



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Estudo preliminar sobre gêmeos digitais (em metaverso) e sua aplicabilidade a ecossistema educacional

Lorenzo M. Lazzarin
Octavio A. C. Silva

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Orientadora
Prof.a Dr.a Germana Menezes Da Nobrega

Brasília
2025



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Estudo preliminar sobre gêmeos digitais (em metaverso) e sua aplicabilidade a ecossistema educacional

Lorenzo M. Lazzarin
Octavio A. C. Silva

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Prof.a Dr.a Germana Menezes Da Nobrega (Orientadora)
CIC/UnB

Prof. Dr. Fernando William Cruz Prof. Dr. Jan Mendonca Correa
Universidade de Brasília Universidade de Brasília

Prof. Dr. Jorge Henrique Cabral Fernandes
Coordenador do Curso de Computação — Licenciatura

Brasília, 25 de Julho de 2025

Dedicatória

Dedicamos este trabalho, às nossas famílias, namoradas, amigos e a todos os professores do Departamento de Ciência da Computação, cujos ensinamentos e orientações foram fundamentais ao longo de nossa formação. Em especial, dedicamos à nossa orientadora, professora Dr.a Germana Menezes Da Nobrega, por sua dedicação, paciência e valiosa contribuição durante a realização deste trabalho. Nossa gratidão por fazer parte da nossa trajetória acadêmica.

Agradecimentos

Agradecemos, em conjunto, primeiramente a Deus, pela graça de superar todas as fases do curso, a todos que nos acompanharam e incentivaram durante nossa trajetória acadêmica. Às nossas famílias, professores, colegas e amigos, pela parceria, pela troca de experiências e pelo apoio mútuo ao longo do curso, especialmente nas fases mais desafiadoras.

Gostaríamos de agradecer, em especial, às nossas namoradas, Isabelly Menrrary e Luana Rodrigues, por trazerem leveza e felicidade às suas vidas, às amigas Polyanna Barros e Wanessa Colli, por todo o suporte nos períodos mais complicados, e, por fim, agradecemos um ao outro pela caminhada conjunta ao longo desta etapa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), por meio do Acesso ao Portal de Periódicos.

Resumo

O avanço das tecnologias digitais e o surgimento de ecossistemas imersivos, como o metaverso, têm impulsionado novas possibilidades para o campo educacional. Portanto, a presente pesquisa investiga a aplicação dos gêmeos digitais no contexto educacional, explorando suas definições, aplicações práticas, tecnologias subjacentes e impactos na experiência de aprendizagem dos estudantes. Para tal, realizou-se uma revisão sistemática de literatura (RSL). Seguindo o protocolo PRISMA, foram analisados 21 artigos selecionados das bases IEEE Xplore e Google Scholar, publicados entre 2020 e 2025. Os resultados indicam que os gêmeos digitais, quando integrados a ambientes educacionais, possibilitam experiências interativas, imersivas e personalizadas. Essas tecnologias contribuem para o engajamento dos estudantes, facilitam a visualização de conteúdos abstratos e promovem o desenvolvimento de competências. Observou-se ainda que os gêmeos digitais têm sido empregados em diferentes níveis e modalidades de ensino para simulação de experimentos, visualização de conceitos abstratos e promoção da acessibilidade, tendo a sua ênfase na aprendizagem ativa, colaborativa e contextualizada. No entanto, a efetividade dessas inovações está condicionada a uma implementação pedagógica significativa, à disponibilidade de uma infraestrutura tecnológica apropriada e à capacitação dos professores. Portanto, embora promissores, os gêmeos digitais exigem uma integração pedagógica crítica e o desenvolvimento de políticas de suporte que promovam a inovação no ensino de forma acessível e justa.

Palavras-chave: Gêmeos digitais; Informática na educação; Revisão sistemática; Cultura digital; Inovação pedagógica.

Abstract

The advancement of digital technologies and the emergence of immersive ecosystems, such as the metaverse, have opened new possibilities for the educational field. Accordingly, this research investigates the application of digital twins in educational contexts, exploring their definitions, practical uses, underlying technologies, and impacts on students' learning experiences. To achieve this, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted following the PRISMA protocol. A total of 21 articles, published between 2020 and 2025 and retrieved from the IEEE Xplore and Google Scholar databases, were analyzed. The findings indicate that digital twins, when integrated into educational environments, enable interactive, immersive, and personalized experiences. These technologies enhance student engagement, facilitate the understanding of abstract content, and foster the development of key competencies. The analysis also shows that digital twins have been applied at various educational levels and modalities for experiment simulations, visualization of complex concepts, and promotion of accessibility, with an emphasis on active, collaborative, and contextualized learning. However, the effectiveness of such innovations depends on meaningful pedagogical integration, adequate technological infrastructure, and proper teacher training. Therefore, despite their promising potential, digital twins require critical pedagogical integration and the development of supportive policies to promote accessible and equitable educational innovation.

Keywords: Digital Twins; Education Technology; Systematic Literature Review; Digital Culture; Pedagogical Innovation.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Problema de pesquisa	2
1.2	Justificativa	3
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo geral	3
1.3.2	Objetivos específicos	3
1.4	Resultados esperados	4
2	Metodologia	5
2.1	RSL para Informática na Educação	5
2.2	Protocolo Prisma Statement	6
3	Trabalhos Relacionados	8
3.1	A informática na educação	8
3.2	Gêmeos Digitais	12
4	Gêmeos digitais na educação: Uma Revisão Sistemática de Literatura	15
4.1	Questões de Pesquisa	15
4.2	Base de dados e período	15
4.3	Strings de busca e critérios de seleção	16
4.3.1	Critérios de seleção	16
4.3.2	String de busca	16
4.4	Respostas as questões de pesquisa	24
4.4.1	O que são gêmeos digitais e como se definem?	25
4.4.2	Como essa tecnologia tem sido aplicada no contexto educacional?	26
4.4.3	Quais tecnologias e/ou ferramentas têm sido utilizadas ou estão por vir?	28
4.4.4	Quais são os impactos da aplicação de gêmeos digitais na experiência de aprendizagem dos estudantes?	29

4.4.5	Quais são as principais vantagens e desvantagens da implementação de gêmeos digitais na educação?	31
5	Ameaças a validade	34
6	Conclusão	35
6.1	Considerações finais	35
6.2	Oportunidade para trabalhos futuros	36
	Referências	38

Lista de Figuras

4.1	Fluxograma do PRISMA com os artigos das duas bases	22
-----	--	----

Lista de Tabelas

4.1	Quantidade de textos selecionados publicados entre 2020 e 2025	17
4.2	Dados dos textos selecionados	17
4.3	Dados dos textos utilizados para responder às perguntas	22
4.4	Vantagens e limitações para fins educacionais	33

Capítulo 1

Introdução

O século XXI é marcado pelo avanço, difusão e expansão da tecnologia, sobretudo em razão da Globalização. Por meio desse processo, as sociedades se tornaram cada vez mais incorporadas dentro das Tecnologias de Informação e Comunicação (TDIC) [1]. A partir desse contexto de avanço tecnológico, o ensino e a aprendizagem precisaram ser modificados, para se adaptarem à nova realidade social e ao perfil dos novos alunos, principalmente daqueles mais jovens, que estão profundamente inseridos dentro dessa realidade [2].

No ano de 2020, as instituições de ensino, tanto no âmbito nacional quanto internacional, se viram obrigadas a acelerar o processo de adaptação ao cenário tecnológico em decorrência da pandemia da COVID-19 e, dentre as ferramentas mais utilizadas para esta finalidade estavam: *o Office 365, Zoom, Google for Education e YouTube* [3]. Contudo, as possibilidades para o ensino não se esgotam apenas entre essas ferramentas, havendo dentre elas o Metaverso, que pode ser compreendido como um recurso capaz de oferecer artifícios de suporte ao aprendizado através de um ambiente colaborativo e interativo [4].

O termo Metaverso surge em 1992 no romance de ficção científica “*Snow Crash*” do autor Neal Stephenson. No livro, o Metaverso é descrito como um mundo virtual imersivo, que pode ser acessado por meio de dispositivos de realidade virtual. Nele, os usuários assumem formas digitais personalizáveis e vivem uma realidade alternativa como avatares [5]. Porém, no contexto atual e para além do conceito apresentado no romance, o Metaverso é mais do que a mera representação da realidade. Moreira (2020)[6] afirma que a ferramenta:

se constitui, portanto, como um espaço significativo no mundo virtual, onde é possível reunir várias pessoas de modo colaborativo, dentro de uma dinâmica própria que deve ser estudada e analisada, e que para o seu uso no campo educacional requer um modelo pedagógico pensado especificamente para ele.

