos e adoção de estratégias avaliativas processuais. Sem essa integração estrutural, a prática tende a ocupar posição periférica no planejamento didático, permanecendo restrita a projetos episódicos.

O terceiro eixo, Sustentação Institucional Sistêmica, refere-se às condições organizacionais que asseguram continuidade às práticas inovadoras ao longo do tempo — o elo explicitamente ausente nos modelos anteriores e responsável, segundo a hipótese central deste ensaio, pela descontinuidade recorrente observada em revisões sistemáticas internacionais (Benitti, 2012). Conforme argumenta Fullan (2016), mudanças educacionais sustentáveis dependem de alinhamento sistêmico e compromisso institucional de longo prazo. Hargreaves e Fullan (2012), ao desenvolverem a noção de capital profissional, destacam que a qualidade da inovação está vinculada à colaboração docente e à confiança profissional construída institucionalmente — e não apenas à competência individual do professor.

O argumento central do MCI-RE — e seu elemento de avanço teórico em relação aos modelos precedentes — é que esses três eixos operam em relação de interdependência sequencial e não meramente cumulativa: o Fundamento Epistemológico viabiliza a qualidade da prática pedagógica, mas sem Estrutura Curricular Integrada essa prática permanece confinada a iniciativas isoladas de professores individuais; e mesmo quando ambas as condições anteriores estão presentes, a ausência de Sustentação Institucional Sistêmica leva à descontinuidade da prática quando há rotatividade docente ou mudança de gestão — fenômeno amplamente documentado, mas não explicado mecanicamente, na literatura de intervenções de curta duração em RE (Benitti, 2012; Alimisis, 2013). Essa hipótese de interdependência sequencial constitui proposição teórica passível de investigação empírica futura, por exemplo, por meio de estudos de caso longitudinais que acompanhem a trajetória de projetos de RE em diferentes escolas, identificando em qual eixo ocorre a ruptura responsável pela descontinuidade observada.

Para tornar essa hipótese de interdependência sequencial mais inteligível, considere-se um cenário ilustrativo recorrente na literatura: uma escola pública que, após receber investimento governamental em kits de robótica, oferece capacitação técnica aos professores e obtém resultados pedagógicos positivos nos primeiros semestres de implementação — configurando o que o MCI-RE descreve como ativação do primeiro eixo (Fundamento Epistemológico). Contudo, as atividades de robótica permanecem restritas a um único professor entusiasta, sem integração ao Projeto Político-Pedagógico da escola e sem reorganização dos tempos didáticos — ou seja, o segundo eixo (Estrutura Curricular Integrada) não é ativado. Quando esse professor se desliga da instituição por remoção ou aposentadoria, a prática se encerra integralmente, pois não foi institucionalizada nem transferida para a cultura coletiva da escola. Esse padrão — amplamente documentado em revisões sistemáticas internacionais (Benitti, 2012; Alimisis, 2013), mas não explicado mecanicamente por nenhum dos modelos

anteriores — é precisamente o que a hipótese de interdependência sequencial do MCI-RE busca formalizar: a ativação isolada do primeiro eixo não sustenta a prática na ausência do segundo; e a fragilidade do segundo torna o terceiro eixo (Sustentação Institucional Sistêmica) estruturalmente inatingível, independentemente da disponibilidade de recursos ou da competência docente individual. A sequência, portanto, não é reversível: investir no terceiro eixo sem consolidar os dois anteriores não produz sustentabilidade, apenas aparência administrativa de continuidade.

Ao propor essa articulação estrutural, o modelo desloca o debate da aquisição de equipamentos ou da formação docente isolada para a transformação sistêmica da cultura escolar, oferecendo um nível de análise — o institucional-sequencial — não contemplado de modo integrado pelos modelos de referência na literatura internacional sobre integração tecnológica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MCI-RE, proposto neste ensaio como quadro analítico de nível sistêmico-institucional, oferece resposta específica a uma lacuna recorrente na literatura: a incapacidade dos modelos existentes — TPACK (Mishra; Koehler, 2006) e barreiras de integração (Ertmer, 1999) — de explicar mecanicamente por que iniciativas de robótica tecnicamente bem-sucedidas não se sustentam ao longo do tempo. Sua implicação mais direta para políticas públicas é precisamente essa: programas que financiam equipamentos e capacitações pontuais investem apenas no primeiro eixo do modelo, sem assegurar as condições de Estrutura Curricular Integrada e Sustentação Institucional Sistêmica — e é essa assimetria, e não a escassez de recursos, o principal mecanismo de descontinuidade.

