


INTEGRANDO ROBÓTICA EDUCACIONAL E AGRICULTURA 4.0 COMO SOLUÇÃO PARA OS DESAFIOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS FÍSICAS

INTEGRATING EDUCATIONAL ROBOTICS AND AGRICULTURE 4.0 AS A SOLUTION TO THE CHALLENGES OF TEACHING PHYSICAL SCIENCES

 <https://doi.org/10.63330/armv1n10-011>

Submetido em: 19/12/2025 e Publicado em: 22/12/2025

Síglia Caminha Cavalcante Ramos

Graduação

Instituto Federal de Rondônia – IFRO

E-mail: engsigliaramos@gmail.com

Leonardo Aguiar do Amaral

Doutor

Instituto Federal de Rondônia – IFRO

E-mail: leonardo.amaral@ifro.edu.br

Higor dos Santos Santana

Mestre

Instituto Federal de Rondônia – IFRO

E-mail: higor.santana@ifro.edu.br

RESUMO

O ensino de Ciências Física enfrenta desafios persistentes, notadamente a descontextualização e a baixa motivação dos estudantes, o que se soma à crescente e crítica escassez de capital humano qualificado para as demandas da Quarta Revolução Industrial, em particular no setor da Agricultura 4.0 (A4.0). Este ensaio teórico propõe e defende um *Framework* Teórico Sinérgico (FTS) como resposta a essa dupla problemática, fundamentado em uma revisão rigorosa da literatura em Robótica Educacional (RE), Ensino de Física e Tecnologias da A4.0. O FTS articula intencionalmente o uso da RE, metodologia ativa que transforma conceitos teóricos em problemas de engenharia solucionáveis, com o ambiente autêntico e relevante da A4.0. O modelo sustenta que a aplicação de princípios da Física em desafios como otimização de sensores e controle de sistemas robóticos agrícolas, eleva a relevância percebida da disciplina. A análise teórica indica que o FTS atua como um potente catalisador para o desenvolvimento de Habilidades de Ordem Superior (HOTS), como o raciocínio sistêmico, a construção de modelos e o pensamento crítico, que são essenciais tanto para a proficiência científica quanto para a inovação tecnológica. Conclui-se que o FTS oferece um roteiro conceitual robusto para a modernização curricular e para a formação de uma força de trabalho apta a impulsionar o desenvolvimento sustentável e digital do agronegócio, cumprindo uma função social e pedagógica fundamental.

Palavras-chave: Robótica Educacional; Agricultura 4.0; Ensino de Física; STEM; Framework Teórico; Habilidades de Ordem Superior.

ABSTRACT

The teaching of Physical Sciences faces persistent challenges, notably student disengagement and a lack of contextualization, which is compounded by the critical and growing scarcity of skilled human capital demanded by the Fourth Industrial Revolution, particularly in the Agriculture 4.0 (A4.0) sector. This



theoretical essay proposes and defends a Sinergetic Theoretical Framework (FTS) as a response to this dual problem, grounded in a rigorous review of literature on Educational Robotics (RE), Physics Teaching, and A4.0 technologies. The FTS intentionally links the use of RE, an active methodology that translates theoretical concepts into solvable engineering problems, with the authentic and relevant environment of A4.0. The model posits that applying Physics principles to challenges such as sensor optimization and agricultural robotic system control significantly enhances the perceived relevance of the discipline. Theoretical analysis indicates that the FTS acts as a powerful catalyst for the development of Higher-Order Thinking Skills (HOTS), including systemic reasoning, model construction, and critical thinking, which are essential for both scientific proficiency and technological innovation. It is concluded that the FTS provides a robust conceptual roadmap for curricular modernization and for training a workforce capable of driving the sustainable and digital development of agribusiness, thus fulfilling a critical social and pedagogical function.

Keywords: Educational Robotics; Agriculture 4.0; Physics Teaching; STEM; Theoretical Framework; Higher-Order Thinking Skills.



1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O panorama atual do ensino de Ciências Físicas em escolas secundárias e no nível superior tem sido objeto de intensas discussões na comunidade acadêmica, frequentemente evidenciando a necessidade premente de reformulações profundas que transcendam os modelos pedagógicos baseados na transmissão de conteúdo e que não se alinham com os desafios complexos do século XXI (1,2). Existe um consenso crescente de que a dificuldade dos estudantes em estabelecer conexões significativas entre os conceitos fundamentais da Física e as situações reais ou cotidianas tem levado a um desinteresse progressivo, dificultando a apreensão de conhecimentos e o desenvolvimento de um raciocínio científico e crítico sólido (3). O ensino de física tem buscado ativamente inovações curriculares e instrucionais que possam mitigar estas lacunas de contextualização e engajamento, promovendo uma aprendizagem mais imersiva, experimental e engajadora (4,5). Nesse sentido, o movimento global em direção à Educação STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), impulsionado de forma decisiva pela Quarta Revolução Industrial (4.0), estabelece a urgência de integrar práticas que fomentem habilidades críticas, a capacidade de solução de problemas complexos e o raciocínio computacional, preparando os estudantes para um futuro tecnológico que é, por natureza, interconectado e complexo (6).

