



Impactos da realidade aumentada na engenharia

Denis Gomes Bomfim¹; Fernando da Silva Pereira²

Como Citar:

BOMFIM, Denis Gomes; PEREIRA, Fernando da Silva. Impactos da Realidade Aumentada na Engenharia. Revista Sociedade Científica, vol. 8, n. 1, p. 2352-2371, 2025.
<https://doi.org/10.61411/rsc2025117618>

DOI: 10.61411/rsc2025117618

Área do conhecimento:

Engenharias

Sub-área:

Engenharia de Computação; Engenharia de Software

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Engenharia, Inovação Tecnológica, Visualização 3D, Colaboração.

Publicado: 19 de novembro de 2025

Resumo

A Realidade Aumentada (RA) está revolucionando todos os aspectos da Engenharia, apresentando novas maneiras de projetar, desenvolver, construir, testar e manter em várias áreas. O presente artigo examina a influência da realidade aumentada na Engenharia de maneira geral, evidenciando suas aplicações, benefícios, desafios e a maneira como se integra às metodologias já existentes. Com base em uma revisão abrangente da literatura, consolidamos o conhecimento atual sobre o assunto. Os dados indicam que a RA aprimora a visualização de projetos, auxilia na detecção precoce de problemas, otimiza o planejamento e a execução de atividades, e torna o treinamento de equipes mais eficaz e seguro. Mesmo diante da complexidade do desenvolvimento de interfaces, da necessidade de ferramentas específicas e da compatibilidade entre sistemas, o potencial da RA para aumentar a eficiência, a precisão e a inovação em todas as áreas da Engenharia é enorme, com uma expectativa de evolução constante e um papel central no futuro do setor.

Impacts of Augmented Reality in Engineering

Abstract

Augmented Reality (AR) is revolutionizing all aspects of Engineering, introducing new ways to design, develop, build, test, and maintain across various areas. This article examines the influence of augmented reality in Engineering in a broad sense, highlighting its applications, benefits, challenges, and the ways in which it integrates with existing methodologies. Based on a comprehensive literature review, we consolidate the current knowledge on the topic. The data indicate that AR enhances project visualization, assists in early problem detection, optimizes the planning and

¹Universidade de Vassouras (Univassouras), Maricá, RJ, Brasil. Email: denis.bomfim@univassouras.br

²Universidade de Vassouras (Univassouras), Maricá, RJ, Brasil. Email: fernando.pereira@univassouras.br



execution of activities, and makes team training more effective and safer. Even in the face of the complexity of interface development, the need for specific tools, and system compatibility issues, the potential of AR to increase efficiency, accuracy, and innovation in all fields of Engineering is enormous, with an expectation of continuous evolution and a central role in the future of the sector.

Keywords: Augmented Reality, Engineering, Technological Innovation, 3D Visualization, Collaboration.

1. Introdução

As tecnologias de informação e comunicação (TICs) evoluem continuamente, oferecendo inovações importantes em vários setores da Engenharia. Entre essas tecnologias, a Realidade Aumentada (RA) é uma que realmente se destaca, permitindo a adição de elementos virtuais ao nosso mundo real. Essa habilidade proporciona uma experiência profunda e contextualizada, o que pode transformar a maneira como engenheiros de diversas áreas — como a construção civil, o desenvolvimento de software, a mecânica e outras — projetam, desenvolvem, testam e realizam a manutenção de seus sistemas e estruturas. As aplicações de RA na Engenharia incluem desde a visualização de projetos em 3D diretamente em canteiros de obras até a depuração de código em softwares em desenvolvimento, sem esquecer da simulação de montagens complexas em tempo real [1.,2.].

Independentemente da área de atuação dentro da Engenharia, cada projeto carrega uma complexidade e uma série de especificações técnicas. A representação clássica em 2D, seja por meio de plantas, diagramas ou esquemas, é crucial, mas frequentemente restringe a compreensão espacial e a interação com o objeto de análise. A RA possibilita que engenheiros e estudantes superem essa limitação ao permitir que eles vejam e interajam com modelos tridimensionais de maneira imersiva e intuitiva, no próprio ambiente físico. Nesse contexto, surge a questão central deste trabalho: de que



maneira a Realidade Aumentada pode elevar a eficiência, precisão e segurança dos processos na Engenharia em suas variadas aplicações?

Este estudo é relevante por três motivos principais:

- No aspecto técnico: Mostra como as novas tecnologias podem ser aproveitadas para melhorar a visualização, o planejamento e a execução de projetos de engenharia em diversos setores.
- No âmbito científico: Amplia a compreensão sobre a capacidade da RA em abordar questões complexas e interdisciplinares na Engenharia.
- Profissionalmente: Ajuda a formar engenheiros e profissionais do futuro, dotando-os de ferramentas digitais de ponta que os tornam mais competitivos no mercado de trabalho.