Ademais, no que diz respeito à educação e ao processo pedagógico, o Metaverso pode contribuir através de experiências não apenas imersivas, mas também interativas, que são capazes de reduzir custos e trazer mais eficiência à comunicação entre os agentes, sejam eles professores ou alunos [7]. Além disso, junto a essa tecnologia, podem ser integrados os gêmeos digitais (GD) ou *digital twins*, que são descritos inicialmente como um modelo composto por dois sistemas: um físico, que é pré-existente, e um virtual, que possui as informações do anterior [8]. Mashaly (2021)[9] aponta ainda que os dois sistemas possuem entre si um fluxo de informações constante.

Entretanto, apesar de o termo ter sido cunhado inicialmente na década de 1990 e ter sido desenvolvido durante o início dos anos 2000, de um modo geral, a utilização dos gêmeos digitais ainda acontece de modo escasso em campos como a medicina, pesquisa e educação [10]. Bachmann, Silveira e Martins (2024)[11] reitera que esse cenário pode ser explicado por diversos fatores, como por exemplo a dificuldade de acessibilidade para determinados públicos, a possibilidade de acesso em áreas desfavorecidas economicamente e a necessidade de uma infraestrutura avançada, que requer um grande investimento inicial, bem como custos de manutenção e manejo por mão de obra qualificada.

Autiosalo, Siegel e Tammi (2021)[12] reforçam ainda que apesar do sistema virtual ser uma representação do sistema físico, ele não está restrito apenas a essa função e, em razão disso, a aplicação dos GD pode ser bastante abrangente, com usos que vão desde design de produtos até replicação de seres humanos. Na educação, os usos incluem a gamificação, melhoramento dos processos de aprendizagem, reprodução de experimentos laboratoriais e treinamento técnico em diferentes áreas do conhecimento [11].

1.1 Problema de pesquisa

Diante da crescente transformação digital apresentada na seção anterior, nota-se que o setor educacional tem adotado novas estratégias pedagógicas, impulsionadas pelo advento de tecnologias inovadoras, tais como os ambientes virtuais imersivos e os gêmeos digitais. Esse movimento, se apresenta como uma oportunidade para transformar o paradigma atual, proporcionando melhorias significativas nos processos de ensino-aprendizagem.

Sendo assim, este trabalho surge como uma extensão de um projeto mais amplo conduzido por nossa professora orientadora, cujo objetivo central é transformar a universidade por meio do metaverso, criando diferentes possibilidades de interação, ensino e extensão. Dentro desse escopo mais amplo, o presente projeto se concentra em investigar se, de fato, os ambientes virtuais e os gêmeos digitais representam um avanço positivo para a educação. A proposta, é verificar se essas tecnologias podem oferecer benefícios reais aos estudantes e professores, especialmente no que diz respeito à personalização da apren-

dizagem, ao engajamento e à superação de limitações típicas do ensino tradicional. A motivação por trás desta pesquisa não se limita ao fascínio pelas inovações tecnológicas, mas também inclui uma preocupação em corroborar, as promessas frequentemente atribuídas a essas soluções.

Além disso, o projeto visa examinar a viabilidade e a eficiência da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como uma abordagem metodológica para coletar e analisar o estado atual do conhecimento sobre a aplicação de gêmeos digitais na educação. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como problema de pesquisa a seguinte questão: **Como a literatura científica tem abordado o uso de gêmeos digitais em ambientes virtuais educacionais, e quais evidências há sobre sua eficácia e aplicabilidade no contexto educacional?**

1.2 Justificativa

Esta monografia se mostra relevante devido à necessidade de investigar o potencial dos gêmeos digitais no contexto educacional, especialmente em contextos mediados pelo metaverso. A pesquisa contribui para o entendimento de como essas tecnologias emergentes podem transformar práticas pedagógicas além de oferecer uma análise e revisão sistematizada da literatura recente, servindo como base teórica e crítica para futuras aplicações e inovações educacionais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Investigar, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a aplicação dos gêmeos digitais em ambientes educacionais virtuais, considerando sua eficácia e aplicabilidade na prática pedagógica, além de analisar a pertinência da RSL como abordagem metodológica para fortalecer o entendimento científico sobre a temática.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar os conceitos, definições e fundamentos que caracterizam os gêmeos digitais;
- Levantar evidências científicas sobre as aplicações práticas de gêmeos digitais em ambientes virtuais voltados ao ensino;

- Detectar as lacunas, tendências e restrições presentes nos estudos atuais, promovendo o progresso do diálogo acadêmico na área.

1.4 Resultados esperados

Com o desenvolvimento dessa pesquisa, espera-se que ela possa contribuir para consolidação do conhecimento científico sobre a aplicação de gêmeos digitais em ambientes educacionais, destacando as principais estratégias, propósitos e efeitos dessa tecnologia no setor da educação. Através da revisão sistemática, deverá ser possível identificar tendências emergentes, práticas recomendadas, desafios persistentes e lacunas ainda pouco investigadas nos estudos atuais.

Adicionalmente, um dos resultados esperados é a criação de um panorama crítico que forneça subsídios para futuras escolhas pedagógicas e institucionais no que diz respeito à implementação de tecnologias imersivas, com foco na personalização do ensino, no aumento do engajamento dos alunos e na expansão do acesso à educação. Além de enriquecer o arcabouço teórico da informática aplicada à educação e proporcionar elementos práticos para pesquisadores, educadores e administradores que estejam interessados em desenvolver ecossistemas educacionais mais inovadores, interativos e inclusivos.

Capítulo 2

Metodologia

2.1 RSL para Informática na Educação

Para a elaboração da seguinte pesquisa, utilizou-se como método a Revisão Sistemática de Literatura (RSL), que pode ser compreendida como uma metodologia cujos objetivos são a identificação, avaliação e síntese de evidências relevantes a uma questão específica de pesquisa. Assim, ela se diferencia das revisões narrativas clássicas, isso porque, diferentemente das revisões narrativas, que têm o seu foco em realizar compilações e descrições de pesquisas anteriores (seja para reinterpretação ou para avaliação), a RSL se mostra como um processo metodológico replicável e claro, o que por sua vez contribui para a redução dos vieses de pesquisa e aumenta a sua objetividade [13]. Dessa forma, a metodologia se mostra como uma ferramenta essencial no que diz respeito à inovação nas pesquisas das ciências de educação e áreas correlatas [14].

Para que uma RSL siga o rigor científico, [15] define alguns passos que devem ser seguidos. Inicialmente é necessário que haja uma definição clara dos objetivos que se pretende alcançar com a revisão. Além disso, nos casos de estudos em equipe, é imprescindível que todos estejam alinhados a respeito dos procedimentos a serem realizados. Ademais, devem ser elaborados critérios rigorosos e detalhados para a definição tanto da inclusão quanto da exclusão de estudos.

Como mencionado anteriormente, a seleção dos estudos é um passo imprescindível e demanda uma definição coesa e rigorosa de critérios, de modo a limitar o escopo da revisão a um número manejável de estudos. Para isso, é necessário definir as bases de dados que sejam relevantes, além de filtros tais como idioma e período de publicação. A qualidade dos estudos selecionados deve ser avaliada com critérios claros, e para isso podem ser utilizadas ferramentas como o PRISMA e AMSTAR, que asseguram que a aplicação dos critérios determinados seja consistente e transparente [13]. No que concerne à extração e avaliação da qualidade, algumas ferramentas digitais, tais como o EndNote, podem ser

fundamentais para a gestão tanto das citações quanto das referências bibliográficas. E *softwares*, como o NVivo e ATLAS/ti, são capazes de auxiliar na análise qualitativa dos dados selecionados [14].

Okoli (2019)[15] reforça que a RSL, através do mapeamento, avaliação e sintetização dos resultados de estudos relevantes, é capaz de proporcionar uma visão objetiva e confiável do panorama atual do campo de conhecimento investigado. Portanto, quando aplicada corretamente, esta metodologia é capaz de proporcionar uma visão integrada e crítica da literatura, de modo a apontar lacunas existentes nas pesquisas presentes e orientar estudos posteriores. Sendo assim, a RSL, que contribui significativamente para o avanço do conhecimento científico, também contribui para o desenvolvimento científico e social [16].

2.2 Protocolo Prisma Statement

O *PRISMA Guidelines*, ou *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses* (Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises), funciona como uma ferramenta utilizada para a orientação de revisões sistemáticas, de modo a garantir transparência e qualidade nas pesquisas geradas. As diretrizes foram publicadas inicialmente no ano de 2009 e posteriormente atualizadas em 2020 [17].

