

## Tecnologias digitais emergentes no ensino de engenharia: Potencial pedagógico para aprendizagem ativa e desenvolvimento de competências

**Alex Pereira da Cunha**

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: 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.

### 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; ALZAHRANI, 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.

### **3.3.1 Critérios de inclusão**

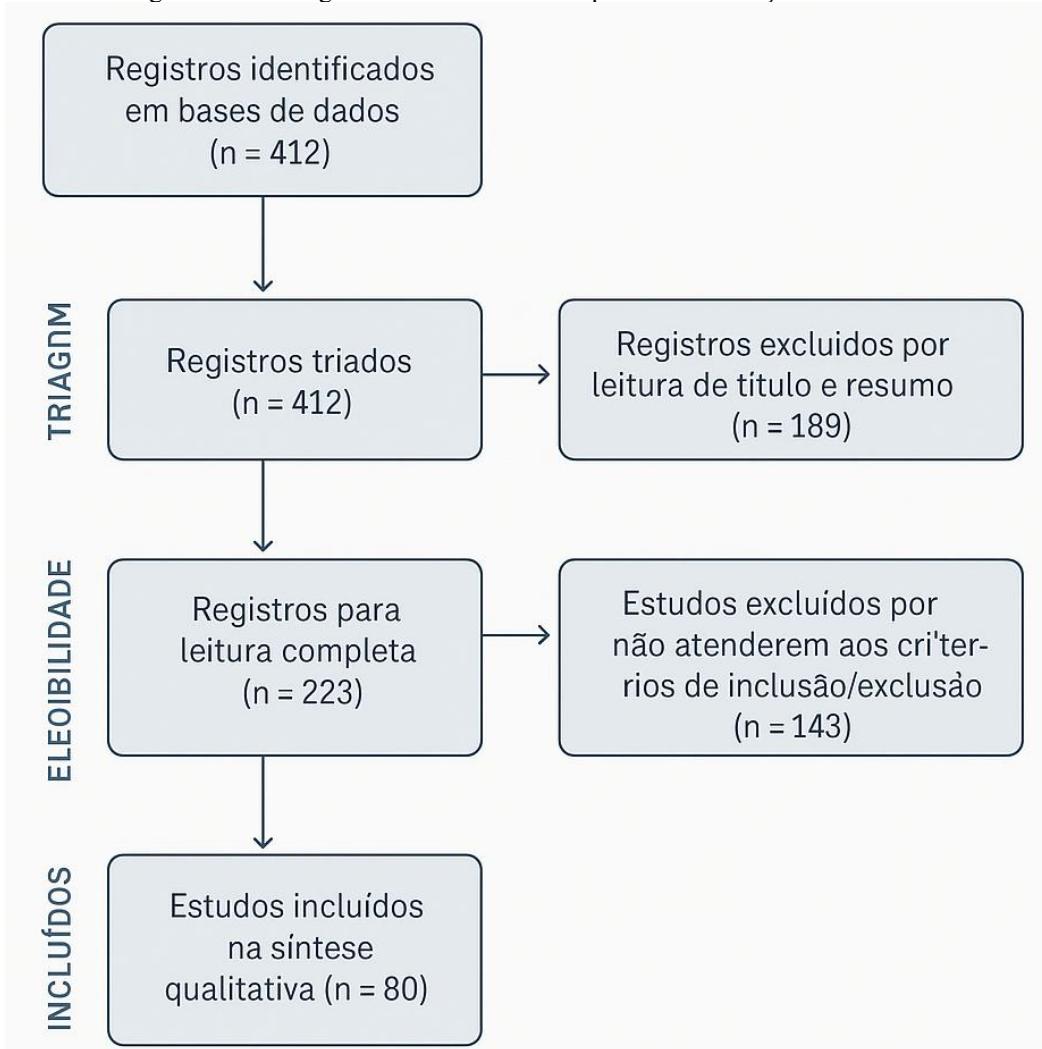
- Publicados entre 2010–2025;
- Pesquisas revisadas por pares (com exceção de relatórios relevantes de universidades públicas);
- Estudos diretamente relacionados ao ensino de engenharia;
- Investigações sobre as tecnologias centrais (LV, LR, impressão 3D, IoT, VR/AR, simulações);
- Idiomas: português, inglês e espanhol.

### **3.3.2 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.

### 3.4 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.

### 3.5 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.