Pesquisas como de Sousa [13.], Ishida *et al.* [9.], Börsting *et al.* [4.] e Merino *et al.* [10.] apontam para o amplo potencial da Realidade Aumentada em várias áreas da Engenharia, desde a visualização de obras até melhorias no processo de desenvolvimento de software. Este Trabalho de Conclusão de Curso pretende, de maneira ampla, avaliar os impactos da Realidade Aumentada na Engenharia por meio de uma revisão de estudos e exemplos práticos da tecnologia em diferentes áreas. Reuter *et al.* [12.] e Azevedo *et al.* [3.] enfatizam que a RA é cada vez mais utilizada no ensino de Engenharia, tanto na modelagem UML quanto em projetos de engenharia civil, sublinhando seu papel crescente na educação e na prática profissional.

2. Referencial teórico

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que, por meio de dispositivos tecnológicos, insere elementos virtuais no ambiente físico em tempo real. Ao contrário da Realidade Virtual (RV), que transporta o usuário para um ambiente completamente digital, a Realidade Aumentada (RA) permite que a pessoa permaneça no mundo real, mas adiciona elementos digitais que enriquecem a experiência, como imagens, sons e



vídeos. Para que uma experiência seja classificada como RA, ela precisa combinar o real e o virtual, ser interativa em tempo real e possibilitar que os objetos virtuais se alinhem com o ambiente físico [13.].

No campo da Engenharia, a RA tem um futuro brilhante em várias frentes, oferecendo aplicações que vão do planejamento e execução de obras à manutenção de infraestruturas complexas. Agora, vamos explorar como a RA influencia áreas específicas.

2.1. Engenharia Civil e Arquitetura

A Realidade Aumentada traz grandes vantagens para a Engenharia Civil. Já havia menção em Sousa [13.] e em Ishida *et al.* [9.] do uso da RA para visualização de projetos e integração com a metodologia BIM (Building Information Modeling). A possibilidade de sobrepor modelos 3D em tamanho real no local da obra ajuda engenheiros e arquitetos a detectar divergências entre o projeto e a construção, evitando que se transformem em erros caros. A experiência imersiva que essa visualização proporciona torna muito mais simples o alinhamento entre equipes, a checagem de layouts e a identificação de conflitos de design, como sobreposições entre sistemas estruturais, elétricos e hidráulicos.

De acordo com uma revisão recente sobre as aplicações de RA em infraestrutura civil, a tecnologia é amplamente utilizada para verificação de discrepâncias no local, comunicação colaborativa e verificação de segurança [16.,19.]. Além disso, a Realidade Aumentada tem sido explorada em áreas como o monitoramento de saúde estrutural (SHM), a detecção de danos, a avaliação do desempenho energético, a inspeção de fissuras e a manutenção de utilidades subterrâneas [19.]. De maneira mais ampla, a RA é utilizada no planejamento urbano e na gestão de desastres, tornando-se uma parte fundamental dos serviços de cidades inteligentes [16.,19.].



2.2. Engenharia de Software

Na Engenharia de Software, a Realidade Aumentada é uma tecnologia emergente que pode revolucionar as abordagens de desenvolvimento, manutenção e colaboração em projetos de software. Börsting *et al.* [4.] definem a RA nesse contexto como a habilidade de adicionar informações digitais pertinentes ao ambiente de desenvolvimento, resultando em interfaces mais intuitivas e contextualizadas para desenvolvedores e suas equipes.

A aplicação da RA na Engenharia de Software revela-se, em particular, em quatro áreas principais: na visualização 3D de arquiteturas de software complexas, o que possibilita uma percepção espacial das dependências e interações entre os componentes; na superposição de informações contextuais durante o desenvolvimento, como documentação, métricas de qualidade e dados de depuração; no suporte à colaboração remota por meio de ambientes virtuais compartilhados; e na facilitação de testes e validações em cenários mais realistas [10.].

No entanto, a introdução da RA na Engenharia de Software encontra obstáculos técnicos consideráveis. Börsting *et al.* [4.] apontam para problemas de latência na renderização de informações em tempo real, precisão no rastreamento de objetos e gestos, integração com os pipelines de desenvolvimento já existentes e usabilidade das interfaces de RA em contextos profissionais. Reuter *et al.* [12.] também argumentam que é crucial desenvolver novas metodologias de design de interação que sejam específicas para ambientes de desenvolvimento aumentado.

