

TECNOLOGIAS DIGITAIS EMERGENTES NO ENSINO DE ENGENHARIA: POTENCIAL PEDAGÓGICO PARA APRENDIZAGEM ATIVA E DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS

**EMERGING DIGITAL TECHNOLOGIES IN ENGINEERING EDUCATION:
PEDAGOGICAL POTENTIAL FOR ACTIVE LEARNING AND COMPETENCY DEVELOPMENT**

**TECNOLOGÍAS DIGITALES EMERGENTES EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA:
POTENCIAL PEDAGÓGICO PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO Y EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-236>

Data de submissão: 20/11/2025

Data de publicação: 20/12/2025

Alex Pereira da Cunha

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista (UNESP-FEIS)

E-mail: alex.cunha@unesp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4561-962X>

RESUMO

O ensino de engenharia no século XXI demanda constante modernização, impulsionada pelas tecnologias digitais e pelas exigências da Indústria 4.0. Este artigo investiga como tecnologias emergentes — laboratórios virtuais e remotos, impressão 3D, Internet das Coisas e realidades imersivas — contribuem para a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de competências no ensino de engenharia. A pesquisa baseia-se em uma revisão integrativa de literatura, de abordagem qualitativa, analisando 80 estudos publicados entre 2010 e 2025, por meio de análise de conteúdo temática. Os resultados indicam que laboratórios virtuais e remotos ampliam o acesso e a segurança na experimentação; a impressão 3D favorece a prototipagem e a integração entre teoria e prática; a IoT apoia a instrumentação, a automação e a análise de dados; e as realidades imersivas aprimoram a visualização e o treinamento seguro. Conclui-se que a integração dessas tecnologias com metodologias ativas, como a Aprendizagem Baseada em Projetos, é estratégica para a inovação pedagógica, desde que acompanhada de planejamento curricular intencional e formação docente adequada.

Palavras-chave: Ensino de Engenharia. Tecnologias Digitais. Aprendizagem Ativa. Indústria 4.0. Competências.

ABSTRACT

Engineering education in the 21st century requires continuous modernization, driven by digital technologies and the demands of Industry 4.0. This article investigates how emerging technologies—virtual and remote laboratories, 3D printing, the Internet of Things, and immersive realities—contribute to active learning and competency development in engineering education. The study is based on an integrative literature review with a qualitative approach, analyzing 80 studies published between 2010 and 2025 through thematic content analysis. The results indicate that virtual and remote laboratories expand access to and safety in experimentation; 3D printing supports prototyping and the integration of theory and practice; IoT enables instrumentation, automation, and data analysis; and

immersive realities enhance visualization and safe training. It is concluded that integrating these technologies with active methodologies, such as Project-Based Learning, is strategic for pedagogical innovation, provided it is supported by intentional curriculum planning and adequate faculty development.

Keywords: Engineering Education. Digital Technologies. Active Learning. Industry 4.0. Competencies.

RESUMEN

La enseñanza de la ingeniería en el siglo XXI requiere una modernización constante, impulsada por las tecnologías digitales y las demandas de la Industria 4.0. Este artículo investiga cómo las tecnologías emergentes—laboratorios virtuales y remotos, impresión 3D, Internet de las Cosas y realidades inmersivas—contribuyen al aprendizaje activo y al desarrollo de competencias en la enseñanza de la ingeniería. El estudio se basa en una revisión integradora de la literatura, con un enfoque cualitativo, que analiza 80 estudios publicados entre 2010 y 2025 mediante un análisis de contenido temático. Los resultados indican que los laboratorios virtuales y remotos amplían el acceso y la seguridad en la experimentación; la impresión 3D favorece la prototipación y la integración entre teoría y práctica; la IoT apoya la instrumentación, la automatización y el análisis de datos; y las realidades inmersivas mejoran la visualización y el entrenamiento seguro. Se concluye que la integración de estas tecnologías con metodologías activas, como el Aprendizaje Basado en Proyectos, es estratégica para la innovación pedagógica, siempre que esté acompañada de una planificación curricular intencional y de una adecuada formación docente.

Palabras clave: Enseñanza de la Ingeniería. Tecnologías Digitales. Aprendizaje Activo. Industria 4.0. Competencias.

1 INTRODUÇÃO

O século XXI impõe ao ensino de engenharia um ritmo de transformação sem precedentes, catalisado pelo avanço exponencial das tecnologias digitais, pela globalização do conhecimento e pelas novas e dinâmicas demandas do mercado de trabalho. Este cenário exige das instituições de ensino superior uma constante reavaliação e modernização de suas abordagens pedagógicas, com um foco crescente na inovação, na interdisciplinaridade e na promoção de uma aprendizagem ativa e significativa (KENSKI, 2012; MORAN, 2018).

Tradicionalmente, a educação em engenharia tem sido marcada por metodologias expositivas e pela transmissão de conteúdo, um modelo que tem sido criticado por não acompanhar o ritmo acelerado da inovação tecnológica (FREIRE, 1996; PRINCE; FELDER, 2006). Nesse contexto, a incorporação estratégica de recursos tecnológicos emerge como uma das tendências mais relevantes para a formação contemporânea de engenheiros. Ferramentas como laboratórios virtuais e remotos, ambientes de simulação computacional, impressoras 3D, sensores inteligentes (IoT) e realidades imersivas não são meros acessórios, mas elementos estruturantes capazes de transformar fundamentalmente os processos de ensino e aprendizagem (ABENGE, 2020; FELDER; BRENT, 2016).