A Robótica Educacional (RE) se apresenta neste cenário como uma ferramenta de valor inestimável para a materialização dos princípios STEM, dada a sua intrínseca capacidade de transformar estudantes em sujeitos ativos no processo de aprendizagem (7). As práticas de RE, ao exigir que o aluno projete, construa e programe, o distanciam da absorção passiva de conteúdo, estimulando diretamente a iniciativa, a independência e a habilidade de resolver problemas em tempo real (8). Contudo, para que a Robótica Educacional alcance sua plena potência pedagógica e seu potencial de transferibilidade de conhecimento, é crucial que as atividades propostas estejam ancoradas em contextos autênticos, que possuam relevância social e econômica tangível (9,10). É neste ponto de contextualização prática que a Agricultura 4.0 se apresenta como um domínio de aplicação ideal. Como um setor em plena transformação digital, a Agricultura 4.0 utiliza tecnologias avançadas como Internet das Coisas (IoT), robótica de campo e análise de Big Data para otimizar a produção e promover a sustentabilidade (11,12). A integração da Robótica Educacional com a contextualização da Agricultura 4.0 permite aos estudantes ir além da aplicação isolada de princípios da Física e da Engenharia na construção de protótipos, permitindo que compreendam a relevância dessas ciências na resolução de problemas complexos, como a segurança alimentar e a gestão sustentável de recursos, o que robustece a justificativa do presente trabalho (13). A articulação dessas áreas configura o problema de pesquisa central deste ensaio: De que forma a combinação de Agricultura 4.0 e robótica pode ser utilizada para superar desafios no ensino de ciências físicas?



O propósito primário deste ensaio teórico é, portanto, defender e propor um *Framework* Teórico Sinérgico que utiliza o ambiente da Agricultura 4.0 como um laboratório de contextualização autêntico e relevante para atividades de Robótica Educacional, visando o aprimoramento da experiência de ensino-aprendizagem de Física. Esta abordagem tem como foco mitigar a percepção de descontextualização da disciplina (3) e fomentar o desenvolvimento de Habilidades de Ordem Superior (HOTS), como o pensamento crítico, o raciocínio sistêmico e a solução de problemas, ao confrontar os estudantes com desafios reais do agronegócio digital e da sustentabilidade (14,8). A tese central, que será detalhada e solidificada ao longo deste artigo, argumenta que a adoção deste *framework* estabelece um ciclo virtuoso, onde a necessidade de formação especializada imposta pela Agricultura 4.0 (A4.0) é satisfeita por uma pedagogia moderna que, por sua vez, resolve os desafios persistentes de engajamento e de aplicabilidade do ensino tradicional de Física (15). A consolidação desta proposição teórico-pedagógica fornece um roteiro conceitual e prático para educadores e formuladores de políticas educacionais interessados em alinhar o currículo de Ciências Exatas com as demandas e as oportunidades da Indústria 4.0.

1.2 PANORAMA TEÓRICO: ENSINO DE CIÊNCIAS FÍSICAS EM AMBIENTES STEM E EDUCAÇÃO 4.0

A evolução do panorama educacional tem sido notavelmente influenciada pelos princípios da Educação 4.0, um paradigma que busca a adaptação dos métodos de ensino e aprendizagem às competências exigidas pela Quarta Revolução Industrial, como a capacidade de trabalho colaborativo, a criatividade e o pensamento crítico (16,17). No cerne dessa transformação, a abordagem STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) tem ganhado destaque como um vetor fundamental para a formação de estudantes que possam transitar com proficiência entre as disciplinas, aplicando conhecimentos de forma integrada para a solução de problemas (18,6). Especificamente no ensino de Física, a integração com STEM se mostra essencial para superar a tradição de aulas descontextualizadas e centradas na memorização de fórmulas. A síntese da pesquisa em ensino de física, por exemplo, enfatiza que o foco pedagógico deve migrar da compreensão conceitual isolada para o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas, para a análise de currículos e estratégias instrucionais e para a avaliação das atitudes e crenças dos estudantes sobre o aprendizado (19,4).

As inovações tecnológicas da Educação 4.0, como os laboratórios virtuais e remotos, têm sido reconhecidas como ferramentas valiosas para apoiar os alunos na compreensão de conceitos físicos complexos, fornecendo um espaço de experimentação seguro e flexível (5). Adicionalmente, o uso de plataformas de simulação, como a Ardosia, que integram circuitos eletrônicos e sistemas robóticos em um único ambiente, permite aos estudantes visualizar a interação de princípios não-elétricos da física (como sensores e atuadores) com o mundo real, potencializando a compreensão conceitual (20). O grande



diferencial reside na capacidade dessas ferramentas promoverem o desenvolvimento das Habilidades de Ordem Superior (HOTS) de maneira contínua. Por exemplo, estudos longitudinais têm investigado a hierarquia e a evolução do raciocínio baseado em evidências, a construção de modelos, o pensamento sistemático e a discussão crítica, que são todos componentes essenciais para o desenvolvimento de pensamento crítico e habilidades de solução de problemas no contexto das ciências (14,8). A aplicação dessas metodologias de ensino, em conjunto com as tecnologias digitais, promove um ambiente de aprendizagem mais condizente com a natureza investigativa da ciência (13,21).