Este estudo apresenta limitações que devem ser reconhecidas. Por se tratar de ensaio teórico fundamentado em revisão narrativa, o MCI-RE constitui proposição conceitual ainda não submetida a validação empírica sistemática; sua capacidade explicativa quanto à hipótese de interdependência sequencial — particularmente quanto à identificação de em qual eixo ocorrem as rupturas mais frequentes — permanece, portanto, uma questão em aberto. Adicionalmente, a literatura mobilizada, embora abranja publicações nacionais e internacionais, concentra-se em estudos de caso e revisões de escopo limitado, carecendo de dados longitudinais sobre a trajetória de projetos de RE ao longo de múltiplos anos letivos.

Como agenda de pesquisa futura, sugere-se o desenvolvimento de estudos de caso longitudinais que acompanhem escolas públicas em diferentes estágios de implementação da

RE, com o objetivo de testar empiricamente a hipótese de interdependência sequencial proposta pelo MCI-RE e identificar, em contextos reais, os pontos específicos de ruptura entre os três eixos do modelo. Pesquisas comparativas entre redes de ensino com diferentes graus de institucionalização da RE poderiam, ainda, oferecer evidências sobre a validade do terceiro eixo — Sustentação Institucional Sistêmica — como variável explicativa central da descontinuidade observada na literatura (Benitti, 2012; Alimisis, 2013). Dessa forma, espera-se que o MCI-RE funcione não como ponto de chegada, mas como hipótese de trabalho a ser refinada por investigações empíricas subsequentes.

REFERÊNCIAS

AFECTO, Romeu; MORETTI, Andressa Algayer da Silva; TEIXEIRA, Lucimara de Sousa. Robótica educacional, avanços e desafios para o ensino médio integrado ao técnico. **Dialogia**, [S. l.], n. 50, p. 1-20, e27415, set./dez. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5585/50.2024.27415>. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/dialogia/article/view/27415>. Acesso em: 1 mar. 2026.

ALIMISIS, Dimitris. Educational robotics: open questions and new challenges. **Themes in Science and Technology Education**, v. 6, n. 1, p. 63–71, 2013. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1130924.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2026.

ANDRADE, Fabiana; RAMALHO, Nicolas Rocha Januário. Uma proposta para o ensino de robótica no Ensino Médio: a transição do kit Lego para o Arduino. **Informática na Educação: Teoria & Prática**, Porto Alegre, v. 27, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22491/1982-1654.136723>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/view/136723>. Acesso em: 22 mar. 2026.

BENITTI, Fabiane Barreto Vavassori. Exploring the educational potential of robotics in schools: a systematic review. **Computers & Education**, v. 58, n. 3, p. 978–988, abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>.

CARDOSO, Carlos Costa; TRENTIN, Marco Antônio Sandini; MENDONÇA NETO, Valter dos Santos. Robótica educacional e pensamento computacional: uma estratégia pedagógica para o ensino de algoritmos e lógica de programação no ensino técnico. **Educitec – Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 11, p. e253925, jan./dez. 2025. DOI: <https://doi.org/10.31417/educitec.v11.2539>. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/2539>. Acesso em: 6 out. 2025.

CASTRO, Elian Vitor de Oliveira; CASTRO, Steffane de Oliveira; AQUINO, Simone A. Bandeira de Melo; FREIRE, Thiago Paiva. Oficina de robótica com Arduino para alunas do ensino médio da rede pública: um relato de experiência. In: WOMEN IN INFORMATION TECHNOLOGY (WIT), 17., 2023, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBC, 2023. p.

358-363. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wit/article/view/25038>. Acesso em: 6 out. 2025.

DESIMONE, Laura M. Improving impact studies of teachers' professional development: toward better conceptualizations and measures. **Educational Researcher**, v. 38, n. 3, p. 181–199, 2009. DOI: <https://doi.org/10.3102/0013189X08331140>.

ERTMER, Peggy A. Addressing first- and second-order barriers to change: strategies for technology integration. **Educational Technology Research and Development**, v. 47, n. 4, p. 47–61, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02299597>.

FRANCOM, Gregory M. Barriers to technology integration: a time-series survey study. **Journal of Research on Technology in Education**, v. 52, n. 1, p. 1–16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15391523.2019.1679055>.

FULLAN, Michael. **The new meaning of educational change**. 5. ed. New York: Teachers College Press, 2016.

FURTADO, Lucilia Dias; ALMEIDA, Henrique Costa; KOHLS-SANTOS, Pricila. A robótica educacional como recurso metodológico para o desenvolvimento de competências socioemocionais no ensino médio. **Revista Edutec – Educação, Tecnologias Digitais e Formação Docente**, v. 5, n. 1, p. 1-28, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/EduTec/article/view/23474>. Acesso em: 6 out. 2025.

HARGREAVES, Andy; FULLAN, Michael. **Professional capital: transforming teaching in every school**. New York: Teachers College Press, 2012.