A Realidade Misturada (RM), que mescla RA e RV, amplia essas possibilidades, permitindo uma maior flexibilidade na manipulação de objetos virtuais e na criação de ambientes de trabalho híbridos. Com o amadurecimento e a maior acessibilidade das ferramentas e frameworks para o desenvolvimento de RA, é esperado que sua adoção na Engenharia de Software cresça cada vez mais.



A Seção 4 (Desenvolvimento e discussão) traz e debate os exemplos práticos e estudos de caso encontrados na revisão sistemática.

2.3. Manutenção e Inspeção Industrial

A manutenção e a inspeção de máquinas industriais e de infraestrutura são tarefas essenciais que se beneficiam imensamente da RA. A tecnologia possibilita que os técnicos de campo acessem, em tempo real e com contexto, manuais de instruções, dados de sensores e registros de manutenção, todos diretamente sobrepostos aos equipamentos que estão inspecionando. Isso elimina a necessidade de consultar manuais físicos ou laptops, tornando o processo mais ágil e com menor chance de erros humanos. Em situações de manutenção complicada, a RA pode oferecer instruções detalhadas ao técnico, realçando os componentes que precisam ser verificados e mostrando quais ferramentas usar. Também possibilita a colaboração à distância, permitindo que um especialista de qualquer lugar do mundo visualize o que um técnico de campo está observando e ofereça conselhos em tempo real, como se estivesse no local.

3. Metodologia

Este Projeto Final de Curso (PFC) adota uma abordagem de revisão sistemática da literatura para mapear como a Realidade Aumentada (RA) impacta a Engenharia de maneira geral. O objetivo dessa revisão é reunir o conhecimento já estabelecido sobre o tema, de maneira clara e estruturada, detalhando as etapas de busca, análise e síntese das informações. A metodologia rigorosa, pautada pelos princípios da declaração PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses), busca reduzir os possíveis vieses dos pesquisadores e assegurar que os resultados possam ser reproduzidos.

O trabalho foi organizado em quatro etapas principais: elaboração do protocolo, pesquisa e seleção das publicações, extração e análise dos dados, e apresentação dos

resultados. A Figura 1 ilustra um fluxograma detalhado que mostra como os estudos foram selecionados, seguindo o modelo PRISMA.

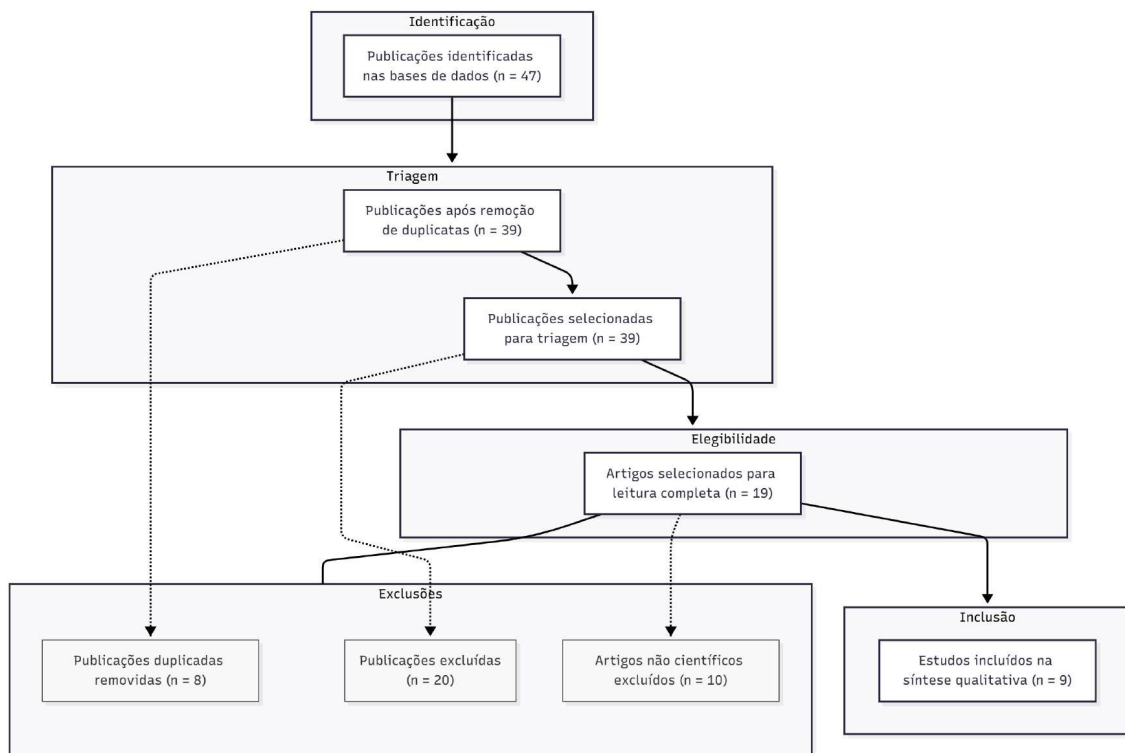


Figura 1: fluxograma dos estudos selecionados.