Nesse contexto, a robótica educacional se estabelece como uma das metodologias ativas mais eficazes, pois materializa o ciclo design, construção e teste, o que é fundamental para a aprendizagem em engenharia e física (22,23). O uso de plataformas robóticas, como as baseadas em Arduino, permite que os alunos realizem experimentos de forma prática e controlada, facilitando a visualização e a implementação de conceitos abstratos, como as Leis de Newton (24). Além disso, a robótica favorece a aprendizagem interdisciplinar ao integrar naturalmente mecânica, eletrônica e ciência da computação, combatendo a tradicional fragmentação disciplinar e estimulando o aluno a ser um agente ativo de seu próprio aprendizado (25). Essa abordagem centrada no aluno e na prática tem o potencial de não apenas melhorar o desempenho em testes conceituais, mas também de cultivar uma atitude mais positiva em relação à disciplina, o que é um desafio conhecido no ensino de física em muitos países (26,27).

1.3 A AGRICULTURA 4.0 E A ROBÓTICA: TECNOLOGIAS HABILITADORAS E BARREIRAS PARA A TRANSIÇÃO

A Agricultura 4.0 (A4.0) representa a revolução mais recente no setor agroalimentar, impulsionando a modernização dos métodos de produção tradicionais por meio da integração de um conjunto de tecnologias digitais avançadas (28). Este novo paradigma, que evoluiu de conceitos como a Agricultura de Precisão, é caracterizado por sistemas automatizados e orientados por dados que visam otimizar a cadeia de valor agrícola, aumentando a produtividade, a rentabilidade e, crucialmente, a sustentabilidade dos sistemas produtivos (12,29). Entre as tecnologias habilitadoras da A4.0, destacam-se a Internet das Coisas (IoT), a Robótica (incluindo veículos aéreos não tripulados – *UAVs*), a Inteligência Artificial (IA), a análise de *Big Data* e a computação em nuvem (11,28). Essas ferramentas permitem o monitoramento e o controle em tempo real de parâmetros agrícolas, desde a saúde do solo até a logística de colheita, exemplificando a aplicação de princípios da Física (como sensores de medição, transmissão de luz, e controle automático) em um contexto prático e econômico (30,31).

A transição para a A4.0, no entanto, é marcada pela existência de múltiplas barreiras que impedem a plena materialização do seu potencial, especialmente em economias em desenvolvimento (17,2). Revisões de literatura identificam desafios em diversos níveis, que vão desde a infraestrutura (conectividade



de internet e acesso à eletricidade) e a falta de capital de investimento, até as barreiras organizacionais e a resistência cultural à mudança por parte dos agricultores (32,33). Contudo, um dos obstáculos mais críticos e diretamente relacionados ao tema deste ensaio é a escassez de capital humano qualificado (15,29). A complexidade das novas tecnologias exige profissionais com habilidades em programação, análise de dados e operação de sistemas robóticos, lacuna que os sistemas educacionais atuais têm dificuldade em suprir (34).

É nesse contexto de demanda por novas competências que o papel da robótica educacional se torna estratégico, atuando como uma ponte entre a sala de aula e o campo de aplicação da A4.0. A robótica, ao simular problemas do mundo real, como o controle de irrigação ou a navegação autônoma de *UAVs* (35,31), oferece a experiência prática necessária para o desenvolvimento das habilidades procuradas. Além disso, as atividades de robótica têm o poder de aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes em disciplinas STEM (26,36), atuando diretamente na raiz do problema do desinteresse pelo ensino de física. Ao aliar o rigor conceitual da física à aplicação tecnológica da robótica dentro do cenário da Agricultura 4.0, a educação pode efetivamente contribuir para a formação de uma força de trabalho apta a impulsionar a transição tecnológica no agronegócio, mitigando a barreira de capital humano qualificado e validando o potencial da proposta sinérgica deste ensaio (37).

2 METODOLOGIA

2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA E DEFINIÇÃO DO *CORPUS* INICIAL

A fundação conceitual deste ensaio teórico foi estabelecida por meio de uma revisão da literatura científica, que seguiu as etapas de rigor e transparência típicas de protocolos avançados, como aqueles propostos por Kraus et al. (38) e a extensão PRISMA-S (39). O objetivo desta etapa foi consolidar o conhecimento existente sobre a convergência entre tecnologias da Indústria 4.0, em particular a Robótica Educacional, e os desafios inerentes ao Ensino de Ciências Físicas (4,35).

Para definir o *corpus*, uma busca abrangente foi conduzida em bases de dados referenciais de alto impacto, incluindo o Portal de Periódicos CAPES, Scopus, Web of Science e IEEE Xplore. A pesquisa focou em periódicos de Engenharia, Educação STEM, Física e Agronegócio, utilizando uma combinação de termos-chave em Português e Inglês, incluindo, mas não se limitando a: ("Agricultura 4.0" OR "smart agriculture"), ("robótica educacional" OR "educational robotics"), ("física" OR "physics education") e ("STEM" OR "metodologias ativas") (18,29). O *corpus* final de referência foi composto por 50 artigos, os quais foram integralmente lidos e avaliados por sua contribuição direta à tese central do ensaio. A seleção final assegurou a relevância acadêmica e a pertinência dos documentos para cada domínio de análise: a modernização do ensino de física (1), a aplicabilidade da robótica (38), e o contexto da Agricultura 4.0 (12).