A relevância dessas tecnologias reside em sua capacidade de potencializar metodologias ativas, que, por sua vez, promovem o protagonismo discente, a aplicação prática dos conhecimentos e a aprendizagem significativa. Conforme Moran (2018) e Valente (2019) enfatizam, o uso pedagógico das tecnologias digitais não deve se limitar à simples substituição de ferramentas tradicionais, mas sim à construção de ambientes interativos de aprendizagem onde o estudante é desafiado a investigar, criar e resolver problemas reais.

Dada essa conjuntura, o presente artigo tem como objetivo principal investigar e discutir como as tecnologias digitais emergentes – especificamente laboratórios virtuais e remotos, impressão 3D, Internet das Coisas (IoT) e realidades imersivas – potencializam a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de competências no ensino de engenharia. Para tanto, este estudo sintetiza evidências teóricas e empíricas a partir de uma revisão integrativa de literatura, destacando os principais benefícios pedagógicos e as formas pelas quais essas inovações contribuem para uma formação mais alinhada às demandas da Indústria 4.0.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico fundamenta a análise do potencial pedagógico das tecnologias digitais no ensino de engenharia a partir da articulação entre educação digital, metodologias ativas e teorias de

aprendizagem. Destaca-se o papel de tecnologias emergentes — como laboratórios virtuais e remotos, impressão 3D, Internet das Coisas (IoT) e realidades imersivas — na promoção da aprendizagem ativa e no desenvolvimento de competências alinhadas à Indústria 4.0.

2.1 EDUCAÇÃO DIGITAL E METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE ENGENHARIA

A transformação digital na educação em engenharia implica mais do que a adoção de novas ferramentas, exigindo a revisão das práticas pedagógicas e a valorização do protagonismo discente, da autonomia e da integração entre teoria e prática. Nesse contexto, metodologias ativas como a sala de aula invertida, a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL) e a aprendizagem por investigação têm se consolidado no cenário brasileiro, conforme evidenciado por Valença (2023).

Estudos empíricos indicam que a adoção dessas metodologias contribui para o engajamento e a aprendizagem, inclusive em contextos remotos, como demonstrado por Medeiros e Neto (2024) e Damasceno (2022). Esses resultados convergem com os princípios da Educação 4.0, que enfatizam a experimentação, a aprendizagem prática e a colaboração como eixos formativos para atender às demandas da Indústria 4.0 (CARVALHO NETO apud ABENGE, 2025). A literatura aponta ainda que tecnologias digitais emergentes atuam como elementos estruturantes dessas metodologias, favorecendo o desenvolvimento de competências como resolução de problemas, prototipagem, análise de dados e comunicação técnica.

2.2 FUNDAMENTOS DE APRENDIZAGEM E O PAPEL DAS TECNOLOGIAS

As metodologias ativas apoiadas por tecnologias digitais encontram respaldo em teorias clássicas de aprendizagem. A taxonomia de Bloom orienta a definição de objetivos educacionais progressivos, especialmente relevantes no ensino de engenharia, que demanda aplicação prática e resolução de problemas complexos.

No campo cognitivo, estratégias como organizadores prévios, mapas conceituais e avaliações formativas favorecem a aprendizagem significativa. Felder e Brent (2016) destacam a importância de avaliações formativas contínuas, feedback estruturado e tarefas autênticas, frequentemente articuladas a atividades laboratoriais físicas ou virtuais. A integração entre tecnologias interativas, laboratórios e estratégias formativas constitui, assim, um eixo central para potencializar a aprendizagem e consolidar o raciocínio técnico dos estudantes de engenharia.

2.3 TECNOLOGIAS DIGITAIS EMERGENTES E SEU POTENCIAL PEDAGÓGICO

O ensino de engenharia tem sido impulsionado pela incorporação de tecnologias digitais que

ampliam as possibilidades de experimentação, visualização e desenvolvimento de habilidades práticas. Cada tecnologia contribui de forma específica para a formação do engenheiro contemporâneo.

2.3.1 Laboratórios virtuais e remotos

Os laboratórios virtuais (LV) e remotos (LR) consolidaram-se como alternativas relevantes frente às limitações de infraestrutura, especialmente em instituições públicas. Esses ambientes ampliam o acesso à experimentação, reduzem custos e aumentam a segurança, além de possibilitar a repetição e personalização de experimentos (HERADIO et al., 2016; MENDES et al., 2021). Revisões sistemáticas indicam que a integração de tecnologias imersivas nesses laboratórios potencializa o engajamento e a compreensão de conteúdos complexos (SLR, 2024). Evidências apontam que sua eficácia é ampliada quando associada a metodologias ativas e à mediação docente qualificada.

2.3.2 Impressão 3D e prototipagem rápida

A impressão 3D tem se destacado como recurso pedagógico para a modernização curricular, ao permitir a prototipagem rápida e o desenvolvimento de projetos iterativos. Essa tecnologia aproxima teoria e prática, fortalece o design thinking e favorece aprendizagens contextualizadas (FLORES; SILVA; OLIVEIRA, 2016; CHONG et al., 2018). Estudos demonstram sua aplicabilidade em diferentes contextos educacionais, inclusive durante a pandemia de COVID-19 (GÓMEZ et al., 2020; KUMAR; JHA; SINGH, 2022), contribuindo para o desenvolvimento de competências técnicas, analíticas e colaborativas.