A ferramenta pode ser compreendida como um guia detalhado, que abrange etapas que vão desde a formulação da questão de pesquisa até a apresentação dos seus resultados, todos esses aspectos são permeados por uma seleção criteriosa de estudos além de uma constante avaliação de possíveis vieses [18]. Segundo [19], a estrutura do PRISMA é composta por uma lista de verificação de 27 itens e um fluxograma constituído por 4 fases. A lista é dividida em diversas seções que variam desde o título até os resultados e discussões. Esses itens são delineados de modo a explorar aspectos considerados críticos no processo de revisão sistemática, como por exemplo a justificativa da pesquisa no contexto de produções científicas existentes [20].

Page et al. (2020)[18] afirma que a utilização do PRISMA, além de favorecer a replicação e atualização de revisões, também contribui para a “inclusão de revisões sistemáticas em overviews [...] e diretrizes, para que as equipes possam melhorar o trabalho que já foi feito e diminuir o desperdício de pesquisa”. Isso porque, a ferramenta é capaz de orientar os pesquisadores a determinarem de forma clara os critérios de elegibilidade e exclusão, bem como a descreverem detalhadamente as fontes de informação utilizadas [19].

Galvão, Pansani e Harrad (2015)[20] reforçam que o uso do PRISMA não está restrito apenas a pesquisas relacionadas à saúde, mas também a áreas como a educação ou tecnologia da informação. Isso ocorre em razão da ferramenta contribuir com pesquisadores a sintetizar evidências encontradas de maneira tanto eficiente quando sistemática e fide-

digna, tornando tangível a aplicação dos resultados encontrados em contextos práticos e políticos. Além disso, possui itens que proporcionam transparência nos processos de revisões sistemáticas abordando tanto os atributos qualitativos quanto os quantitativos, incluindo meta-análises [21].

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 A informática na educação

No domínio da educação, a informática desempenha um papel indispensável tão importante quanto em outros campos e deixa de ser uma mera ferramenta auxiliar para se integrar em conceitos pedagógicos. Sua inserção no ambiente escolar é o resultado de uma perspectiva inovadora de ensino e aprendizagem, que tem como objetivo a formação de indivíduos autônomos, dotados de senso crítico e capacidade criativa, que possam se tornar aptos a lidar com os desafios de um mundo progressivamente digital e globalizado [22].

Através da informática e das suas aplicações educacionais associadas, a cultura digital proporciona o acesso ampliado ao conhecimento e às várias formas de interação disponíveis na sala de aula, fortalecendo assim o papel central do discente. Neste contexto de uso de tecnologia na educação, os espaços *maker* emergem como implementações físicas da interseção da prática tecnológica e vida dentro da escola. Estes espaços representam um ecossistema rico para uma aprendizagem que seja ativa e colaborativa, aproximando os alunos de experiências relevantes e contextualizadas [23].

O uso da informática é uma parte constituinte no amplo processo de mudança educacional, que surge principalmente a partir da Quarta Revolução Industrial. Sendo assim, os espaços *maker* proporcionam oportunidades de transformar ideias teóricas em implicações práticas em um contexto digitalmente realizado, garantindo uma extensão prática ao exercício acadêmico, utilizando tecnologias digitais como mediadores para o conhecimento teórico [24].

O uso desse recurso na educação está diretamente vinculado à aprendizagem ativa. Neste novo cenário pedagógico, os discentes são incentivados a agir como participantes ativos no processo de aquisição de conhecimento, não se contentando apenas em receber as informações. Isso acontece porque, através da cultura *maker*, os estudantes podem

interagir diretamente com o conteúdo e resolver problemas práticos que possibilitam o aprimoramento de diversas habilidades e competências [25]. Almeida et al. (2018)[26] enfatizam que a interação direta com tecnologias como *Arduino*, impressoras 3D e programas de modelagem gráfica promovem uma aprendizagem mais intuitiva e dinâmica. Isso é alcançado ao permitir que os alunos vejam e compreendam os resultados de suas decisões ao longo do processo criativo.

No entanto, a incorporação da informática na educação enfrenta várias dificuldades. Aspectos como a falta de formação específica de docentes, a coordenação insatisfatória com o currículo e problemas na avaliação ou reconhecimento de conhecimentos adquiridos ainda apresentam barreiras relevantes para a criação de um ambiente *maker* no cenário escolar brasileiro [24]. Ademais, há a possibilidade de que a informática seja utilizada apenas em um nível superficial, como um instrumento operacional, sem gerar mudanças significativas nas práticas pedagógicas. Sendo assim, é necessário conceber a tecnologia como um meio para alcançar objetivos educacionais, e não apenas como um fim em si mesma. Isto porque, computadores e outros dispositivos não trazem automaticamente melhorias no processo de aprendizagem, a menos que façam parte de um projeto educativo bem definido e que esteja focado na construção do conhecimento [25].

Neste contexto, é necessário que o docente funcione como um mediador entre a tecnologia e seus alunos. Isso significa que o professor deve conceber tarefas que correspondam às experiências presentes nas realidades dos alunos. Assim, a preparação do docente deve incluir não apenas o manejo técnico das ferramentas, mas também a compreensão de seu potencial didático, papel no incentivo ao processo de ensino, suas limitações como instrumentos pedagógicos, e como podem ajudar na qualidade educacional [27].

No artigo de 2023 intitulado "Ensino e Aprendizagem através de Makerspaces: uma Revisão Sistemática da Literatura", os autores Cassiano Henrique de Albuquerque e Patrícia Smith Cavalcante exploram as diversas facetas da implementação e utilização de espaços *makers* no ambiente educacional. A análise sistemática da literatura realizada pelos autores evidencia os efeitos significativos que as inovações trazidas pelos *makerspaces* e tecnologias similares podem ter na educação. Inicialmente, aponta-se a importância da aprendizagem ativa que é compreendida como um componente essencial na educação contemporânea, uma vez que, estimula os alunos a se engajarem diretamente com o material de estudo através de atividades práticas e colaborativas. É nesse contexto que essas tecnologias, ao disponibilizarem ferramentas e um ambiente propício para a experimentação, têm se mostrado eficazes na promoção dessa metodologia pedagógica. Além disso, se mostram fundamentais para uma educação que valoriza a prática, permitindo que os alunos apliquem conhecimentos teóricos em situações reais, o que reforça a retenção e compreensão do conteúdo. Outro ponto abordado no artigo é o papel crucial dos espa-

ços *makers* no que diz respeito ao desenvolvimento de competências práticas e técnicas e na resolução de problemas complexos. Contudo, os autores apresentam a existência de alguns desafios para aplicação das inovações tecnológicas, tais como: a necessidade de adaptação dos espaços físicos, aquisição de materiais e formação docente. Desse modo, é possível afirmar que os espaços *makers* têm potencial para impactar positivamente a aprendizagem, desde que haja a estruturação pertinente, orientação adequada e superação dos obstáculos apresentado.

Adicionalmente, o estudo de [28] levanta debate a respeito da transição entre o mundo real e virtual, abordando questões acerca dos impactos psicológicos, econômicos e sociais. No contexto psicológico, o metaverso pode modificar a percepção pessoal de valor e identidade, já que a propriedade de itens virtuais ganha um significado mais subjetivo. Já do ponto de vista econômico, ele tem a capacidade de reestruturar os conceitos de produção, consumo e riqueza, podendo estabelecer uma nova dinâmica econômica. Por fim, em termos sociais, a plataforma pode revolucionar as interações humanas, a comunicação e a construção de vínculos, embora ainda não seja possível determinar se essas interações serão mais colaborativas ou não.