LÓPEZ-BELMONTE, Jesús; SEGURA-ROBLES, Adrián; MORENO-GUERRERO, Antonio-José; PARRA-GONZÁLEZ, María-Elena. Robotics in education: a scientific mapping of the literature in Web of Science. **Electronics**, v. 10, n. 3, p. 291, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10030291>.

MISHRA, Punya; KOEHLER, Matthew J. Technological pedagogical content knowledge: a framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, v. 108, n. 6, p. 1017–1054, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>.

MONTEIRO, Vinicius Aguiar; HOLANDA, Maristela. Pensamento computacional e Scratch: um relato de experiências com estudantes do ensino médio público no Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO (EDUCOMP), 3., 2023, Evento Online. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBC, 2023. p. 254-261. DOI: <https://doi.org/10.5753/educomp.2023.228348>. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/educomp/article/view/23895>. Acesso em: 6 out. 2025.

NEUENFELDT, Adriano Edo; SCHUCK, Rogério José; NEUENFELDT, Derli Juliano; RODRIGUES, Ariane Wollenhoup da Luz. Contribuições das tecnologias digitais no ensino de conteúdos matemáticos. **Debates em Educação**, Maceió, v. 13, n. 31, p. 146–165, 2021. DOI: <https://doi.org/10.28998/2175-6600.2021v13n31p146-165>. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/10041>. Acesso em: 19 set. 2025.

OLIVEIRA, Denilton Sousa de; GARCIA, Luciane Terra dos Santos; GONÇALVES, Luiz Marcos Garcia. A systematic review on continuing education of teachers for educational robotics. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 107, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01804-z>.

PAPERT, Seymour. **Mindstorms: children, computers, and powerful ideas**. New York: Basic Books, 1980.

RODRIGUES, Gilson Aciole; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira; FORMENTON, Ricardo. Contribuições da Robótica Educacional para o Ensino de Física no Ensino Médio. **Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica**, Vitória, v. 7, n. 2, p. 65-86, ago. 2017. DOI: <https://doi.org/10.36524/dect.v7i02.197>.

SELWYN, Neil. Reconsidering political and popular understandings of the digital divide. **New Media & Society**, v. 6, n. 3, p. 341–362, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1177/1461444804042519>.

SILVA, Maria da Guia Torres da; MAIA, Claudia Juliete do Nascimento Araújo; CURVELO, Carla da Costa Fernandes; GARCIA, Luciane Terra dos Santos; GONÇALVES, Luiz Marcos Garcia. Educational robotics as a pedagogical resource for K-12 students with learning difficulties. **Scientific Reports**, v. 15, art. 35923, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19821-x>.

SILVA, Maria Raiane da; PAZUCH, Vinícius. Tecnologias digitais no ensino de geometria: uma revisão sistemática da literatura. **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 31–55, 2024. DOI: <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2024v26i2p031-055>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/emp/article/view/59593>. Acesso em: 19 set. 2025.

SILVA, Maurício Veiga da; GONZATTI, Sônia Elisa Marchi; BÖCKEL, Wolmir José. Robótica educacional: um recurso para a exploração de conceitos relacionados à transferência de calor. **Revista de Educação, Ciência e Cultura**, Canoas, v. 24, n. 1, p. 273-288, mar. 2019. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Educacao/article/view/4452>. Acesso em: 6 out. 2025.

SILVA, Renan Helder dos Santos; CARBO, Leandro. Percepções de professores de ciências da natureza do município de Juína/MT sobre tecnologias digitais no contexto da pandemia da Covid-19 (2020–2023). **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 25, n. 5, p. 582–589, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17921/2447-8733.2024v25n5p582-589>. Disponível em: <https://revistaensinoeducacao.pgsscogna.com.br/ensino/article/view/13514>. Acesso em: 19 set. 2025.

SOUZA, Isabelle Maria Lima de; ANDRADE, Wilkerson L. de; SAMPAIO, Livia S. Campos. Aplicações da robótica educacional para o desenvolvimento do pensamento computacional no contexto do ensino médio integral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO (EDUCOMP), 1., 2021, on-line. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBC, 2021. p. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.5753/educomp.2021.14470>. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/educomp/article/view/14470>. Acesso em: 6 out. 2025.

VILAÇA, Marcelo de Oliveira; SANTOS, Marli Regina dos. Robótica educacional de baixo custo no ensino de matemática: uma abordagem interdisciplinar. **Revista de Produção**

Discente em Educação Matemática, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 17–33, abr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.23925/2238-8044.2023v12i2p17-33>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/pdemat/article/view/62146>. Acesso em: 21 out. 2025.

VOOGT, Joke; KNEZEK, Gerald (Eds.). **International handbook of information technology in primary and secondary education**. New York: Springer, 2008. (Springer International Handbooks of Education, v. 20). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-73315-9>.

WING, Jeannette M. Computational thinking. **Communications of the ACM**, v. 49, n. 3, p. 33–35, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>.