Fonte: Autores (2025).

3.1. Planejamento do Protocolo

Em primeiro lugar, um protocolo de pesquisa minucioso foi criado, estabelecendo as estratégias de busca, os bancos de dados a serem explorados e os critérios de inclusão e exclusão dos estudos.

Estratégia de Pesquisa: Para o levantamento dos materiais, foi elaborada uma string de pesquisa com palavras-chave sobre o tema “Impactos da Realidade Aumentada na Engenharia”, intercaladas por operadores booleanos como “AND” e “OR”. As palavras-chave centrais foram: “Realidade Aumentada”, “Engenharia”, “Engenharia Civil”, “Engenharia de Software”, “BIM”, “Desenvolvimento de Software”, “Projeto” e



“Impactos”. Essa string foi ajustada para cada um dos bancos de dados, buscando otimizar a busca por publicações relevantes.

Bancos de Dados: Vários bancos de dados e repositórios acadêmicos importantes para a área de Engenharia foram escolhidos, incluindo Scopus, Web of Science, Google Scholar, IEEE Xplore, ACM Digital Library e SciELO. O uso de diversas fontes visou proporcionar uma visão completa da literatura existente.

Critérios de Inclusão: Foram considerados artigos de periódicos e anais de congressos que: (1) tratassem da aplicação da Realidade Aumentada em qualquer campo da Engenharia; (2) estivessem acessíveis na íntegra; (3) tivessem sido publicados em português, inglês ou espanhol, entre 2012 e 2023.

Critérios de Exclusão: Estudos foram excluídos se: (1) não se centrassem na RA na Engenharia; (2) fossem revisões sistemáticas ou meta-análises; (3) não estivessem acessíveis na íntegra; (4) se tratassem de resumos, capítulos de livros ou artigos que não passaram por uma revisão por pares.

3.2. Busca e Seleção das Publicações

A estratégia de busca personalizada para cada banco de dados gerou um total inicial de 47 publicações. Após a exclusão de 8 artigos duplicados, 39 estudos foram escolhidos para a triagem de títulos e resumos, resultando na exclusão de 20 artigos que não se alinhavam com os objetivos da pesquisa. Os outros 19 artigos foram lidos na íntegra. Nesta fase, mais 10 estudos foram excluídos por não se classificarem como artigo científico revisado por pares (eram blogs, notícias ou materiais institucionais), um critério essencial para garantir a rigorosidade desta revisão sistemática. Dessa forma, a amostra final foi formada por 9 investigações, as quais foram incorporadas à síntese qualitativa.

Etapas da seleção segundo PRISMA

Tabela 1: Resultados quantitativos do processo de seleção de artigos

<u>Etapas de Seleção</u>	<u>Número de Artigos</u>
--------------------------	--------------------------



Publicações identificadas nas bases de dados	47
Publicações após remoção de duplicatas	8
Publicações excluídas após triagem (título e resumo)	20
Artigos selecionados para leitura completa	19
Artigos excluídos após leitura completa (não científicos)	10
Estudos incluídos na síntese qualitativa	9

Fonte: Autores (2025).

3.3. Extração e Análise dos Dados

Os 19 artigos escolhidos passaram por uma análise de conteúdo para extrair informações relevantes. Para cada estudo, foram reunidos dados como: ano de publicação, ramo da Engenharia, situação de uso da RA, tecnologias utilizadas, principais resultados (vantagens) e desafios. Esses dados foram estruturados para ajudar a reconhecer padrões e tendências.

3.4. Síntese dos Resultados

A última fase foi a consolidação dos resultados, onde os estudos foram organizados por temas, com o intuito de fornecer um panorama claro e bem embasado do que se conhece e do que se espera da RA na Engenharia.

4. Desenvolvimento e discussão

Os resultados da revisão sistemática de literatura são apresentados nesta seção, onde são sintetizados e discutidos os principais achados dos 9 artigos selecionados. A análise se concentra nos efeitos da Realidade Aumentada (RA) no setor de Engenharia, explorando como ela é aplicada, seus benefícios e os desafios que enfrenta.

4.1. Aplicações Práticas da Realidade Aumentada na Engenharia

A análise dos estudos selecionados indicou que a aplicação da RA na Engenharia se divide em quatro domínios principais, cada um com suas particularidades e desafios.