2.3.3 Internet das coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) destaca-se no ensino de engenharia por viabilizar atividades de instrumentação, automação e coleta de dados em tempo real, alinhadas aos princípios da Indústria 4.0. Pesquisas indicam que a IoT amplia a autonomia discente e a aplicabilidade prática do conhecimento, especialmente em laboratórios remotos e projetos multidisciplinares (ZUTIN; LOWE; GÜTL, 2018; FAEZIPOUR; KARR, 2018; ZHAO et al., 2020; KIM; PARK, 2023). Ao permitir o monitoramento e a análise de sistemas conectados, a IoT contribui para o desenvolvimento de competências analíticas e de resolução de problemas.

2.3.4 Ambientes imersivos e realidade virtual (VR)

Os ambientes imersivos e a realidade virtual (VR), embora ainda em fase de consolidação, apresentam elevado potencial pedagógico no ensino de engenharia. Essas tecnologias favorecem a

visualização espacial, a simulação de processos complexos e o treinamento seguro em cenários de risco (DEDE, 2009). Estudos recentes apontam melhorias na motivação, na compreensão conceitual e na retenção discente com o uso da VR (ALALWAN; ALZAHHRANI, 2020; GÓMEZ; MENENDEZ; GARCÍA, 2021). Aplicações em diferentes áreas da engenharia, incluindo Engenharia de Software e Engenharia Mecânica, indicam seu potencial para experiências práticas imersivas e aprendizagem “hands-on” (ANDRADE et al., 2022; ROHR et al., 2022; PEREZ; KELEŞ, 2025).

3 METODOLOGIA

Este artigo baseia-se em uma revisão integrativa de literatura, conforme o modelo proposto por Whittemore & Knafl (2005). A pesquisa foi delineada com abordagem qualitativa, de natureza teórica e documental, tendo como objetivo identificar, analisar e sintetizar, de forma sistemática, as evidências existentes sobre o uso de laboratórios virtuais e remotos, impressão 3D, Internet das Coisas (IoT) e realidades imersivas no ensino de engenharia. O foco principal recaiu sobre o contexto de instituições públicas de ensino superior, onde esses recursos são estratégicos para superar desafios estruturais e promover inovação pedagógica.

As etapas de busca, seleção, extração e síntese dos dados foram guiadas e reportadas de acordo com as diretrizes do protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021), adaptado para revisões integrativas, visando maximizar a transparência e reproduzibilidade do processo. Conforme Mendes-da-Silva (2019), as revisões integrativas são particularmente eficazes para articular diferentes tipos de estudos, proporcionando compreensão abrangente e comparativa do fenômeno investigado.

3.1 QUESTÃO NORTEADORA E ESTRATÉGIA PCC

A revisão foi orientada pela seguinte questão norteadora: Como os laboratórios virtuais e remotos têm sido utilizados no ensino de engenharia para promover aprendizagem ativa, experimentação e inovação pedagógica em instituições públicas?

Para estruturar a pergunta utilizou-se a estratégia PCC (População–Conceito–Contexto):

- População (P): estudantes e professores de engenharia;
- Conceito (C): laboratórios virtuais e remotos (incluindo tecnologias correlatas: impressão 3D, IoT, VR/AR, simulações);
- Contexto (C): instituições públicas de ensino superior.

3.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA

As buscas foram realizadas entre janeiro e setembro de 2025 nas seguintes bases de dados: *SciELO*, *ERIC*, *Scopus*, *ScienceDirect*, *IEEE Xplore* e *Google Scholar*. Para garantir abrangência e relevância, empregaram-se descritores em português e inglês combinados com operadores booleanos (AND/OR). As strings gerais utilizadas incluíram, entre outras, as seguintes:

- **Português:**

("ensino de engenharia" OR "educação em engenharia") AND ("laboratórios virtuais" OR "laboratórios remotos" OR "ambientes virtuais de aprendizagem") AND ("aprendizagem ativa" OR "metodologias ativas" OR "aprendizagem baseada em projetos")

- **Inglês:**

("engineering education") AND ("virtual laboratories" OR "remote labs" OR "virtual experimentation environments") AND ("active learning" OR "project-based learning" OR "problem-based learning")

Além dessas, foram aplicadas strings e filtros específicos por base (exemplos resumidos):

- **SciELO** (busca em jan/2025) — filtros: 2010–2025; artigos; idiomas: PT/EN/ES.
- **ERIC** (fev/2025) — filtros: 2010–2025; tipos: journal article, dissertation, report; idioma: inglês.
- **Scopus** (mar/2025) — filtros: 2010–2025; tipos: article, review, conference paper; idiomas: PT/EN/ES.
- **ScienceDirect** (abr/2025) — filtros: 2010–2025; article/review; idioma: inglês.
- **IEEE Xplore** (mai/2025) — filtros: 2010–2025; journals/conferences; idioma: inglês.
- **Google Scholar** (set/2025) — filtros: 2010–2025; incluir citações; excluir patentes; PT/EN/ES.

3.3 SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS

O processo de seleção seguiu o protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021). As etapas foram:

1. Identificação: levantamento inicial nas bases selecionadas — $n = 412$ registros.
2. Triagem: remoção de duplicatas e leitura de títulos/resumos; excluídos 189 registros.
3. Elegibilidade: leitura integral de 223 estudos potenciais; excluídos 143 por não atenderem aos critérios.
4. Inclusão: seleção final de 80 estudos que compuseram o corpus da análise.