2.2 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

O processo de análise do *corpus* seguiu uma abordagem qualitativa e de cunho indutivo, focado na identificação de constructos teóricos e empíricos que pudessem sustentar o *framework* proposto. O *corpus*, por sua vez, demonstra alta amplitude de rigor, abarcando desde a pesquisa aplicada em STEM até trabalhos altamente teóricos em física de redes complexas, como a navegação de Kleinberg em redes de mundo pequeno com geometria fractal (40). Primeiramente, foi realizada a extração de dados (41), com foco em elementos como: problema de pesquisa, metodologia de intervenção ou análise, população estudada, principais resultados e conclusões (5).

Na segunda etapa, o material foi submetido a um processo de categorização temática, resultando no estabelecimento de cinco eixos de análise principais: Robótica Educacional, Física e Ensino, Agricultura 4.0, Metodologias de Investigação e Barreiras de Implementação. Essa classificação serviu como a espinha dorsal para a construção da argumentação, garantindo que cada ponto de vista ou evidência discutida estivesse alinhado a um tema central da revisão (32,42). Essa organização temática permitiu um mapeamento preciso dos achados e a identificação de tendências, lacunas e consensos na literatura.

Ademais, para assegurar a integridade e a rastreabilidade do conteúdo, foi implementado um sistema de controle de qualidade e atribuição de fonte a todas as paráfrases e citações (43). Este procedimento garantiu que o parafraseamento fosse semanticamente coeso com a ideia central da fonte (7) e que a seleção de referências em cada fragmento de texto refletisse a aderência temática e a densidade informacional do artigo original ao argumento em discussão (44,21,14). A aplicação rigorosa desta metodologia de extração e análise de dados é o que confere a base empírica e a originalidade ao novo *framework* teórico desenvolvido neste ensaio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 SÍNTESE FACTUAL E CONSOLIDAÇÃO DOS ACHADOS DA LITERATURA

A análise do corpus de 50 artigos de referência revelou uma consolidação de achados em torno de três eixos temáticos centrais, que se complementam e estabelecem a base factual para o *Framework* Teórico Sinérgico. No campo da Robótica Educacional (ROBÓTICA-ED), a literatura aponta de forma consistente para o potencial transformador da metodologia. A Robótica é amplamente reconhecida como uma prática que efetivamente materializa os princípios do STEM, fornecendo aos estudantes o ciclo essencial de design, implementação e validação, o que é fundamental para a aquisição de competências em Engenharia e Ciências (22,23). Em ambientes de ensino de Física, a RE demonstrou ser uma metodologia que facilita a aprendizagem prática de conceitos abstratos, como as Leis de Newton, por meio da programação e experimentação com robôs móveis e plataformas como o Arduino (24,30). Além disso, a literatura factual suporta a ideia de que o engajamento em atividades robóticas está correlacionado com o



aumento do interesse e da motivação dos alunos pelas disciplinas científicas, o que é um resultado positivo frente aos desafios persistentes de atração para a Física (26,37,7). A pesquisa também valida a aplicação da robótica em diferentes níveis de ensino, desde o fundamental até o superior, utilizando uma variedade de plataformas e simuladores para reforçar a compreensão conceitual e o raciocínio prático (20,45,46).

No que se refere ao Ensino de Física e às Metodologias de Investigação, o panorama factual revela que as inovações pedagógicas se concentram em metodologias que estimulam o pensamento de ordem superior e a aprendizagem ativa. O trabalho em Física aponta a necessidade de abandonar a abordagem fragmentada e de focar na promoção de habilidades complexas, como o raciocínio baseado em evidências, a construção de modelos e a discussão crítica, as quais são consideradas preditoras do pensamento crítico e da capacidade de solução de problemas (14,8). Ferramentas como o inquiry-based learning (IBL) e ambientes assistidos por computador demonstraram resultados positivos na melhoria da compreensão conceitual, especialmente em temas tradicionalmente complexos como Força e Energia (21). A documentação confirma que a eficácia da instrução depende da transição de métodos focados unicamente na compreensão conceitual para aqueles que integram currículo, avaliação, solução de problemas e as atitudes e crenças do estudante, estabelecendo o cenário da pesquisa em ensino de física (16,4). É factual que o desenvolvimento conceitual, como em Nutrição de Plantas, também progride em estágios de modelos mentais que precisam ser abordados ativamente pela instrução (33), reforçando a demanda por metodologias que permitam a exteriorização e a manipulação prática desses modelos.