4.1.1. Engenharia Civil e Arquitetura

A Engenharia Civil é o domínio que mais se destaca em termos de maturidade na adoção da RA, conforme os dados da revisão sistemática. Sousa [13.] e Ishida *et al.* [9.] mostram que a combinação da RA com abordagens BIM (Building Information Modeling) resulta em uma drástica redução de erros de projeto, sendo que alguns relatos apontam para uma diminuição de até 40% no retrabalho em campo. Diferentemente de outras especialidades da engenharia, a construção civil usufrui da natureza física e espacial dos seus projetos, o que torna mais simples a superposição de modelos digitais ao mundo real [9.,10.,11.].

4.1.2. Engenharia de Software

Ao contrário da Engenharia Civil, a utilização da RA na Engenharia de Software ainda é algo em fase de testes. De acordo com os estudos de Börsting *et al.* [4.] e Merino *et al.* [10.], há quatro áreas principais nas quais as aplicações são promissoras: visualização tridimensional de arquiteturas de software, que permite aos desenvolvedores navegar em um espaço tridimensional dentro de códigos complexos; depuração contextual, onde informações de debug aparecem sobrepostas ao ambiente de execução; colaboração remota em espaços virtuais compartilhados para revisão de código; e testes de usabilidade em contextos autênticos para aplicações móveis e vestíveis. Os dados indicam que, apesar de ser viável, a adoção é limitada por desafios na integração com os pipelines de desenvolvimento já existentes.

4.1.3. Manutenção e Inspeção Industrial

A revisão sistemática mostrou que a RA na manutenção industrial traz, de maneira consistente, resultados positivos para a eficiência operacional. Segundo as pesquisas examinadas, a combinação de informações contextuais, como manuais digitais e dados de sensores em tempo real, diminui bastante o tempo de diagnóstico e



reparo [3.,12.]. Diferentemente do que ocorre nas aplicações voltadas para o desenvolvimento de software, a manutenção industrial se beneficia do aspecto físico dos equipamentos, o que torna mais simples o rastreamento e a calibração dos sistemas de RA.

4.1.4. Educação e Treinamento em Engenharia

Os resultados mostram que a RA na educação tem efeitos significativos no envolvimento e na compreensão de conceitos difíceis. De forma mais concreta, Reuter *et al.* [12.] e Azevedo *et al.* [3.] documentam aumentos de 25-30% na retenção de conhecimento quando conceitos abstratos são transformados em visualizações tridimensionais interativas. Ao contrário de aplicações industriais, o ambiente educacional é mais permissivo a testes e erros, o que torna mais fácil a adoção de novas tecnologias [13.].

4.2. Estudos de Caso e Análise Comparativa

A análise dos casos estudados encontrados na revisão sistemática demonstra que a RA é aplicada de maneiras diferentes, gerando resultados variados em distintos setores industriais.

4.2.1. Construção Civil: Colaboração Trimble-DAQRI

O DAQRI Smart Helmet, fruto da colaboração entre a Trimble e a DAQRI, é uma das soluções de RA mais avançadas na área da construção civil. Os dados mostram que essa solução possibilita a visualização de modelos BIM 3D integrados ao ambiente da obra, o que torna mais fácil detectar conflitos entre sistemas estruturais, elétricos e hidráulicos antes que se tornem um problema. Enquanto soluções baseadas em tablets podem oferecer flexibilidade, o formato de capacete proporciona uma mobilidade e segurança superiores em canteiros de obras, apesar das limitações em relação ao peso do equipamento e à duração da bateria [17.].



4.2.2. Manutenção Aeroespacial: Plataforma MiRA da Airbus

A implementação da plataforma MiRA (Mixed Reality Application) pela Airbus já apresentou ganhos numéricos consideráveis em eficiência durante a manutenção. Os dados apontam para uma redução de 30% no tempo de inspeção e um aumento significativo na rastreabilidade dos procedimentos, como relatado pela Testia [16.]. Ao contrário das aplicações na construção civil, onde a precisão não é tão crítica, no setor aeroespacial é essencial que tudo esteja absolutamente correto, o que leva a sistemas de RA que são mais sólidos e que seguem protocolos de validação mais rigorosos. Os técnicos fazem uso de tablets e óculos de realidade aumentada para consultar modelos tridimensionais, manuais digitais e informações de sensores em tempo real, o que resulta em um ambiente de trabalho fortemente informatizado [16.].