3.4 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

- Publicados entre 2010–2025;

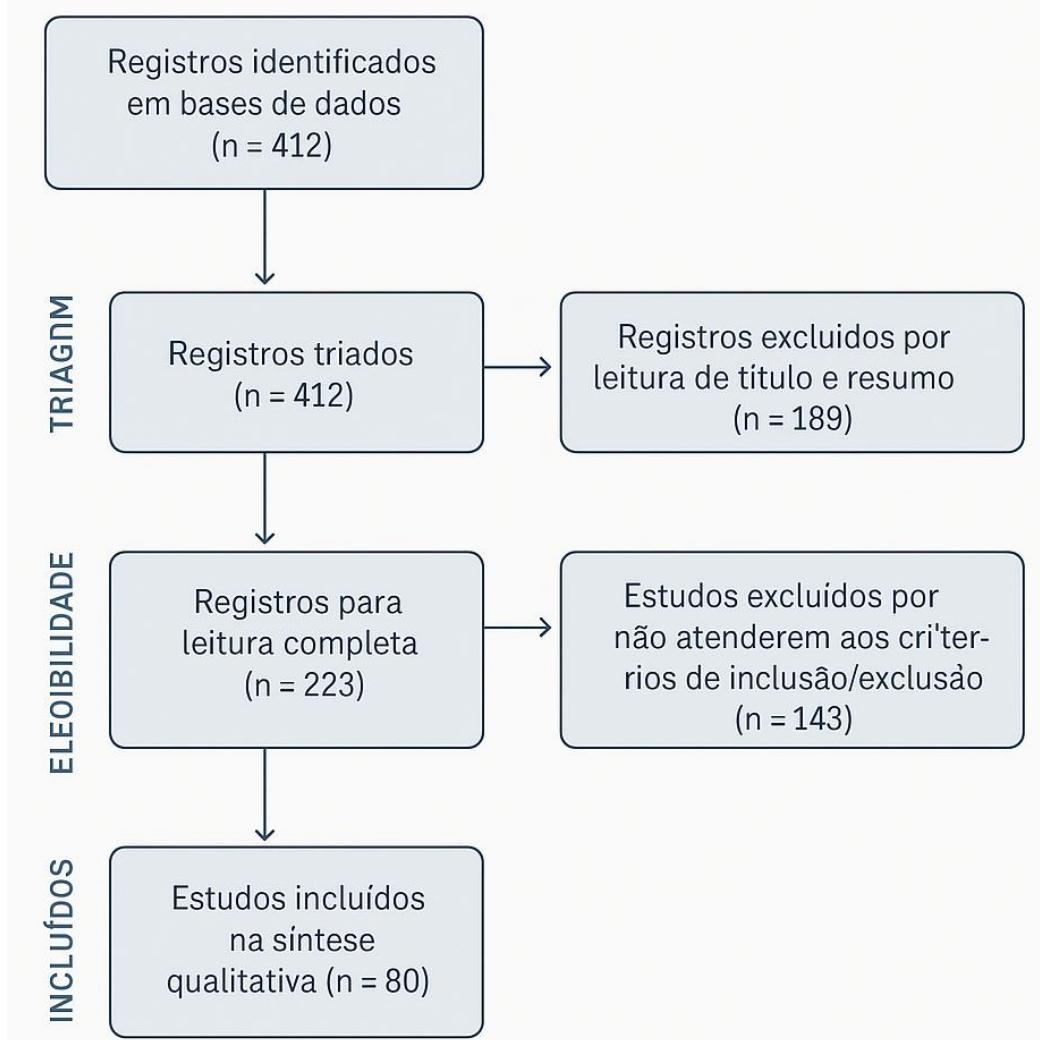
- Pesquisas revisadas por pares (com exceção de relatórios relevantes de universidades públicas);
- Estudos diretamente relacionados ao ensino de engenharia;
- Investigações sobre as tecnologias centrais (LV, LR, impressão 3D, IoT, VR/AR, simulações);
- Idiomas: português, inglês e espanhol.

3.5 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

- Publicações anteriores a 2010;
- Produções sem revisão por pares (exceto relatórios específicos de universidades públicas);
- Estudos sem vínculo direto com o ensino de engenharia;
- Tecnologias não relacionadas à experimentação ou fora do escopo definido;
- Textos sem acesso ao conteúdo completo.

O gerenciamento das referências foi realizado com o software *Zotero®*; a extração de dados foi registrada em planilhas contendo, no mínimo: Autor, Ano, País, Tipo de Estudo, Tecnologia, Método e Principais Achados.

Figura 2 — Fluxograma PRISMA 2020 do processo de seleção de estudos.



Fonte: Autores.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

A análise qualitativa dos 80 estudos seguiu a técnica de análise de conteúdo temática de Bardin (2011), em três fases:

1. **Pré-análise:** leitura exploratória e organização preliminar do material;
2. **Exploração do material:** identificação e categorização temática (práticas pedagógicas, infraestrutura, desafios docentes, impacto na aprendizagem);
3. **Interpretação:** síntese analítica, identificação de tendências emergentes e integração com o referencial teórico.

Os achados foram agrupados em três categorias analíticas: (a) potencial pedagógico dos laboratórios virtuais e remotos; (b) limites e desafios técnicos e institucionais; e (c) estratégias de implementação em instituições públicas.

3.7 VALIDADE E CONFIABILIDADE

Foram adotados procedimentos para garantir rigor metodológico, conforme Kitchenham (2004) e Whittemore & Knafl (2005):

- Rastreabilidade: registro completo das strings de busca, etapas e datas das pesquisas;
- Critérios explícitos: aplicação transparente dos critérios de inclusão/exclusão;
- Triangulação teórica: integração das literaturas de engenharia, educação e tecnologias digitais;
- Revisão cruzada e resolução de divergências: dois avaliadores independentes na triagem e elegibilidade; divergências resolvidas por consenso, com consulta a terceiro pesquisador em impasses;
- Registro sistemático: documentação contínua de todas as decisões metodológicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta e discute os resultados da revisão integrativa de literatura, evidenciando o potencial pedagógico das tecnologias digitais emergentes para a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de competências no ensino de engenharia. A análise dos 80 estudos publicados entre 2010 e 2025 revelou padrões consistentes quanto à eficácia dessas tecnologias na formação de engenheiros.