O artigo de [29] complementa as temáticas abordadas anteriormente ao abordar a evasão dos cursos de nível superior de ciências exatas. Um dos fatores que as autoras atribuem ao fenômeno diz respeito às falhas no processo de ensino e aprendizagem desses discentes. E a partir desse contexto que as metodologias ativas ganham maior destaque, contudo, ainda são pouco difundidas. A revisão sistemática de literatura proposta para o desenvolvimento do artigo colabora para uma maior compreensão do impacto dessas metodologias no contexto educacional. Isso porque, as autoras afirmam que além da redução nas desistências, as metodologias também contribuem para o aumento do desempenho acadêmico dos discentes. Além disso, elas são reconhecidas por fomentar a inovação, a capacidade de trabalhar em equipe e elevar os níveis de motivação e colaboração. O impacto desse tipo de abordagem pedagógica também se reflete na melhoria da dinâmica de feedback, na praticidade e rapidez com que os conceitos são assimilados, bem como no desenvolvimento do raciocínio lógico e os estudantes aumento de sentimentos positivos associados a satisfação com o aprendizado. Há também uma interação mais rica e próxima entre docentes e discentes, resultando em um processo de ensino-aprendizagem mais eficiente, que promove a autonomia e a liberdade dos alunos na construção do conhecimento. O artigo também reforça o papel fundamental que as tecnologias digitais desempenham ao atuarem como facilitadoras das metodologias ativas de ensino. Os estudos identificados pelas autoras abordam principalmente, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), que têm sido fundamentais para enriquecer as atividades educacionais propostas e permitir a integração de *softwares* especializados, ferramentas virtuais

interativas, simuladores e plataformas de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA). Em relação aos desafios encontrados, no caso dos docentes, é necessário que esses estabeleçam uma comunicação efetiva entre seus pares, de modo a garantir a eficiência na aplicação dessas metodologias. Além de ser necessário se manterem atualizados com as novas tecnologias para incorporá-las de forma adequada em suas aulas. A necessidade de criação de atividades que sejam suficientemente desafiadoras para manter o engajamento também se mostra como um ponto desafiador. Ademais, é fundamental que os docentes estejam abertos a explorar e testar diferentes abordagens metodológicas e serem capazes de identificar suas próprias limitações frente a essa escolha. Também sendo importante que entendam e considerem as possíveis barreiras que os alunos podem enfrentar. Do ponto de vista dos alunos, esses podem se deparar com obstáculos como a inibição ao participar de interações em grupo, a necessidade de investir mais tempo fora da sala de aula para se aprofundar nos materiais de estudo, além de dificuldades técnicas relacionadas ao uso de ferramentas digitais e à conectividade com a internet. Complementarmente, os discentes podem apresentar resistência ou dificuldades em se adaptar a novas formas de aprendizado propostas pelas diferentes metodologias ativas. Por fim, a investigação também apontou a relevância das tecnologias digitais como suporte essencial na execução das metodologias ativas. E, embora o uso de ferramentas digitais já fosse uma realidade em muitas instituições, o seu uso se intensificou durante a pandemia, o que sugere uma tendência contínua para o futuro.

Nesse contexto de maior demanda tecnológica e do uso de metodologias ativas, o estudo de [30] agrega à discussão o conceito de Pensamento Computacional (PC), que pode ser caracterizado como uma estratégia que utiliza os princípios e as limitações da computação para solucionar problemas, criar sistemas e interpretar comportamentos humanos. De um modo geral, os achados da revisão feita pelos autores, reforçam que há uma diversidade de ferramentas e abordagens que podem ser utilizadas para promover a aprendizagem colaborativa. Além disso, o estudo ainda destaca que boa parte das pesquisas levantadas, estão restritas principalmente ao ensino fundamental e ao ensino presencial, além de terem o seu foco na experiência do aluno, o que se mostra como uma lacuna no que diz respeito a estudos que abranjam um maior público e modalidade de ensino.

É possível ainda citar o trabalho desenvolvido por [31], que a partir dos Sistemas Tutoriais Inteligentes (STI), objetivou averiguar o desenvolvimento de competências em alunos. Os STI podem ser descritos como programas que incorporam técnicas de inteligência artificial para servir como facilitadores no processo educacional, oferecendo uma instrução personalizada e focada nas necessidades individuais dos estudantes nas mais diversas áreas de conhecimento. Inicialmente, os autores puderam identificar uma série de habilidades e atitudes que são fomentadas por esses sistemas. Em termos gerais, al-

gumas das mais proeminentes incluem a capacidade de autorregular a aprendizagem, o senso de responsabilidade, a aptidão e eficácia no trabalho em equipe, a competência na resolução de problemas e a motivação. Ademais, estudantes com suporte dos STI apresentaram melhor desempenho após aplicação de testes, quando comparados àqueles que não receberam o suporte. Contudo, os autores não identificaram demais habilidades que são esperadas pelo mercado de trabalho. Vale ressaltar que, contrariamente ao estudo de [30], os estudos focados em STI estão empregados majoritariamente no nível superior, o que gera a possibilidade de estudos em que esses sistemas sejam empregados em outros níveis escolares.

Portanto, compreendemos que as ferramentas tecnológicas e a educação são multifacetadas possuindo múltiplas capacidades. Se utilizada de forma congruente e estratégica, as inovações tecnológicas são capazes de ajudar a melhorar a qualidade da educação, promover o engajamento dos alunos, apoiar novas formas de pensamento e resolução de problemas, além de expandir oportunidades didáticas e pedagógicas.

3.2 Gêmeos Digitais

O objetivo geral desta seção é delinear as principais possibilidades, desafios e implicações dos gêmeos digitais para o domínio técnico, econômico, social e cultural. Para tanto, será realizada a revisão de estudos relevantes acerca da temática.

Segundo [32], os gêmeos digitais fornecem modelos precisos, dinâmicos e altamente realistas de objetos físicos por meio de dados em tempo real. O artigo enfatiza que o surgimento dos gêmeos digitais está intimamente ligado à maturidade e integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e computação em nuvem. Essas ferramentas subjacentes tornam possível construir, atualizar e trabalhar representações digitais, permitindo que os gêmeos digitais possam prever falhas, avaliar áreas que necessitam de aprimoramento além de garantir eficiência a partir da redução de custos.

Na medicina, a simulação de órgãos humanos pode ser uma ferramenta valiosa na administração de tratamentos personalizados, na testagem de medicamentos em ambientes virtuais e na limitação de riscos e danos de ensaios clínicos. Na construção civil, a tecnologia abrange o planejamento urbano inteligente, manutenção preditiva de infraestruturas e preservação do capital investido através de tomadas de decisões estratégicas e com maior embasamento [32, 33].

Hassija et al. (2025)[33] utilizam como exemplo a plataforma cmBuilder.io, que se concentra em simular cientificamente o processo de construção. O *software* possibilita modelos topográficos 3D, logística de canteiro de obras 4D e captura de realidade construída,

para melhor eficiência operacional do local em cada estágio. Fazendo isso, a qualidade da construção pode ser controlada com precisão em cada etapa. Outro exemplo utilizado no artigo é o *software* da startup NEWTWEN, que atua no campo da eletromecânica, cujo *software* não só produz gêmeos digitais que podem prever falhas, gerenciar problemas térmicos e manter outras projeções de forma confiável, mas que também podem operar de forma independente. Esses exemplos ilustram a eficácia operacional, economia de custos e melhorias gerais de segurança possibilitada por essa tecnologia.

A proposta desenvolvida por [34] é colocada em um contexto mais prático, visando as redes de computadores. Os autores propuseram um modelo funcional de gêmeos digitais organizado nas seguintes quatro camadas. A camada física representa o ambiente do mundo real, composto por um *testbed SDN multicamada*, em que são extraídas informações sobre o tráfego e os dispositivos da rede. Esse banco de dados então alimenta uma camada intermediária, responsável por processar e analisar os dados usando algoritmos de aprendizado e inteligência artificial. Posteriormente, a camada digital reproduz a camada física através do emulador CNetLab. Por fim, a camada de aplicação atua como um filtro, garantindo que todas as alterações ou melhorias propostas possam ser testadas na simulação antes de serem aplicadas a redes reais [34].

A dualidade da comunicação entre o físico e o digital, destacada por [35], torna o caráter cibernético dos gêmeos digitais mais aparente e os torna adequados para atender às necessidades de um mundo cada vez mais conectado e automatizado. Por outro lado, [28] oferecem uma perspectiva adicional ao situarem os gêmeos digitais no contexto emergente do metaverso. Nessa visão, a questão transcende o aspecto meramente técnico, abrangendo também dimensões socioculturais e psicológicas. Os autores analisam como os gêmeos digitais promovem a criação de ambientes virtuais que espelham exatamente os seus equivalentes físicos, incentivando uma imersão cada vez maior.

Enquanto [33] enfatizam a ampla gama de aplicações técnicas e vantagens operacionais, [34] mostram a viabilidade em termos práticos e os ganhos em termos de eficiência e segurança, e [28] fornecem uma reflexão sobre os aspectos sociais e culturais desta tecnologia. Em conjunto, esses autores delineiam um panorama no qual os gêmeos digitais não se restringem apenas ao campo das atividades de engenharia, mas se estabelecem como um mecanismo fundamental na mediação entre o mundo material e o universo virtual.

Ademais, outro aspecto a ser destacado é a função educacional dos gêmeos digitais, particularmente no que diz respeito ao treinamento de profissionais e atualização de habilidades no trabalho. Os gêmeos digitais desbloqueiam várias capacidades para uma aprendizagem tanto segura quanto acessível e personalizada [36].