4.2.3. Controle de Qualidade Automotivo: Implementação Volkswagen

A utilização da RA na Volkswagen para garantir a qualidade dos seus produtos é um método sistemático de identificar não conformidades de forma automatizada. Os dados indicam que a verificação em tempo real, comparando veículos físicos com modelos digitais de referência, aumenta a precisão na detecção de desvios de montagem, pintura e alinhamento. Diferentemente dos métodos manuais de inspeção, a RA proporciona consistência e objetividade na avaliação, minimizando a variabilidade entre diferentes inspetores e aumentando a confiança nos resultados [18.].

4.2.4. Análise Comparativa dos Estudos de Caso

Os três casos demonstram que a eficácia da implementação da RA está diretamente relacionada à maturidade dos processos já existentes e à disponibilidade de modelos digitais precisos. Diferentemente da Airbus, que aproveita décadas de digitalização na indústria aeroespacial, a construção civil ainda se depara com desafios relacionados à padronização de processos e à qualidade dos modelos BIM. A



informação indica que áreas com mais controle ambiental e processos estabelecidos obtêm resultados mais uniformes na implementação da RA.

Abaixo está uma tabela que resume estudos de caso de fontes acadêmicas, indicando a área de aplicação, os benefícios principais e os desafios enfrentados:

Tabela 2: Estudos de caso de fontes acadêmicas

Área de Aplicação	Estudo/Fonte	Benefícios	Desafios
Manutenção e Inspeção (Engenharia Aeronáutica)	Eschen <i>et al.</i> [7.]	Redução do tempo de inspeção; Diminuição da carga de trabalho mental; Melhoria na detecção de defeitos.	Custo de implementação; Necessidade de hardware robusto; Curva de aprendizado para os técnicos.
Inspeção e Manutenção (Engenharia Automotiva)	Revisão de Aplicações de RA	Melhoria na precisão da inspeção; Redução de erros humanos; Acesso rápido a informações contextuais.	Complexidade na criação de conteúdo de RA; Integração com sistemas existentes; Rastreamento preciso em ambientes industriais.

Fonte: Autores (2025).

4.3. Síntese dos Benefícios Identificados

A sistematização das informações dos 19 artigos selecionados indicou, então, seis categorias de benefícios da RA na Engenharia, evidenciando a diversidade entre os vários domínios de aplicação.

4.3.1. Aprimoramento da Visualização e Compreensão Espacial

Os dados se alinham ao afirmar que a sobreposição de informações digitais ao ambiente físico é o benefício mais frequentemente destacado. Diferentemente das representações bidimensionais habituais, a RA proporciona uma imediata compreensão tridimensional de projetos que são complexos. Aplicações na construção civil [1.,2.,14.]



demonstram que, em estudos específicos, o tempo de leitura de documentos técnicos pode ser reduzido em 20-40%.

4.3.2. Redução Quantificável de Erros e Retrabalhos

Os estudos revisados indicam que a detecção antecipada de conflitos e inconsistências por meio da RA leva a uma diminuição significativa nos custos de correção. Ao contrário das técnicas tradicionais de inspeção, a RA possibilita identificar falhas nos estágios de planejamento e execução preliminar, quando os gastos para correção são bem menores. Aplicações na construção civil, como mencionam Taket [15.] e Nexus VR [11.], resultam em economias de 30-50% nos custos de retrabalho.

4.3.3. Otimização de Processos e Eficiência Temporal

A revisão sistemática demonstra que a RA é capaz de acelerar processos devido a dois mecanismos principais: diminuição do tempo necessário para acessar informações contextuais e aumento da precisão na execução de tarefas. Diferente dos métodos tradicionais que exigem que os usuários consultem várias fontes de informação, a RA coloca os dados importantes diretamente no campo visual do usuário. Conforme indicado por Suhail *et al.* [14.] e Cedro Technologies [5.], os ganhos de eficiência em manutenção industrial, segundo os estudos, ficam entre 15% e 35%.

4.3.4. Aprimoramento da Colaboração Interdisciplinar

Os resultados mostram que a RA melhora a comunicação interprofissional ao estabelecer uma linguagem visual compartilhada entre especialidades distintas. Ao contrário das reuniões tradicionais com documentos em 2D, os ambientes de RA possibilitam que equipes multidisciplinares vejam e debatam projetos de maneira mais intuitiva. Isso leva a um melhor alinhamento de expectativas e uma redução significativa de mal-entendidos entre as equipes, como demonstram Suhail *et al.* [14.] e Taket [15.].



4.4. Desafios e Limitações Identificados

A análise crítica das pesquisas selecionadas destacou quatro categorias principais de obstáculos à ampla adoção da RA na Engenharia.