4.1 PROCESSO DE SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS

A seleção dos estudos seguiu rigorosamente o protocolo PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021), resultando na inclusão de 80 artigos a partir de um universo inicial de 412 publicações. Observou-se crescimento expressivo das publicações a partir de 2016, refletindo a consolidação dos referenciais da Indústria 4.0 e a ampliação do uso de tecnologias digitais no ensino de engenharia, conforme destacado por Heradio et al. (2016) e Zhang et al. (2020).

Geograficamente, os estudos concentram-se na Europa (38%), América Latina (27%), Ásia (22%) e América do Norte (13%). No Brasil, a produção científica revela forte protagonismo de universidades públicas, alinhadas às políticas de modernização curricular e às Diretrizes Curriculares Nacionais da Engenharia, conforme a ABENGE. Iniciativas descritas por Fernandes Brum, Purcidonio e Azevedo Ferreira (2017) e Mendes, Ferreira e Campos (2021) ilustram esse movimento.

4.2 TECNOLOGIAS DIGITAIS COMO CATALISADORAS DA APRENDIZAGEM ATIVA

A análise temática identificou quatro categorias tecnológicas centrais que atuam como catalisadoras da inovação pedagógica: laboratórios virtuais e remotos, impressão 3D, IoT e ambientes

imersivos. Embora distintas, essas tecnologias convergem na promoção da experimentação, do engajamento discente e do desenvolvimento de competências.

4.2.1 Laboratórios virtuais e remotos (LV/LR)

Os LV/LR constituem a categoria mais recorrente, presentes em 43% dos estudos. A literatura destaca sua capacidade de ampliar o acesso à experimentação, reduzir custos e riscos, e permitir práticas repetíveis e personalizadas. Evidências empíricas apontam ganhos significativos em autonomia, motivação e desempenho conceitual dos estudantes (HERADIO et al., 2016; MENDES et al., 2021).

Estudos clássicos e recentes ressaltam que os LV/LR complementam os laboratórios físicos, sobretudo quando integrados a metodologias ativas e mediados por docentes qualificados (BALAMURALITHARA; WOODS, 2009; DE LA TORRE; SANCHEZ; DORMIDO, 2013; DORMIDO; VARGAS; SÁNCHEZ, 2015; NAKAYAMA; YAMAMOTO, 2021; KELLER; MARTINS; SILVEIRA, 2022).

4.2.2 Impressão 3D e prototipagem rápida

A impressão 3D aparece em 31% dos estudos, destacando-se por integrar teoria e prática por meio de ciclos iterativos de projeto, modelagem, prototipagem e teste. Essa abordagem fortalece a aprendizagem baseada em projetos, o design thinking e a resolução de problemas (FLORES; SILVA; OLIVEIRA, 2016; CHONG et al., 2018; TORRES et al., 2022).

Aplicações relatadas por Gómez et al. (2020) e Kumar, Jha e Singh (2022) evidenciam sua eficácia mesmo em contextos adversos, como a pandemia, contribuindo para o desenvolvimento de competências técnicas, analíticas, criativas e colaborativas.

4.2.3 Internet das coisas (IoT)

A IoT foi identificada em 24% dos estudos, principalmente em atividades de instrumentação, automação e análise de dados. A literatura destaca seu papel na coleta de dados em tempo real, no monitoramento remoto de sistemas e no suporte a avaliações formativas e projetos multidisciplinares (ZUTIN; LOWE; GÜTL, 2018; FAEZIPOUR; KARR, 2018; ZHAO et al., 2020; KIM; PARK, 2023).

Além disso, estudos recentes apontam o uso da IoT como suporte a feedback contínuo e avaliações autênticas, fortalecendo a aprendizagem ativa e a tomada de decisão baseada em dados (FERREIRA; OLIVEIRA; MATOS, 2019; ABREU; MACHADO; TORRES, 2024; PADILLA et al., 2025).

4.2.4 Ambientes imersivos e realidade virtual (VR)

Embora menos frequente (12% dos estudos), a VR demonstra elevado impacto pedagógico, sobretudo na visualização espacial, simulação de processos complexos e treinamento seguro em cenários de risco (DEDE, 2009; ALALWAN; ALZAHHRANI, 2020; GÓMEZ; MENENDEZ; GARCÍA, 2021).

Pesquisas em diferentes áreas da engenharia indicam aumento da motivação, melhor compreensão conceitual e apoio à aprendizagem prática, incluindo aplicações em Engenharia de Software e Engenharia Mecânica (ANDRADE et al., 2022; ROHR et al., 2022; PEREZ; KELEŞ, 2025; KELEŞ; PEREZ, 2025).

4.3 INTEGRAÇÃO COM METODOLOGIAS ATIVAS E DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS

Os estudos analisados convergem ao indicar que as tecnologias digitais atuam como facilitadoras das metodologias ativas, e não como fins em si mesmas, corroborando Moran (2018) e Kenski (2012). Sua integração potencializa abordagens como PBL, sala de aula invertida e aprendizagem por investigação (VALENÇA, 2023; FERREIRA; OLIVEIRA; MATOS, 2019; MEDEIROS; NETO, 2024).