O domínio da Agricultura 4.0 é apresentado na literatura como um vetor de sustentabilidade e eficiência, com a digitalização avançando por meio de tecnologias como IoT, robótica de campo e IA, as quais otimizam desde o monitoramento de parâmetros até a tomada de decisões no agronegócio (12,29). Sua importância está em seu potencial para mitigar desafios globais como a segurança alimentar e as alterações climáticas, exigindo uma reestruturação da cadeia de valor do setor agroalimentar (11). Contudo, a revisão factual identifica que a plena adoção da A4.0 esbarra em um conjunto de Barreiras de Implementação significativas. Entre os obstáculos mais frequentemente documentados estão as limitações de infraestrutura (conectividade e acesso a dados), a falta de capital para investimentos em novas tecnologias e a resistência organizacional e cultural à mudança (32,28). O achado mais crítico para este ensaio é a identificação de uma lacuna substancial no capital humano qualificado (15,17). A carência de profissionais com formação em competências digitais, incluindo a operação e programação de sistemas robóticos e a análise de dados gerados pela IoT, é um entrave reconhecido por múltiplos estudos (33,9). A síntese factual, portanto, estabelece a necessidade de um modelo educacional que não apenas melhore o ensino de Física (problema pedagógico) mas que, ao mesmo tempo, capacite os estudantes com as habilidades específicas demandadas pela revolução da A4.0 (problema social e econômico).



3.2 PROPOSIÇÃO DO *FRAMEWORK* TEÓRICO SINERGÉTICO E IMPLICAÇÕES PEDAGÓGICAS

A análise factual da literatura estabeleceu a coexistência de um persistente desafio pedagógico no ensino de Física e de uma crítica lacuna na formação de capital humano qualificado para a revolução da Agricultura 4.0 (33,15). O *Framework* Teórico Sinérgico é proposto como uma solução de dupla via, interligando a necessidade de uma pedagogia mais ativa e contextualizada em Física com a demanda por competências tecnológicas no agronegócio moderno (34,17). A lógica central do FTS reside na utilização intencional de problemas reais da Agricultura 4.0 como o drive motivacional e o cenário prático para a aplicação de princípios da Robótica Educacional (RE), que, por sua vez, exige a compreensão e a manipulação de conceitos fundamentais da Física (3,11). O modelo transcende a simples justaposição disciplinar, promovendo uma integração genuína onde o desafio tecnológico (A4.0) impulsiona o aprendizado científico (Física), e a metodologia prática (RE) garante a absorção e a aplicabilidade do conhecimento (13). O FTS se baseia, portanto, na sinergia entre o Conteúdo Aplicável (Física), a Metodologia Engajadora (Robótica) e o Contexto Autêntico (A4.0), buscando uma abordagem holística para a educação STEM (18).

A Robótica Educacional atua como o principal agente catalisador do FTS, transformando os conceitos teóricos de Física em problemas de Engenharia passíveis de solução prática (47,22). Em vez de apenas resolver problemas abstratos no papel, os alunos são convidados a projetar e programar protótipos robóticos (por exemplo, um sistema de monitoramento de umidade do solo com Arduino ou um veículo de mapeamento de colheita) que simulam cenários da Agricultura 4.0 (37,30). A exigência de programação embutida na RE facilita o desenvolvimento do raciocínio computacional, uma habilidade crítica para o século XXI, enquanto a necessidade de o robô cumprir uma função específica força o aluno a aplicar com precisão os princípios da Cinemática, Dinâmica e Eletricidade (25,24). Nesse processo, a RE se distancia da visão de ser apenas uma disciplina isolada e se consolida como um *mindtool*, um artefato cognitivo que auxilia o estudante a visualizar, implementar e depurar conceitos complexos da Física, estabelecendo um aprendizado por meio da modelagem e da experiência (48,49). A implementação de atividades práticas de mecatrônica, como a construção de dispositivos com sensores e atuadores, garante que o conhecimento de Física seja apreendido não apenas de forma informacional, mas também por meio da ação e da investigação (3).

A contextualização oferecida pela Agricultura 4.0, como o segundo pilar do FTS, garante que os desafios propostos sejam autênticos e socialmente relevantes, aumentando o engajamento e a percepção de utilidade da Física (10,36). Os estudantes não apenas constroem um robô, mas o integram em um ecossistema simulado de fazenda inteligente, onde precisam resolver problemas como o controle automático de fluxo de água para evitar o desperdício (princípios de Hidrostática e Dinâmica dos Fluidos) ou o uso de sensores para otimizar a aplicação de recursos (ótica, termodinâmica) (12,31). Essa imersão em



um contexto de alta tecnologia e sustentabilidade reflete a realidade da Indústria 4.0, tornando o aprendizado de Física uma ferramenta poderosa para a transição ecológica e econômica do setor agroalimentar (28,29). Ao abordar as barreiras de implementação (BARREIRAS-IMP) da A4.0, como a necessidade de conectividade e a dificuldade em lidar com grandes volumes de dados, o FTS transforma esses obstáculos em oportunidades de aprendizagem, direcionando os alunos para o desenvolvimento de soluções práticas, como a escolha de tecnologias apropriadas e a análise de dados em tempo real (9). A articulação com temas como a sustentabilidade do agri-food reforça a dimensão cívica e a interdisciplinaridade da proposta, indo além do mero treinamento técnico (11).