Portanto, a implementação de gêmeos digitais simboliza uma transformação nas interações entre indivíduos, sistemas e contextos. A capacidade dessa tecnologia de unir o

mundo físico ao digital, de prever decisões com suporte em dados, de modelar com precisão e de redefinir experiências, a torna uma ferramenta importante no avanço tecnológico de diversas áreas do conhecimento. Assim, entender a aplicação, limites e impacto dos gêmeos digitais se mostra como uma tarefa indispensável.

Capítulo 4

Gêmeos digitais na educação: Uma Revisão Sistemática de Literatura

4.1 Questões de Pesquisa

O presente estudo teve por objetivo responder as seguintes indagações relativas aos gêmeos digitais e suas aplicações no contexto educacional:

- O que são gêmeos digitais e como se definem?
- Como essa tecnologia tem sido aplicada no contexto educacional?
- Quais tecnologias e/ou ferramentas têm sido utilizadas ou estão por vir?
- Quais são os impactos da aplicação de gêmeos digitais na experiência de aprendizagem dos estudantes?
- Quais são as principais vantagens e desvantagens da implementação de gêmeos digitais na educação?

4.2 Base de dados e período

Para a formulação da Revisão Sistemática de Literatura, recorreu-se às bases de dados *IEEE Xplore* e *Google Scholar*. O *IEEE Xplore*, possibilita acesso e descoberta de conteúdo técnico-científico divulgado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, ou, Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos em tradução livre) e colaboradores editoriais. A base de dados abriga um acervo superior a 6 milhões de documentos, oriundos de periódicos de alta relevância e citação nas áreas de engenharia elétrica, ciências da computação e disciplinas afins [37]. Em contrapartida, a plataforma Google

Scholar, oferece uma metodologia simplificada e eficiente para a realização de buscas extensivas na literatura acadêmica. Permitindo o acesso unificado a uma multiplicidade de campos do saber e a variados tipos de documentos. As fontes abarcam publicações de editoras acadêmicas, associações profissionais, repositórios institucionais, universidades e demais sítios eletrônicos que disponibilizam conteúdo científico [38].

Ademais, o intervalo temporal selecionado para a coleta dos dados compreendeu os anos de 2020 a 2025, assegurando uma análise de produções científicas que sejam contemporâneas e relevantes ao tema em questão.

4.3 Strings de busca e critérios de seleção

4.3.1 Critérios de seleção

A fim de delimitar o entendimento sobre gêmeos digitais e suas utilizações no âmbito educacional, foram desenvolvidas três questões:

- Possui contexto educacional formal e direto?
- Usa Gêmeos Digitais?
- Usa Metaverso?

Mediante a formulação das questões apresentadas, deu-se prosseguimento ao processo de triagem e escolha dos artigos pertinentes que subsidiariam o desenvolvimento da RSL.

4.3.2 String de busca

Para a elaboração da revisão sistemática de literatura, adotou-se a seguinte *string* de busca:

(Digital Twins OR Gêmeos Digitais) AND (building OR prédio OR built environment OR ambiente construído) AND (Metaverse OR metaverso) AND (Education OR educação OR Learning OR aprendizagem OR Teaching OR ensino)

Através dessa abordagem buscou-se identificar e recuperar estudos relevantes que discorram sobre a interseção entre os conceitos de gêmeos digitais e metaverso, bem como educação, aprendizagem e ensino, garantindo uma análise abrangente e integrada. Inicialmente, os resultados das buscas realizadas no *IEEE Xplore* e *Google Scholar* resultaram em 102 artigos (69 no *IEEE Xplore* e 33 no *Google Scholar*). Desses, 71 foram escritos em língua inglesa, enquanto 31 foram escritos em língua portuguesa. Posteriormente, para uma maior otimização das buscas, foram estabelecidos critérios específicos de inclusão e exclusão, os quais são detalhados a seguir:

- Incluídos: trabalhos que abordam diretamente gêmeos digitais e/ou metaverso em contextos educacionais formais ou informais; estudos empíricos, artigos de conferência, dissertações e revisões; escritos em inglês ou português.
- Excluídos: trabalhos puramente técnicos (foco em redes, sensores etc., sem relação com educação); aplicações industriais sem interface com aprendizagem.

Desse modo, ao fim da aplicação dos critérios, 41 textos foram selecionados, enquanto 61 foram descartados. A Tabela 4.1 apresenta uma relação entre o número de textos e o ano de publicação, sendo possível observar um maior interesse pela temática nos anos mais recentes. É importante ressaltar que a redução observada no número de publicações em 2025 pode estar associada ao fato de o ano ainda não ter se encerrado, o que implica que os dados são parciais e sujeitos a alterações conforme novos trabalhos são completados e disponibilizados.

Tabela 4.1: Quantidade de textos selecionados publicados entre 2020 e 2025

Ano de publicação	Ano de publicação Quantidade de textos publicados
2020	0
2021	1
2022	12
2023	15
2024	12
2025	1

A Tabela 4.2 apresenta os principais dados referentes aos 41 trabalhos selecionados após a análise dos critérios descritos acima. Contudo, para a responder as questões de pesquisa, apenas 21 foram utilizados, isto porque, 20 desses estudos possuem restrições de acesso, o que impossibilitou o uso dos mesmos.

Tabela 4.2: Dados dos textos selecionados

	Título	Autoria	Ano
1	An Edu-Metaverse Service Platform and its Experiments on Physical Education Class in PKU	Ting Wu & Fei Hao	2023
2	Building a University Digital Twin	Jeffrey Price; Hamida Khatri; Chris Gauthier; Brandon Coffey; Jacqueline Garza	2024

3	Exploration of classroom teaching reform in higher vocational colleges from the perspective of metaverse	Wanying Fu, Jie Pan	2022
4	Systematic Literature Review on The Usage of IoT in The Metaverse to Support The Education System	Dyandra M. Frangklyn Blair; Febri Ndruru; Dewi Sri Rejeki; Jurike V. Moniaga; Bakti Amirul Jabar	2022
5	A Metaverse-Based Teaching Building Evacuation Training System With Deep Reinforcement Learning	Jinlei Gu; Jiacun Wang; Xiwang Guo; Guanjun Liu; Shujin Qin; Zhiliang Bi	2023
6	First Steps in Constructing an AI-Powered Digital Twin Teacher: Harnessing Large Language Models in a Metaverse Classroom	Ben Swift, Liam Bray et al.	2024
7	Exploring the Connectivity Between Education 4.0 and Classroom 4.0: Technologies, Student Perspectives, and Engagement in the Digital Era	Kapil Joshi; Rajesh Kumar; Salil Bharany; Dilip Kumar J.B. Saini; Rajiv Kumar; Ashraf O. Ibrahim; Abdelzahir Abdelmaboud; Wamda Nagmeldin; Mohammad A. Medani	2024
8	Constructing an Edu-Metaverse Ecosystem: A New and Innovative Framework	Minjuan Wang; Haiyang Yu; Zerla Bell; Xiaoyan Chu	2022
9	Toward Ubiquitous Semantic Metaverse: Challenges, Approaches, and Opportunities	Kai Li; Pik Lik Billy Lau; Xin Yuan; Wei Ni; Mohsen Guizani; Chau Yuen	2023
10	The Metaverse evolution: Toward Future Digital Twin Campuses	Petar Antonijevic; Muddesar Iqbal; George Ubakanma; Tasos Dagiuklas	2022
11	Advancing Education Through Extended Reality and Internet of Everything Enabled Metaverses: Applications, Challenges, and Open Issues	S. K. Jagatheesaperumal; K. Ahmad; A. Al Fuqaha; J. Qadir	2024