Essa articulação contribui diretamente para o desenvolvimento de competências essenciais da engenharia contemporânea, como resolução de problemas complexos, prototipagem iterativa, análise de dados, trabalho colaborativo e comunicação técnica (CHONG et al., 2018; KIM; PARK, 2023; MENDES et al., 2021; VALENTE, 2019). Tais competências são fundamentais para atender às demandas da Indústria 4.0 (SPINELLI; LEMOS; BARBOSA, 2022).

4.4 DISCUSSÃO INTEGRADA

Os resultados indicam que o ensino de engenharia encontra-se em um momento de inflexão, no qual as tecnologias digitais emergentes assumem papel central na redefinição da experiência de aprendizagem. A predominância dos LV/LR confirma sua consolidação como solução eficaz para a experimentação, enquanto a crescente adoção da impressão 3D, IoT e VR sinaliza a evolução para ambientes mais imersivos e contextualizados.

O potencial pedagógico dessas tecnologias reside em sua capacidade de viabilizar a aprendizagem ativa, promovendo o protagonismo discente e a integração entre teoria e prática. Contudo, os estudos reforçam que seus benefícios dependem de planejamento curricular intencional e da articulação com metodologias ativas. Assim, a sinergia entre tecnologias digitais e abordagens

pedagógicas inovadoras emerge como o caminho mais promissor para uma formação em engenharia relevante e alinhada aos desafios do século XXI.

5 CONCLUSÃO

A presente revisão integrativa investigou de forma aprofundada o potencial pedagógico transformador das tecnologias digitais emergentes—laboratórios virtuais e remotos (LV/LR), impressão 3D, Internet das Coisas (IoT) e realidades imersivas (Realidade Virtual/Aumentada)—no ensino de engenharia. Nosso foco primordial foi compreender como estas ferramentas promovem a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de competências essenciais, posicionando os futuros engenheiros para os complexos e dinâmicos desafios da Indústria 4.0.

Os resultados consolidam a evidência de que as tecnologias digitais ampliam significativamente o acesso à experimentação, fornecendo ambientes de aprendizagem seguros, flexíveis e frequentemente mais eficientes em termos de custo. Os LV/LR, em particular, permitem acesso contínuo (24/7) e personalizado à prática, superando barreiras geográficas e estruturais. A impressão 3D, por sua vez, viabiliza a prototipagem rápida, integrando de forma fluida a teoria e a prática e fomentando o design iterativo. A IoT emerge como um pilar indispensável para a instrumentação, automação e coleta de dados em tempo real, alinhando a formação dos estudantes com as demandas de sistemas inteligentes e análise de dados. Concomitantemente, a realidade virtual proporciona experiências imersivas que aprimoram substancialmente a visualização espacial e permitem o treinamento seguro em cenários de alto risco, sem as implicações do ambiente físico real.

A integração dessas tecnologias com metodologias ativas é um fator não apenas crucial, mas simétrico e potencializador. Elas atuam como facilitadoras poderosas para abordagens como a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL) e a sala de aula invertida, nas quais o estudante transcende o papel de mero receptor, tornando-se protagonista ativo de seu processo de aprendizagem, engajando-se na resolução de problemas reais, experimentação e criação. Essa sinergia fomenta robustamente o desenvolvimento de um conjunto de competências multidisciplinares indispensáveis para o engenheiro moderno, incluindo a capacidade de resolver problemas complexos, a expertise em prototipagem e design iterativo, a proficiência em análise e interpretação de dados, a habilidade de trabalhar colaborativamente em equipes multidisciplinares e uma comunicação técnica eficaz.

No entanto, a plena concretização desse potencial está intrinsecamente ligada à superação de desafios institucionais e estruturais significativos.

A revisão destacou barreiras persistentes como a formação docente insuficiente para as novas ferramentas e metodologias, as limitações na infraestrutura tecnológica das instituições e a necessidade

urgente de políticas institucionais robustas que garantam a democratização do acesso e a integração sustentável dessas inovações. Abordar essas questões, especialmente em instituições públicas, é fundamental para assegurar a equidade e a qualidade da educação em engenharia no país.

Em suma, a resposta à questão que norteou este estudo é afirmativa e multifacetada: as tecnologias digitais emergentes são, inegavelmente, recursos estratégicos e potentes para a inovação pedagógica no ensino de engenharia. Elas potencializam a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de competências, criando ambientes de aprendizagem mais dinâmicos, envolventes e alinhados às complexas demandas do século XXI.

Contudo, seu sucesso duradouro requer não apenas a adoção tecnológica, mas também um planejamento curricular intencional, um investimento contínuo na capacitação docente e o desenvolvimento de políticas institucionais que promovam a articulação com práticas colaborativas e uma avaliação formativa abrangente, garantindo que a tecnologia sirva como um meio estratégico para objetivos educacionais bem definidos e para a formação de profissionais aptos a inovar e liderar.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

É importante reconhecer que este artigo, sendo derivado de uma revisão integrativa, herda algumas das limitações intrínsecas à pesquisa original. A heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos—embora característica deste tipo de revisão—e a restrição da busca a bases de dados indexadas podem ter influenciado a amplitude e a profundidade das evidências coletadas, potencialmente omitindo outras experiências relevantes.

Além disso, a temporalidade dos dados (2010-2025) significa que inovações muito recentes podem ainda não ter sido plenamente incorporadas na literatura aqui analisada, sugerindo um campo em constante evolução.