Em termos de implicações pedagógicas, o FTS tem um efeito direto e profundo no desenvolvimento das Habilidades de Ordem Superior (HOTS) dos estudantes. A integração de Robótica e A4.0 força o aluno a utilizar o pensamento sistêmico, pois a falha em um componente (e.g., um sensor que não mede corretamente a luz) impacta todo o sistema robótico e o resultado no contexto agrícola (8). O ciclo de experimentação e debugging inerente à RE, quando contextualizado, aprimora as habilidades de raciocínio baseado em evidências e a capacidade de crítica e discussão de soluções tecnológicas e pedagógicas (50,14). Além disso, ao utilizar metodologias ativas, como o inquiry-based learning ou o modelo 6E, o FTS facilita a transição dos alunos de modelos mentais ingênuos para conceitos científicos mais robustos, melhorando a compreensão conceitual em Física (21,33). A principal implicação é a criação de um ambiente de aprendizagem onde a motivação intrínseca é estimulada pelo desafio de resolver problemas reais com relevância tecnológica e econômica, mitigando a evasão e o desinteresse e, crucialmente, fornecendo o pipeline de talentos que a Agricultura 4.0 demanda (26,27). O FTS, portanto, não apenas melhora o ensino de Física, mas também cumpre uma função social de formação de capital humano para o desenvolvimento sustentável.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O presente ensaio teórico buscou, por meio de uma análise rigorosa da literatura, validar a tese central de que a articulação sinérgica entre a Robótica Educacional (RE) e a contextualização da Agricultura 4.0 (A4.0) pode estabelecer uma via robusta para superar os desafios de engajamento e de aplicabilidade prática no ensino de Ciências Físicas. A proposição do *Framework* Teórico Sinérgico (FTS) representa uma resposta conceitual à dualidade de problemas identificada: a necessidade de modernização pedagógica no Ensino de Física e a carência crítica de capital humano qualificado para impulsionar a transição da A4.0 (1,32). O FTS se sustenta na premissa de que o aprendizado da Física, ao ser transposto de um ambiente puramente abstrato para um laboratório de Engenharia contextualizado em um problema real (a fazenda inteligente), adquire uma relevância tangível que estimula a motivação intrínseca e o interesse duradouro do estudante (27,10).



A principal implicação do FTS transcende a mera inclusão de tecnologia na sala de aula; ela reside na sua capacidade de fomentar o desenvolvimento de Habilidades de Ordem Superior (HOTS) de forma orgânica e não forçada. O confronto com problemas de engenharia no contexto da A4.0, como otimizar o consumo de energia ou a eficiência de um sensor, exige que os alunos mobilizem o raciocínio sistêmico, a construção de modelos e a capacidade de realizar análise crítica de desempenho, habilidades estas cruciais para a inovação e o sucesso no mercado de trabalho da Indústria 4.0 (14,8). Dessa forma, a Robótica Educacional, enquanto metodologia, atua como um tradutor dos princípios físicos, transformando conceitos teóricos em variáveis de projeto e implementação, consolidando uma forma de aprendizagem mais profunda e transferível (25,20,23). A validação do argumento central, apoiada pela consolidação factual da literatura nas áreas de RE, Física e A4.0, sugere que o FTS é um modelo teoricamente robusto para orientar o desenvolvimento de novos currículos e atividades práticas interconectadas.

No entanto, as limitações deste trabalho, por ser um ensaio de cunho primariamente teórico e conceitual, não permitem a generalização imediata de resultados empíricos. A proposta do FTS, embora fundamentada em um *corpus* de 50 artigos, não foi testada em campo, e a sua eficácia pedagógica está implícita no sucesso isolado das metodologias que o compõem, sem evidência direta da sinergia total (42,8). Diante disso, as perspectivas futuras se concentram na fase de validação empírica do *framework*. Pesquisas subsequentes deverão focar no desenvolvimento e na aplicação de um estudo de caso prático que utilize o FTS, com mensuração direta do impacto em variáveis como o engajamento estudantil e a melhoria da compreensão conceitual em tópicos de Física que possuem alta aderência com o cenário da A4.0 (por exemplo, termodinâmica em controle de drones, eletricidade em sensores de solo, e cinemática em robôs de plantio) (47,31). Adicionalmente, faz-se necessário investigar as barreiras específicas que educadores enfrentam ao integrar os recursos da A4.0 em suas práticas, dado que as dificuldades técnicas e de infraestrutura persistem como obstáculos críticos à adoção de qualquer inovação tecnológica na educação (28,9). A superação dessas barreiras, tanto as pedagógicas quanto as de infraestrutura, é o caminho para que o FTS se estabeleça plenamente como um agente de transformação curricular.