12	A Metaverse Between Technical and Humanistic Domains to Reach Society 5.0	Anna Osello; Umberto Manera; Nicola Rimella; Carlotta Bin; Rosario Vasta; Elena Masala; Jennifer Shields; Guillaume Tarantola; Adriano Chió	2024
13	When Internet of Things Meets Metaverse: Convergence of Physical and Cyber Worlds	Kai Li; Yingping Cui; Weicai Li; Tiejun Lv; Xin Yuan; Shenghong Li; Wei Ni; Meryem Simsek; Falko Dressler (ccs-labs.org, arxiv.org)	2023
14	Task-Oriented Cross-System Design for Timely and Accurate Modeling in the Metaverse	Zhen Meng, Kan Chen, Yufeng Diao, Changyang She, Guodong Zhao, Muhammad A. Imran, Branka Vucetic	2023
15	ChulaVerse: University Metaverse Service Application Using Open Innovation with Industry Partners	Pravee Kruachottikul; Gridsada Phanomchoeng; Nagul Cooharajanone; Kittikul Kovitanggoon; Pin Tea Makorn	2023
16	Fusing Blockchain and AI With Metaverse: A Survey	Qinglin Yang et al.	2022
17	Toward Trustworthy Metaverse: Advancements and Challenges	Jamin Rahman Jim; Tanzib Hosain; M. F. Mridha; Md Mohsin Kabir; Jungpil Shin	2023
18	Impact of Metaverse in Healthcare based on Architecture, Challenges and Opportunities	Pranav Gupta; Himanshi Babbar; Shalli Rani	2023
19	AI-based Blockchain for the Metaverse: Approaches and Challenges	Ouns Bouachir; Moayad Aloqaily; Fakhri Karray; Abdulmotaleb El-saddik	2022
20	An Exploration of Metaverse Applications in the Health Sector and Their Limitations	Yumna Zafar	2023
21	Artificial General Intelligence (AGI)-Native Wireless Systems: A Journey Beyond 6G	Walid Saad, Omar Hashash, Christo Thomas et al.	2025
22	The Internet of Things in Developing Metaverse	Dyandra Maheswari; Frangklyn B. Febri Ndruru; Dewi Sri Rejeki; Bakti Amirul Jabar	2022

23	Parallel Population and Parallel Human—A Cyber-Physical Social Approach	Peijun Ye; Fei-Yue Wang	2022
24	Aplicações do Metaverso na construção civil	Andreza Marques; Ricardo Oviedo Haito	2024
25	Perspectivas de utilização do Metaverso na construção civil	Marques, Andreza	2023
26	AjuMetaverso: meios digitais no Ensino de História	Pedro Henrique Ribeiro Fernandes	2022
27	Metaverso como ferramenta de auxílio às empresas de arquitetura	FERRAZ, Luana Kayane Silva; LIMA, Isabela Santos; LIMA, Vinícius Pereira de; MARQUES, Ana Beatriz de Figueiredo; PINHEIRO, Pedro Henrique Solovjovas; SANTOS, Júlia Conceição dos	2023
28	O fenômeno “Metaverso” e suas implicações sobre a educação: uma revisão sistemática da literatura e análise documental	Bezerra Jr, A. G., OLIVEIRA, F. A. D., & CONCEIÇÃO, S. A. H.	2024
29	Desenvolvimento de um protótipo de aplicação web com enfoque em experiência no metaverso	Ferreira, Renan Soares	2022
30	Como o desenvolvimento do metaverso pode impactar a Defesa Nacional?	Santos, Fabio Luiz Benincasa Corrêa dos	2024
31	Integração do metaverso no processo de desenvolvimento de produtos	Erbs, Vicente Knihs	2022
32	Metaverso e o novo ambiente de trabalho: revolução digital e os impactos jurídicos nas relações laborais	Graminho, Vivian Maria Caxambu	2022
33	Projectar para o Mundo Virtual: uma experiência no metaverso	Marques, Maria João	2024
34	Estabelecimento empresarial no Metaverso: possui amparo legal?	Henrique Nelson Ferreira Filho	2023

35	A influência da realidade estendida imersiva no ensino e aprendizagem de disciplinas STEM para a ciência da computação na modalidade EAD: proposta de um framework para criação de cenários imersivos	Guerra, André Roberto	2024
36	O Digital Twin no Planejamento e Gestão Urbana: Recurso chave para as atuais demandas climáticas, sociais e tecnológicas	Pascoli, Pedro Rattes	2024
37	O uso da narrativa como ferramenta de imersão na Web 3.0 no contexto das artes visuais digitais	Gabriela Fonseca Costa	2024
38	TRANSIÇÃO DIGITAL NOS MUSEUS	Lídia Fernandes	2024
39	Meta C8: uma experiência em realidade virtual para divulgar o Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul	Dornelles, Yago Quadri	2023
40	Um método para o desenvolvimento de competências para a indústria 4.0 através de tecnologias de realidade virtual	Tito Armando Rossi Filho	2021
41	Reconstrução digital: narrativas virtuais e um novo lugar para a memória	Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira	2023

Além disso, após a leitura da dissertação “O uso da narrativa como ferramenta de imersão na Web 3.0 no contexto das artes visuais digitais” de Gabriela Fonseca Costa, percebeu-se que o estudo não se relaciona com nenhuma das perguntas de pesquisa propostas para esse trabalho. Na Figura 4.1, apresenta-se o fluxograma do PRISMA, que ilustra todo o processo descrito neste tópico, com base na *string* de busca e nas duas bases de dados utilizadas. Já na Tabela 4.3, encontram-se os dados dos 21 artigos utilizados para a elaboração da seção seguinte desta pesquisa.

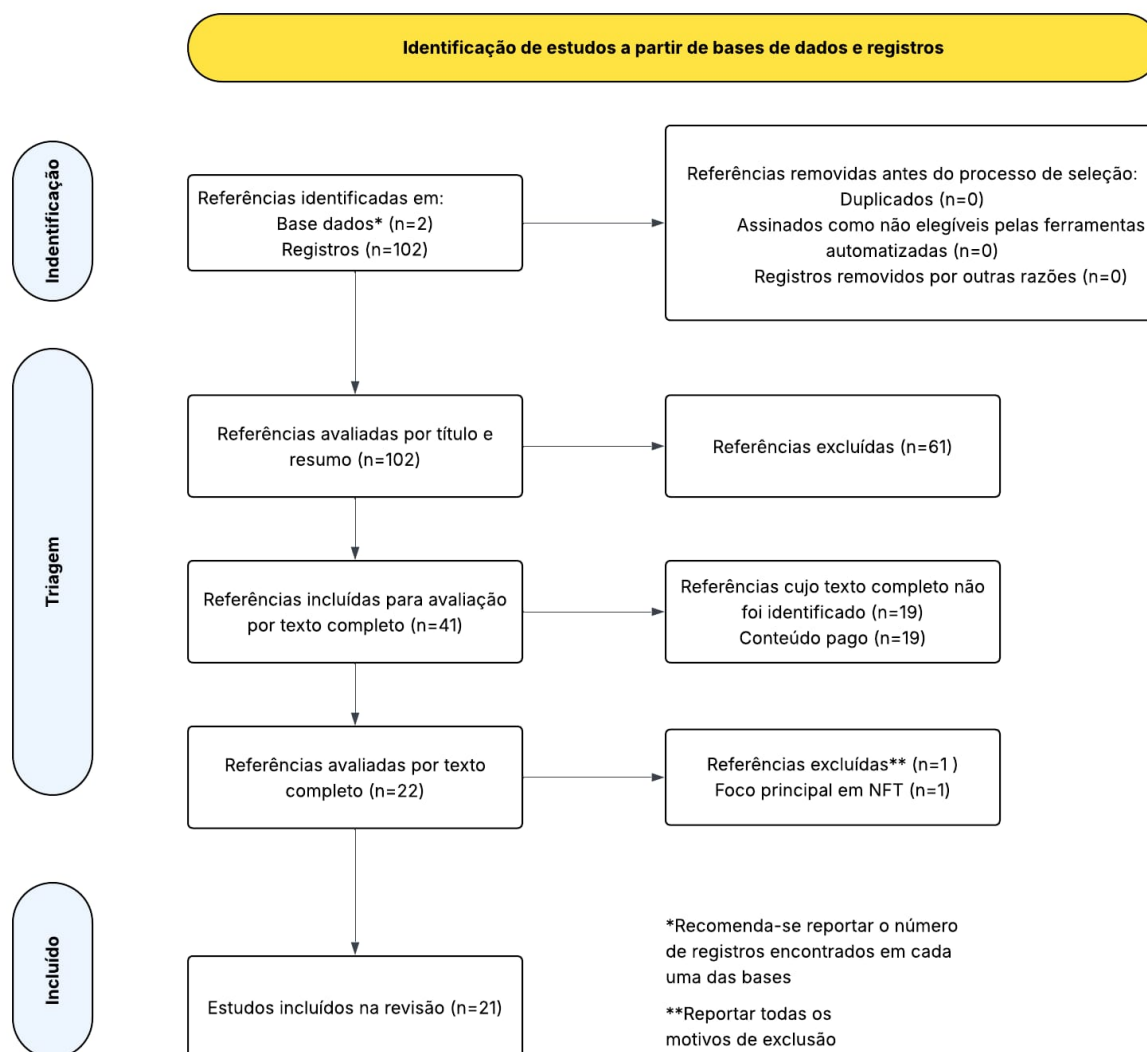


Figura 4.1: Fluxograma do PRISMA com os artigos das duas bases

Tabela 4.3: Dados dos textos utilizados para responder às perguntas

Nº	Título	Autoria	Ano
1	Exploring the Connectivity Between Education 4.0 and Classroom 4.0: Technologies, Student Perspectives, and Engagement in the Digital Era	Kapil Joshi; Rajesh Kumar; Salil Bharany; Dilip Kumar J.B. Saini; Rajiv Kumar; Ashraf O. Ibrahim; Abdelzahir Abdelmaboud; Wamda Nagmeldin; Mohammad A. Medani	2024