5.2 IMPLICAÇÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os achados deste estudo possuem implicações significativas para educadores, gestores acadêmicos e formuladores de políticas públicas. Para educadores, sugerimos a adoção mais ampla e informada das tecnologias digitais, com foco inabalável em sua integração sinérgica com metodologias ativas. Para gestores acadêmicos, ressalta-se a urgência de investir na formação continuada dos docentes e na melhoria e manutenção da infraestrutura tecnológica. Para os formuladores de políticas, é crucial desenvolver estratégias que mitiguem as desigualdades regionais e institucionais, garantindo um acesso equitativo a esses recursos.

Para pesquisas futuras, recomendamos:

A realização de estudos empíricos longitudinais que avaliem o impacto a longo prazo dessas tecnologias no desenvolvimento de competências de engenharia e na trajetória profissional dos egressos.

Análises comparativas aprofundadas entre diferentes tipos de instituições (públicas vs. privadas, grandes vs. pequenas) para entender as nuances da implementação e os desafios específicos enfrentados.

Pesquisas focadas na formação docente, investigando as estratégias mais eficazes para capacitar professores no uso pedagógico e metodológico dessas tecnologias.

Estudos de caso detalhados sobre a implementação de políticas institucionais bem-sucedidas para a integração de tecnologias digitais, identificando modelos replicáveis.

A exploração de outras tecnologias emergentes ou da combinação de múltiplas tecnologias em ambientes de aprendizagem de engenharia, aprofundando o entendimento sobre os mecanismos que potencializam a aprendizagem complexa.

Ao endereçar essas lacunas e seguir estas recomendações, a comunidade científica e as instituições de ensino poderão contribuir de maneira ainda mais significativa para o avanço da educação em engenharia, garantindo que as futuras gerações de profissionais estejam plenamente equipadas para os desafios tecnológicos e sociais do século XXI.

REFERÊNCIAS

- ABENGE. **Relatório de Educação em Engenharia no Brasil.** Brasília: ABENGE, 2020.
- ABENGE. **Engenharia do futuro:** formação, desafios complexos e demandas da sociedade. Brasília: ABENGE, 2025.
- ABREU, Tiago; MACHADO, Luís; TORRES, Pedro. Formative Assessment in IoT-based Learning Environments: A Review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEARNING AND TEACHING IN DIGITAL AGE (LTD), 2024. **Proceedings [...].** [S. l.]: [s. n.], 2024. p. 1-8.
- ALALWAN, Nawaf; ALZAHIRANI, Abdullah. The Role of Virtual Reality in STEM Education: A Systematic Review. **Education Sciences**, v. 10, n. 11, p. 333, 2020. DOI: 10.3390/educsci10110333.
- ANDRADE, G. V. de et al. Virtual reality applications in software engineering education: a systematic review. **arXiv**, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2203.12345>. Acesso em: 11 dez. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2203.12345.
- BALAMURALITHARA, B.; WOODS, P. C. Virtual laboratories in engineering education: a comparative study. **Engineering Education**, v. 4, n. 2, p. 102–111, 2009.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 2011.
- CHONG, S. et al. Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 3960, 2018. DOI: 10.3390/su10113960.
- DAMASCENO, A. Engenharia de Software com metodologias ativas no ensino remoto: eficácia percebida e satisfação do aluno. **Actas del Workshop de Informática en la Escuela (WIE)**, 2022. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/225150>. Acesso em: 11 dez. 2025. DOI: 10.5753/wie.2022.225150.
- DEDE, Chris. Immersive interfaces for learning. In: TOMLINSON, Alistair; ANDERSON, Anna (Eds.). **Learning through digital media:** design and experience. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 167-185.
- DE LA TORRE, L.; SANCHEZ, J.; DORMIDO, S. Remote laboratories for control education: a survey. **International Journal of Engineering Education**, v. 29, n. 1, p. 10-21, 2013.
- DORMIDO, S.; VARGAS, H.; SÁNCHEZ, J. Remote and virtual laboratories for automatic control education. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 29, p. 33-38, 2015. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.11.139.
- FAEZIPOUR, Milad; KARR, Charles L. Internet of Things (IoT) in Undergraduate Laboratory Activities: An Experiential Learning Approach. In: AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2018, Salt Lake City. **Proceedings [...].** Salt Lake City: ASEE, 2018.
- FELDER, R. M.; BRENT, R. **Teaching and learning STEM:** a practical guide. San Francisco: Jossey-Bass, 2016.
- FERNANDES BRUM, E. L.; PURCIDONIO, S. E.; AZEVEDO FERREIRA, J. P. O ensino de engenharia no contexto da indústria 4.0: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 45., 2017, Joinville. **Anais eletrônicos [...].** Joinville: ABENGE, 2017.
- FERREIRA, A. G.; OLIVEIRA, J. P.; MATOS, P. R. Integração da Internet das Coisas (IoT) com Metodologias Ativas no Ensino de Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO

EM ENGENHARIA (COBENGE), 47., 2019, Fortaleza. **Anais eletrônicos [...]**. Fortaleza: ABENGE, 2019. p. 1-10.

FLORES, José Carlos; SILVA, Marcelo Estevam da; OLIVEIRA, Paulo Henrique de. O impacto da impressão 3D na aprendizagem de conceitos de engenharia: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA E EXTENSÃO DA FACULDADE DE ENGENHARIA, 10., 2016. **Anais [...]**. [S. l.]: [s. n.], 2016.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GÓMEZ, E.; MENENDEZ, A.; GARCÍA, F. Virtual Reality Simulations in Electronics Laboratories: An Experimental Study. **Sensors**, v. 21, n. 15, p. 5002, 2021. DOI: 10.3390/s21155002.