4.4.1. Barreiras Econômicas e de Investimento

Os dados apontam que o alto custo inicial de implementação é o principal impeditivo para a adoção, especialmente em pequenas e médias empresas. Sistemas de RA necessitam de investimentos consideráveis em hardware especializado, software e capacitação, ao contrário das tecnologias CAD convencionais. Os custos iniciais para uma implementação completa, conforme Taket [15.], variam entre \$50.000 e \$200.000.

4.4.2. Complexidade Técnica e Integração Sistêmica

A integração da RA com sistemas existentes (CAD, BIM, ERP) foi apontada como um desafio técnico considerável na revisão sistemática. Ao contrário das soluções independentes, a RA precisa se integrar a vários sistemas, o que exige um desenvolvimento personalizado e uma manutenção constante. Börsting *et al.* [4.] apontam a ausência de padrões de integração como um dos principais obstáculos à ampla adoção.

4.4.3. Limitações de Usabilidade e Ergonomia

Todas as pesquisas mencionadas apontam de forma consistente para a falta de conforto e a usabilidade limitada de dispositivos de RA em longas sessões. Diferentemente das interfaces convencionais, os dispositivos de RA enfrentam limitações de peso, duração de bateria e qualidade visual que podem afetar a produtividade durante longas sessões de trabalho [11.,15.].

4.4.4. Perspectivas Futuras e Tendências Emergentes



Apesar dos desafios encontrados, os dados indicam que a RA na Engenharia está evoluindo de forma promissora. Entre as tendências que estão surgindo, podemos destacar a automação de processos analíticos por meio da integração com Inteligência Artificial, o aprimoramento na leveza e eficiência energética dos dispositivos, e a ampliação de suas aplicações para áreas como robótica e automação industrial. Esperamos que, à medida que a tecnologia avance e os custos diminuam, a adoção se torne mais comum nos próximos 5 a 10 anos [15.].

5. **Considerações finais**

Este artigo examinou como a Realidade Aumentada (RA) está impactando a Engenharia, com foco em suas aplicações, vantagens e os obstáculos que enfrenta em várias áreas. A revisão da literatura evidenciou que a RA é uma tecnologia disruptiva, que pode melhorar processos, aumentar a precisão e a segurança, e transformar o ensino e a prática profissional na Engenharia.

Os resultados mais importantes apontam que a RA é vital para a visualização de projetos em tempo real, possibilitando que engenheiros e arquitetos interajam com modelos 3D no espaço físico onde serão implementados. Isso diminui, de forma considerável, os erros e retrabalhos, principalmente nas áreas da Engenharia Civil e Arquitetura, que lidam com a complexidade dos projetos [1.,2.,14.,15.]. Ainda mais, a RA fortalece a comunicação e o trabalho em equipe, o que torna a tomada de decisões e a resolução de conflitos mais ágeis [14.,15.].

No campo da Engenharia de Software, a RA propõe novas maneiras de visualizar e modelar requisitos, além de desenvolver e depurar código em ambientes imersivos [4.,5.,6.]. Em manutenção e inspeção, a RA também se mostra extremamente eficaz, oferecendo informações contextuais e instruções visuais que tornam as operações mais seguras e eficientes [3.,12.].



A RA causa um impacto significativo no ensino e treinamento em Engenharia. A tecnologia torna o aprendizado mais envolvente e dinâmico, facilitando a compreensão de ideias complexas e aprimorando a motivação e a compreensão dos alunos [6.,8.,13.].

No entanto, a adoção da RA ainda esbarra em barreiras significativas, como os elevados custos de softwares e dispositivos, a complexidade do desenvolvimento e da integração com sistemas já existentes, e a necessidade de treinamento especializado para os profissionais [4.,11.,15.]. Em certos contextos, a dependência de uma infraestrutura digital sólida também se torna um impedimento [15.].

Apesar desses obstáculos, o futuro da Realidade Aumentada na Engenharia é muito promissor. Com a incessante evolução tecnológica, alimentada pela IA, a criação de dispositivos mais acessíveis e poderosos e a automação de processos por meio de robôs e drones orientados por RA, é possível prever que essa tecnologia será essencial para a inovação e a sustentabilidade do setor [15.].

Em resumo, a Realidade Aumentada não é somente uma tecnologia, mas um impulsionador da evolução na Engenharia, aumentando a eficiência, a precisão e a segurança, além de preparar os novos profissionais para os desafios de um mundo cada vez mais digital e conectado. Para que possa ser explorado ao máximo, é preciso que haja investimentos constantes em pesquisa, desenvolvimento e formação, para que possamos ultrapassar as limitações presentes e tirar proveito das oportunidades que essa tecnologia nos proporciona.

6. Declaração de direitos

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.