2	Advancing Education Through Extended Reality and Internet of Everything Enabled Metaverses: Applications, Challenges, and Open Issues	S. K. Jagatheesaperumal; K. Ahmad; A. Al Fuqaha; J. Qadir	2024
3	ChulaVerse: University Metaverse Service Application Using Open Innovation with Industry Partners	Pravee Kruachottikul; Gridsada Phanomchoeng; Nagul Cooharajanane; Kittikul Kovitanggoon; Pin Tea Makorn	2023
4	Fusing Blockchain and AI With Metaverse: A Survey	Qinglin Yang et al.	2022
5	Toward Trustworthy Metaverse: Advancements and Challenges	Jamin Rahman Jim; Tanzib Hosain; M. F. Mridha; Md Mohsin Kabir; Jungpil Shin	2023
6	Aplicações do Metaverso na construção civil	Andreza Marques; Ricardo Oviedo Haito	2024
7	Perspectivas de utilização do Metaverso na construção civil	Marques, Andreza	2023
8	AjuMetaverso: meios digitais no Ensino de História	Pedro Henrique Ribeiro Fernandes	2022
9	Metaverso como ferramenta de auxílio às empresas de arquitetura	FERRAZ, Luana Kayane Silva; LIMA, Isabela Santos; LIMA, Vinícius Pereira de; MARQUES, Ana Beatriz de Figueiredo; PINHEIRO, Pedro Henrique Solovjovas; SANTOS, Júlia Conceição dos	2023
10	O fenômeno “Metaverso” e suas implicações sobre a educação: uma revisão sistemática da literatura e análise documental	Bezerra Jr, A. G., OLIVEIRA, F. A. D., & CONCEIÇÃO, S. A. H.	2024
11	Desenvolvimento de um protótipo de aplicação web com enfoque em experiência no metaverso	Ferreira, Renan Soares	2022
12	Como o desenvolvimento do metaverso pode impactar a Defesa Nacional?	Santos, Fabio Luiz Benincasa Corrêa dos	2024

13	Integração do metaverso no processo de desenvolvimento de produtos	Erbs, Vicente Knih	2022
14	Metaverso e o novo ambiente de trabalho: revolução digital e os impactos jurídicos nas relações laborais	Graminho, Vivian Maria Caxambu	2022
15	Projectar para o Mundo Virtual: uma experiência no metaverso	Marques, Maria João	2023
16	Estabelecimento empresarial no Metaverso: possui amparo legal?	Henrique Nelson Ferreira Filho	2023
17	A influência da realidade estendida imersiva no ensino e aprendizagem de disciplinas STEM para a ciência da computação na modalidade EAD: proposta de um framework para criação de cenários imersivos	Guerra, André Roberto	2024
18	TRANSIÇÃO DIGITAL NOS MUSEUS	Lídia Fernandes	2024
19	Meta C8: uma experiência em realidade virtual para divulgar o Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul	Dornelles, Yago Quadri	2023
20	Um método para o desenvolvimento de competências para a indústria 4.0 através de tecnologias de realidade virtual	Tito Armando Rossi Filho	2021
21	Reconstrução digital: narrativas virtuais e um novo lugar para a memória	Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira	2023

4.4 Respostas as questões de pesquisa

Esta seção visa responder às perguntas de pesquisa por meio da análise dos artigos selecionados, apresentados anteriormente. A avaliação crítica dos estudos, tem como objetivo interpretar os dados no contexto da pesquisa, sendo então, capaz de proporcionar uma visão abrangente e multidimensional do tema.

4.4.1 O que são gêmeos digitais e como se definem?

Para responder a esta pergunta foram utilizados 15 dos artigos selecionados. Os outros 6 artigos ou não abordavam de forma alguma o conceito dos gêmeos digitais ou a forma como abordava era apenas superficial, não sendo o suficiente para o embasamento teórico utilizado na formulação da resposta.

Conceitualmente, as definições de gêmeos digitais, ou *digital twins*, podem variar em sua complexidade e ênfase. Alguns estudos os descrevem como representações digitais precisas de entidades físicas, criadas a partir de modelagem e são constantemente atualizadas com dados em tempo real [39, 40]. Enquanto outros os caracterizam como uma representação digital dinâmica que auxilia na modelagem e na execução de simulações de cenários hipotéticos, sem impactar o correspondente físico [41]. Esse último entendimento reforça o papel dos gêmeos digitais como uma instância contínua de aprendizagem, alimentada por dados em múltiplas dimensões, com capacidade analítica ampliada por técnicas como *machine learning* e inteligência artificial [5, 42, 43].

A tecnologia dos gêmeos digitais, estabeleceu-se como uma inovação tecnológica significativa no campo da representação e análise de sistemas físicos através de meios virtuais. Inicialmente, essa inovação pode ser entendida como uma modelagem digital dinâmica que é capaz de replicar, em tempo real, um objeto, processo ou sistema do mundo físico, permitindo uma interação contínua entre esses dois domínios por meio da coleta, transmissão e interpretação de dados [5, 44, 45, 42, 46]. Para além de uma mera representação gráfica ou simulação, a replicação incorpora comportamentos, estados operacionais, estados organizacionais e mudanças contextuais que ocorrem no sistema físico ao longo do tempo [47, 5].

Marques e Haito (2023) [5] caracteriza três componentes como essenciais aos gêmeos digitais, sendo eles: um objeto ou sistema real, sua representação digital e a conexão de dados contínua entre ambos. A tríade permite ao modelo digital a evolução em sincronia com sua contraparte física, o que torna possível aplicações em tempo real como monitoramento, a previsão de falhas, a simulação de cenários e a otimização de processos. Além disso, a sincronicidade também é apontada como um dos aspectos centrais da tecnologia, uma vez que, os DT são dotados da capacidade de autoatualização, adaptação e evolução que ocorrem através das informações obtidas de seus objetos físicos [41].

Ademais, embora os DT possuam características similares às simulações computacionais tradicionais, há diferenças substanciais entre esses conceitos. As simulações, em geral, são criadas a partir de um modelo estático ou delimitado para analisar um comportamento específico sob determinadas condições. Enquanto os DT são ambientes virtuais integrados, projetados para acompanhar em tempo real os dados de sistemas complexos,

garantindo assim uma maior escalabilidade e maior capacidade preditiva quando comparados às simulações [48].

Outro fator de relevância, diz respeito à diversidade de aplicação dos gêmeos. Eles têm sido empregados em sistemas ciber-físicos, linhas de produção industriais, redes hospitalares e projetos urbanos inteligentes. Essa flexibilidade possibilita a sua utilização tanto na fase de concepção e prototipagem, quanto na operação e manutenção de sistemas, desse modo, tornando possível otimizar os artefatos e os procedimentos de fabricação. [48, 43, 45, 49]. Não obstante, a relevância de seu papel tem se evidenciado de maneira preponderante no desenvolvimento de ambientes imersivos como o metaverso, configurando-se como uma interface que conecta o universo físico ao digital, fomentando a interconectividade [50, 51].

Em relação ao seu aspecto técnico, a sua criação abrange o uso de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), sistemas de informação geográfica (GIS), plataformas de inteligência artificial, e diversas outras. Essas tecnologias contribuem para o enriquecimento do modelo com dados em tempo real, permitindo análises preditivas, diagnósticos e otimizações operacionais [47, 49, 51, 44, 45].

4.4.2 Como essa tecnologia tem sido aplicada no contexto educacional?

Foram utilizados 17 dos 21 artigos selecionados. Os demais artigos se restringiam a apenas mencionar o fato dos fatos de que os gêmeos podem ser utilizados na educação e o trabalho “Reconstrução Digital: Narrativas Virtuais E Um Novo Lugar Para A Memória” não fazia qualquer menção a respeito do assunto.

O uso dos gêmeos digitais e das tecnologias imersivas no campo da educação apresenta uma crescente, especialmente com o avanço das plataformas do metaverso e o aprimoramento das ferramentas de realidade virtual (VR), aumentada (AR) e mista (MR). Essas tecnologias estão promovendo uma transformação significativa nos processos de ensino e aprendizagem, tanto no ensino presencial quanto no ensino remoto, com impactos que se estendem desde a formação básica até os níveis mais avançados de capacitação profissional e técnica [47, 50, 46, 51, 43, 40, 45, 52].