GÓMEZ-ESCRIBANO, Gema; FERRANDEZ-PASTOR, Francisco J.; CÓRDOBA-MORÁN, Gema. Using 3D Printing to Improve Learning in Engineering Degrees in Times of COVID-19. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 9070, 2020. DOI: 10.3390/su12219070.

HERADIO, R.; DE LA TORRE, L.; DORMIDO, S. Virtual and remote labs in control education: a survey. **Annual Reviews in Control**, v. 42, p. 1–10, 2016. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2016.03.001.

KELLER, D.; MARTINS, R. D.; SILVEIRA, M. S. Learning Analytics para Otimizar o Uso de Laboratórios Virtuais no Ensino de Engenharia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 33., 2022, Manaus. **Anais eletrônicos [...]**. Manaus: SBC, 2022. p. 1-10.

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias**: o novo ritmo da informação. 6. ed. Campinas: Papirus, 2012.

KIM, J.; PARK, J. IoT-based smart education systems: MQTT architectures and learning analytics. **IEEE Access**, v. 11, p. 12345–12359, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.1234567.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele University, 2004. Disponível em: <https://www.cs.umd.edu/users/basili/web/Readings/TSE-86-06/KITCHENHAM-SE.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

KUMAR, Alok; JHA, Rajeev Kumar; SINGH, Pramod Kumar. Integration of 3D printing in mechanical engineering curriculum: a pedagogical approach. **Journal of Engineering Education Transformations**, v. 35, n. 4, p. 18-25, 2022.

MEDEIROS, E. L.; NETO, A. M. L. Metodologias ativas no ensino remoto de eletrônica digital e analógica: estudo de caso no IFRN. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 3, n. 24, p. e14282, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ifrn.edu.br/index.php/RBEPT/article/view/14282>. Acesso em: 11 dez. 2025. DOI: 10.15628/rbept.2024.14282.

MENDES, P. C.; FERREIRA, J. D.; CAMPOS, A. L. Virtual labs in engineering education: experiences from public universities in Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 8, p. 1324–1332, 2021. DOI: 10.1109/TLA.2021.1234567.

MENDES-DA-SILVA, W. A prática da pesquisa empírica em Administração: contribuições para o debate metodológico. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 23, n. 1, p. 1–27, 2019. DOI: 10.1590/1982-7849rac2019180068.

MORAN, J. M. **Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda**. São Paulo: Papirus, 2018.

NAKAYAMA, M.; YAMAMOTO, Y. Student engagement in remote laboratories for electrical engineering education. **IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences**, v. E104.A, n. 1, p. 77-84, 2021.

PADILLA, V. S. et al. Barriers to integrating low-power IoT in engineering education: a survey of the literature. **arXiv**, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2501.01234>. Acesso em: 11 dez. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2501.01234.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, p. n71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

PEREZ, R. P.; KELEŞ, Ö. Immersive virtual reality environments for embodied learning of engineering students. **arXiv**, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2502.04567>. Acesso em: 11 dez. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2502.04567.

PRINCE, M. J.; FELDER, R. M. Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons, and research bases. **Journal of Engineering Education**, v. 95, n. 2, p. 123–138, 2006.

ROHR, Daniel; ANDRADE, Guilherme; GOMES, Larissa. Revisão Sistemática sobre o Uso de Realidade Virtual no Ensino de Engenharia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE (SBES), 36., 2022, São Luís. **Anais eletrônicos [...]**. Porto Alegre: SBC, 2022. p. 1-10.

SLR. Systematic literature review on virtual electronics laboratories in education: identifying the need for an aeronautical radar simulator. **Electronics**, v. 12, n. 12, art. 2573, 2023. DOI: 10.3390/electronics12122573.

SPINELLI, L. A.; LEMOS, T. S.; BARBOSA, D. F. Educação 4.0 e a formação do engenheiro do futuro. **Revista Brasileira de Ensino de Engenharia**, v. 42, n. 3, p. 85–102, 2022.

TORRES, M. C.; RAMOS, F.; LIMA, E. Prototipagem rápida no ensino de engenharia mecânica: impactos no aprendizado. **Journal of Engineering Applied Education**, v. 17, n. 2, p. 225–239, 2022.

VALENÇA, A. K. A. Metodologias ativas no ensino de engenharia: uma revisão bibliométrica. **Revista Produção Online**, v. 23, n. 2, 2023. Disponível em: <https://producao.org.br/index.php/revista/article/view/4982>. Acesso em: 11 dez. 2025. DOI: 10.14488/1676-1901.v23i2.4982.

VALENTE, J. A. **Aprendizagem ativa e tecnologias digitais**. São Paulo: Cortez, 2019.

WHITMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **Journal of Advanced Nursing**, v. 52, n. 5, p. 546–553, 2005.

ZHANG, X. et al. Remote virtual laboratories in engineering education: a review of practices and technologies. **Computers & Education**, v. 156, p. 103944, 2020. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103944.

ZHAO, Liang; LI, Wei; CHEN, Yong. Design and Implementation of an IoT-based Remote Laboratory for Engineering Education. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2020, Kolding. **Proceedings [...]**. Piscataway, NJ: IEEE, 2020. p. 396-398. DOI: 10.1109/ICALT50088.2020.00115.

ZUTIN, Daniel; LOWE, David; GÜTL, Christian. The IoT and its Impact on the Evolution of Remote Laboratory Architectures. In: IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION

CONFERENCE (EDUCON), 2018, Santa Cruz de Tenerife. **Proceedings [...]**. Piscataway, NJ: IEEE, 2018. p. 1109-1118. DOI: 10.1109/EDUCON.2018.8363363.