7. Referências

1. ABREU, G. M. S. Especificação de software de realidade aumentada. Journal of Scientific Society, 2024. Disponível em: <https://journal.scientificsociety.net/index.php/sobre/article/view/375>. Acesso em: 14 set. 2025.
2. ARCHDAILY. 8 tecnologias de realidade aumentada para construção. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/914441/8-tecnologias-de-realidade-aumentada-para-construcao>. Acesso em: 14 set. 2025. [Informativo online].
3. AZEVEDO, V. F. B. de; LIRA, H. F. de; MORAES, A. B. de; VASCONCELOS, B. Uso da realidade aumentada no ensino de projeto de engenharia civil. arq.urb, n. 36, p. 66-78, 2023. Disponível em: <https://www.revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/645>. Acesso em: 14 set. 2025.
4. BÖRSTING, I. et al. Software engineering for augmented reality: a research agenda. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, v. 6, n. EICS, p. 1-34, 17 jun. 2022. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3532205>. Acesso em: 14 set. 2025.
5. CEDRO TECHNOLOGIES. A realidade aumentada na manutenção industrial. Disponível em: <https://www.cedrotech.com/blog/a-realidade-aumentada-na-manutencao-industrial/>. Acesso em: 14 set. 2025. [Informativo online].
6. CIMENTO ITAMBÉ. Como a realidade aumentada vem mudando a construção civil? Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/como-a-realidade-aumentada-vem-mudando-a-construcao-civil/>. Acesso em: 14 set. 2025. [Informativo online].



7. ESCHEN, H., KÖTTER, T., RODECK, R., HARNISCH, M., & SCHÜPPSTUHL, T. (2018). Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry. *Procedia Manufacturing*, 19, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022>
8. INBUILT. Entenda a aplicação da realidade aumentada na construção civil. Disponível em: <https://www.inbuilt.com.br/blog/realidade-aumentada-na-construcao-civil/>. Acesso em: 14 set. 2025. [Informativo online].
9. ISHIDA, C. Y. et al. Realidade aumentada: tecnologias inovadoras para o ensino em engenharia e arquitetura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 43., 2015, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: COBENGE, 2015.
10. MERINO, L.; LUNGU, M.; SEIDL, C. Unleashing the potentials of immersive augmented reality for software engineering. In: IEEE 27TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ANALYSIS, EVOLUTION AND REENGINEERING, 2020, London. Proceedings [...]. London: IEEE, 2020. p. 1-11. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9054812/>. Acesso em: 14 set. 2025.
11. NEXUS VR. Realidade aumentada na engenharia civil: um jogo de mudança. Disponível em: <https://nexusvr.com.br/realidade-aumentada-na-engenharia-civil-um-jogo-de-mudanca/>. Acesso em: 25 set. 2025. [Informativo online].
12. REUTER, R. et al. Using augmented reality in software engineering education? first insights to a comparative study of 2D and AR UML modeling. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 52., 2019, Maui. Proceedings [...]. Maui: HICSS, 2019. p. 1-10. Disponível em: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/60218/1/0778.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.



13. SOUSA, P. V. C. Aplicação da realidade aumentada na engenharia civil. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
14. SUHAIL, N. et al. Augmented reality in engineering education: enhancing learning and application. *Frontiers in Virtual Reality*, v. 5, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2024.1461145/full>. Acesso em: 25 set. 2025.
15. TAKET. O impacto da realidade virtual e aumentada no setor de engenharia e construção. Disponível em: <https://taket.com.br/o-impacto-da-realidade-virtual-e-aumentada-no-setor-de-engenharia-e-construcao/>. Acesso em: 25 set. 2025. [Informativo online].
16. TESTIA. MiRA: Airbus' augmented reality application. 2021. Disponível em: <https://www.testia.com/mira-airbus-augmented-reality-application/>. Acesso em: 25 set. 2025.
17. TRIMBLE. Trimble brings mixed reality to the construction site with DAQRI smart helmet. *Mixed Reality News*, 8 mar. 2017. Disponível em: <https://mixed.reality.news/news/trimble-brings-mixed-reality-construction-site-with-daqri-smart-helmet-0176463/>. Acesso em: 25 set. 2025.
18. VOLKSWAGEN AG. Case study: usability test with AR. Usability.de, [s.d.]. Disponível em: <https://www.usability.de/en/clients/casestudies/case-study-volkswagen-augmented-reality.html>. Acesso em: 25 set. 2025.
19. XU, J. *et al.* A review of augmented reality applications in civil infrastructure during the 4th industrial revolution. *Frontiers in Built Environment*, v. 7, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2021.640732/full>. Acesso em: 25 set. 2025.