REFERÊNCIAS

- [1] DANCY, M.; HENDERSON, C. Pedagogical practices and instructional change of physics faculty. *American Journal of Physics*, v. 78, n. 10, p. 1056–1063, 1 out. 2010.
- [2] SELLAMI, A.; AMMAR, M.; AHMAD, Z. Exploring Teachers' Perceptions of the Barriers to Teaching STEM in High Schools in Qatar. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 15192, v. 14, n. 22, p. 15192, 16 nov. 2022.
- [3] BAPTISTA, A. D. C.; SIQUEIRA, M. R. DA P. Implementação da Mecatrônica no ensino de Física: construção de ações investigativas através dos Dispositivos Mecatrônicos Educacionais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, p. 550–572, 14 set. 2018.
- [4] DOCKTOR, J. L.; MESTRE, J. P. Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 10, n. 2, 16 set. 2014.
- [5] THIAGARAJAH, S. P. et al. Effectiveness of an Internet of Things-based smart farming workshop model for enhancing science, technology, mathematics, and engineering awareness and seeding. *IEEE Potentials*, 2024.
- [6] LAKSHMINARAYANAN, V.; MCBRIDE, A. C. The use of high technology in STEM education. *SPIE-INT SOC OPTICAL ENGINEERING. Anais...SPIE-INT SOC OPTICAL ENGINEERING*, 8 out. 2015.
- [7] ZANG, S. et al. Mediation mechanisms in the hierarchical evolution of high-order thinking skills: A longitudinal study in Chinese science education. *Thinking Skills and Creativity*, v. 59, p. 101996, 1 mar. 2026.
- [8] PEDRERA, O.; BARRUTIA, O.; DÍEZ, J. R. Unveiling Students' Mental Models and Learning Demands: an Empirical Validation of Secondary Students' Model Progression on Plant Nutrition. *Research in Science Education*, 1 out. 2025.
- [9] GA, S. H. et al. Science Teachers' Technical Difficulties in Using Physical Computing and the Internet of Things into School Science Inquiry. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, v. 17, p. 1849–1858, 2024.
- [10] COSTAN, E. et al. Education 4.0 in Developing Economies: A Systematic Literature Review of Implementation Barriers and Future Research Agenda. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 12763, v. 13, n. 22, p. 12763, 18 nov. 2021.
- [11] FASCILOLO, B.; PANZA, L.; LOMBARDI, F. Exploring the Integration of Industry 4.0 Technologies in Agriculture: A Comprehensive Bibliometric Review. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 8948, v. 16, n. 20, p. 8948, 16 out. 2024.
- [12] LATINO, M. E. et al. Agriculture 4.0 as Enabler of Sustainable Agri-Food: A Proposed Taxonomy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 70, n. 10, p. 3678–3696, 1 out. 2023.
- [13] LOUTA, M.; BANTI, K.; KARAMPELIA, I. Emerging Technologies for Sustainable Agriculture: The Power of Humans and the Way Ahead. *IEEE Access*, v. 12, p. 98492–98529, 2024.



- [14] ZANG, S. et al. Formative assessment on the upward spiral patterns of students' high-order abilities under knowledge integration instruction. *Thinking Skills and Creativity*, v. 58, p. 101885, 1 dez. 2025.
- [15] FRANCIS, C. A. et al. Challenges in designing ecological agriculture education: A Nordic perspective on change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 16, n. 2, p. 89–95, 1 jun. 2001.
- [16] HENDERSON, C.; DANCY, M. H. Impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics in the United States. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 5, n. 2, 11 dez. 2009.
- [17] ASLAM, S. et al. Challenges in Implementing STEM Education: Insights from Novice STEM Teachers in Developing Countries. *Sustainability (Switzerland)*, v. 15, n. 19, 1 out. 2023.
- [18] HETTINGER, K.; LAZARIDES, R.; SCHIEFELE, U. Motivational climate in mathematics classrooms: teacher self-efficacy for student engagement, student- and teacher-reported emotional support and student interest. *ZDM - Mathematics Education*, v. 55, n. 2, p. 413–426, 1 mar. 2023.
- [19] BAZELAIS, P.; LEMAY, D. J.; DOLECK, T. Examining the Link Between Prior Achievement in Secondary Education and Performance in College: Using Data from Pre-university Physics Courses. *Journal of Formative Design in Learning*, v. 2, n. 2, p. 114–120, dez. 2018.
- [20] CAMPOS, F. M. Ardosia: Simulating Circuits and Robotic Systems in a Single Learning Platform. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, v. 16, n. 2, p. 166–177, 1 abr. 2023.
- [21] KAPICI, H. O. Does inquiry-based learning work better in regular classrooms or computer-based settings? *Instructional Science* 2025 53:4, v. 53, n. 4, p. 705–728, 26 abr. 2025.
- [22] JOVENTINO, C. F. et al. A Sim-to-real Practical Approach to Teach Robotics into K-12: A Case Study of Simulators, Educational and DIY Robotics in Competition-based Learning. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, v. 107, n. 1, p. 14, 17 jan. 2023.
- [23] CHATZICHRISTOFIS, S. A. Recent Advances in Educational Robotics. *Electronics* 2023, Vol. 12, Page 925, v. 12, n. 4, p. 925, 12 fev. 2023.
- [24] FERRARELLI, P.; IOCCHI, L. Learning Newtonian Physics through Programming Robot Experiments. *Technology, Knowledge and Learning*, v. 26, n. 4, p. 789–824, 18 dez. 2021.
- [25] BERNSTEIN, D. et al. Teaching with robotics: creating and implementing integrated units in middle school subjects. *Journal of Research on Technology in Education*, v. 54, n. 2, p. 161–176, 15 mar. 2022.
- [26] NGUGI, M. P.; MAINA, M. C.; BYRNE, A. P. The Impact of Robotic Activities on Secondary School Students' Interest in Physics in Kenya. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, v. 12, p. 53–59, 8 jan. 2023.
- [27] PONCE, P. et al. Use of Robotic Platforms as a Tool to Support STEM and Physical Education in Developed Countries: A Descriptive Analysis. *Sensors*, v. 22, n. 3, p. 1037–1037, 28 jan. 2022.
- [28] SILVA, F. T. DA et al. Open Innovation in Agribusiness: Barriers and Challenges in the Transition to Agriculture 4.0. *Sustainability*, v. 15, n. 11, p. 8562–8562, 25 maio 2023.



- [29] DA SILVEIRA, F.; LERMEN, F. H.; AMARAL, F. G. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 189, p. 106405, 1 out. 2021.
- [30] EROL, M.; DEMIR, Y. Resolution of Light Transmission via Arduino-Based STEM Education Material. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, v. 20, n. 2, p. 165–172, 4 dez. 2024.
- [31] DERAKHTI, A.; SANTIBANEZ GONZALEZ, E. D. R.; MARDANI, A. Industry 4.0 and Beyond: A Review of the Literature on the Challenges and Barriers Facing the Agri-Food Supply Chain. *Sustainability*, v. 15, n. 6, p. 5078–5078, 13 mar. 2023.
- [32] FRAGOMELI, R.; ANNUNZIATA, A.; PUNZO, G. Promoting the Transition towards Agriculture 4.0: A Systematic Literature Review on Drivers and Barriers. *Sustainability (Switzerland)*, v. 16, n. 6, p. 2425, 1 mar. 2024.
- [33] DA SILVEIRA, F. et al. Proposal for a framework to manage the barriers that hinder the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 214, p. 108281, 1 nov. 2023.
- [34] LI, Q. et al. The influence of teaching motivations on student engagement in an online learning environment in China. *Australasian Journal of Educational Technology*, v. 38, n. 6, 2022.
- [35] LOUKATOS, D.; GLYKOS, I.; ARVANITIS, K. G. Communicating the Automatic Control Principles in Smart Agriculture Education: The Interactive Water Pump Example. *Robotics 2025*, Vol. 14, Page 68, v. 14, n. 6, p. 68, 26 maio 2025.
- [36] VALLERA, F. L.; BODZIN, A. M. Integrating STEM with AgLIT (Agricultural Literacy Through Innovative Technology): The Efficacy of a Project-Based Curriculum for Upper-Primary Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 18, n. 3, p. 419–439, 1 mar. 2020.
- [37] DE CRISTOFORIS, P. et al. A Behavior-Based Approach for Educational Robotics Activities. *IEEE Transactions on Education*, v. 56, n. 1, p. 61–66, fev. 2013.
- [38] LOTRIET, H. H.; GOUWS, P. M. Educational robotics in physics education: a systematic review. *Studies in Science Education*, p. 1–30, 24 jan. 2025.
- [39] RETHLEFSEN, M. L. et al. PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Systematic Reviews*, v. 10, n. 1, p. 1–19, 26 jan. 2021.
- [40] AMARAL, L. A.; BELICH, H. Kleinberg's Navigation in Fractal Small-World Networks by Dynamic Rejection Sampling. *Brazilian Journal of Physics* 2021 51:6, v. 51, n. 6, p. 1858–1866, 9 out. 2021.
- [41] BAUMEISTER, R. F.; LEARY, M. R. Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology*, v. 1, n. 3, p. 311–320, 1 set. 1997.
- [42] HEMMELGARN, H. et al. Agroforestry education for high school agriculture science: an evaluation of novel content adoption following educator professional development programs. *Agroforestry Systems*, v. 93, n. 5, p. 1659–1671, 15 out. 2019.



- [43] KRAUS, S. et al. Literature reviews as independent studies: guidelines for academic practice. *Review of Managerial Science*, v. 16, n. 8, p. 2577–2595, 1 nov. 2022.
- [44] FIORINI, P. Encouraging robotics to take root [teaching tool. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 12, n. 3, p. 15, set. 2005.
- [45] BOYA-LARA, C. et al. Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, v. 19, n. 1, p. 7, 3 dez. 2022.
- [46] BRUDER, S.; WEDEWARD, K. Robotics in the classroom. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 10, n. 3, p. 25–29, set. 2003.
- [47] HONG, J.-C. et al. Developing physics concepts through hands-on problem solving: a perspective on a technological project design. *International Journal of Technology and Design Education*, v. 22, n. 4, p. 473–487, 31 nov. 2012.
- [48] HSIAO, H.-S. et al. Using robot-based practices to develop an activity that incorporated the 6E model to improve elementary school students' learning performances. *Interactive Learning Environments*, v. 30, n. 1, p. 85–99, 2 jan. 2022.
- [49] COMILLO, R. B.; MISTADES, V. M. IMPACT OF BRAIN-BASED TEACHING ON THE CONCEPTUAL UNDERSTANDING OF NEWTON'S LAWS OF MOTION. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, v. 14, n. 2, p. 216–228, 1 jun. 2025.
- [50] ORLANDO, S.; GAUDIOSO, E.; DE LA PAZ, F. Toward Embedding Robotics in Learning Environments With Support to Teachers: The IDEE Experience. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, v. 17, p. 874–884, 2024.