Ao possibilitar a criação de ambientes imersivos, essa tecnologia se torna capaz de proporcionar experiências de aprendizagem mais interativas e contextualizadas. A partir do uso de modelos digitais dinâmicos, os estudantes podem interagir com representações virtuais de objetos e sistemas reais, o que por sua vez, propicia a compreensão, principalmente ao se abordar conceitos abstratos e complexos. Desse modo, os DT revelam particularmente eficazes em disciplinas como fisiologia, anatomia e química onde a vi-

sualização tridimensional de fenômenos e estruturas facilita a assimilação dos conteúdos [53, 40, 52].

Nos contextos universitários, a aplicação de DT possibilita a criação de simulações colaborativas, integrando estudantes, professores e parceiros da indústria em experiências educacionais tanto imersivas quanto interativas, que têm o potencial para redefinir os processos de ensino-aprendizagem e aproximar a teoria e a prática [54, 44].

Além disso, a integração entre gêmeos digitais, gamificação e inteligência artificial se mostra promissora para a elaboração de abordagens pedagógicas mais envolventes e personalizadas às demandas de cada estudante. Adicionalmente, a implementação de ambientes virtuais que incorporam elementos de gamificação têm demonstrado potencial em incrementar substancialmente a motivação dos estudantes e de mitigar obstáculos típicos do ensino a distância, tais como a baixa participação e as dificuldades de foco [39, 45]. Essas tecnologias permitem ainda o acompanhamento detalhado do progresso do aluno, com a possibilidade de geração feedback automatizado e personalizado [42, 45]. A possibilidade de transitar entre mundos real e virtual permite ainda que alunos em regiões remotas participem de experiências educacionais anteriormente inacessíveis, contribuindo para a democratização do ensino [51, 5, 52].

Este paradigma emergente na educação caracteriza-se por uma acentuada interdisciplinaridade e pelo foco na aprendizagem colaborativa, que favorece o desenvolvimento de habilidades sociais, à resolução de problemas e ao trabalho em equipe [50, 46]. Do ponto de vista prático, esses aspectos são atingidos através de usos que perpassam desde simulações de experimentos laboratoriais, até recriações históricas e visitas virtuais a museus e ambientes culturais. Tudo isso enriquece o repertório dos discentes e possibilita uma aprendizagem significativa e imersiva [49, 42, 43].

Em relação à acessibilidade e inclusão, os DT e as tecnologias imersivas se mostram eficazes para garantir o acesso à educação por parte de públicos que enfrentam barreiras físicas ou comunicacionais. O estudo de [55] relata que comunidades de pessoas com deficiência, já exploram o potencial dessas tecnologias a partir de plataformas como o VrChat para dar continuidade a seus estudos em ambientes que além de acolhedores também personalizados às suas necessidades.

Sob a perspectiva dos docentes, as plataformas digitais que oferecem suporte a gêmeos digitais emergem como instrumentos promissores para a capacitação e aprimoramento profissional dos professores. Soluções fundamentadas em inteligência artificial e ambientes de simulação possibilitam, o registro detalhado das aulas e do acompanhamento do desempenho dos alunos, mas também a construção de trajetórias [42].

Embora os estudos apontem diversas vantagens e um crescimento promissor, é fundamental reconhecer também os desafios relacionados à implementação dessas tecnologias,

incluindo a exigência de uma infraestrutura apropriada, a formação contínua dos professores e a atenção à sobrecarga sensorial nos ambientes virtuais, a qual pode prejudicar a experiência educacional caso não seja adequadamente gerenciada [45, 52].

4.4.3 Quais tecnologias e/ou ferramentas têm sido utilizadas ou estão por vir?

Para a elaboração desta seção foram utilizados 17 dos 21 artigos selecionados. Dentre estes, 2 não abordavam o assunto relacionado à pergunta e considerou-se que os outros 2 o abordaram de forma tangenciada.

A incorporação dos gêmeos digitais ao metaverso exige um ecossistema tecnológico complexo e multifacetado, que integra ferramentas de visualização imersiva, plataformas de modelagem, redes de transmissão de dados velozes e inteligência computacional avançada. Essa infraestrutura interconectada possibilita, além da criação de representações digitais dinâmicas do mundo físico, a interação contínua e adaptativa entre os ambientes físico e virtual [47, 48, 43].

Entre as tecnologias mais fundamentais, destacam-se a realidade virtual (VR), a realidade aumentada (AR) e a realidade mista (MR), que possibilitam a imersão sensorial e a sobreposição de informações digitais ao mundo físico. Esses recursos são essenciais para a experiência do usuário no metaverso, pois tornam possível a criação de ambientes interativos, tridimensionais e navegáveis, nos quais os gêmeos digitais funcionam como representações manipuláveis e responsivas [50, 46, 56, 57]. A modelagem 3D e o *Building Information Modeling* (BIM) também figuram como pilares estruturais, oferecendo bases robustas para a criação de modelos digitais detalhados e altamente precisos, com usos e aplicações possíveis em variados contextos, sejam eles educacionais ou não [55, 44, 50].

Além disso, tecnologias inovadoras como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA), a computação em nuvem, *Non-Fungible Token* (NFT), *edge computing* e o *blockchain* se apresentam como responsáveis por criar uma conexão constante de dados entre os objetos físicos e suas versões digitais. Essas tecnologias, em conjunto, sustentam os ambientes virtuais dinâmicos, responsivos e sincronizados ao mundo físico que são criados a partir dos gêmeos digitais [42, 47, 50, 5, 48, 40].

Especialmente no que diz respeito aos gêmeos digitais, a IoT desempenha um papel fundamental. Isso porque, ela possibilita a coleta automatizada das informações que são provenientes de dispositivos físicos. Essa rede de sensores alimenta os modelos com frequência e variedade de dados, o que contribui para manter os gêmeos atualizados e sincronizados com as alterações reais [56, 54, 51, 50].

Simultaneamente, o *blockchain* e tecnologias correlatas, como NFTs, têm sido empregados para garantir a segurança, autenticidade e transparência nas interações e transações realizadas no metaverso. Essa aplicabilidade é particularmente relevante para a gestão de identidades digitais, a titularidade de ativos virtuais e a rastreabilidade de ações, seja nos contextos educacionais, profissionais ou outros [40, 54].

Ainda sobre as representações visuais associadas aos DT, dispositivos como óculos de realidade virtual (VR), softwares como Blender e 3DS Max, ferramentas como o Open- Simulator e plataformas de modelagem tridimensional (3D) possibilitam a criação de ambientes que sejam realistas, navegáveis e interativos. Nesses ambientes os gêmeos digitais podem ser manipulados, observados e analisados a partir de uma diversidade de escalas e condições [56, 41, 45, 48, 5].

Não obstante, ferramentas específicas de desenvolvimento, como por exemplo, *Babylon.js* e *frameworks* de *backend*, como *Node.js* e *Colyseus*, têm sido utilizadas para viabilizar o funcionamento de plataformas no metaverso. Elas permitem o desenvolvimento de interfaces gráficas em tempo real, comunicação entre usuários e sistemas, além da ordenação de ambientes que são capazes de comportar múltiplos participantes de modo simultâneo [57]. Por fim, as conexões 5G e 6G desempenham um papel significativo na viabilização de ambientes digitais altamente interativos. A adoção dessas redes de nova geração assegura baixa latência, alta velocidade de transmissão de dados e maior estabilidade, requisitos essenciais para garantir a sincronia em tempo real entre os mundos físico e virtual criados pelos gêmeos [40, 49, 48].

4.4.4 Quais são os impactos da aplicação de gêmeos digitais na experiência de aprendizagem dos estudantes?

Ao abordar essa pergunta, não se utilizou 4 dos 21 textos selecionados após a aplicação da string e dos critérios de exclusão. A escolha se justifica pelo fato desses textos não abordarem os impactos da aplicação dos gêmeos.

As tecnologias de imersão e interação, como os gêmeos digitais, vêm transformando a experiência educacional ao criar ambientes digitais que não apenas simulam o mundo real, mas o ampliam, oferecendo novas formas de tanto de ensino quanto de aprendizagem. Essas tecnologias possibilitam que os alunos, além de observar o conteúdo, sejam capazes de o experimentarem de maneira mais sensorial, envolvendo sentidos como visão, audição e tato, o que por sua vez favorece o engajamento e facilita a retenção da informação transmitida [58, 51, 47].

Os ambientes criados por essas tecnologias impactam diretamente na vivência dos estudantes. Isso porque, ao estarem imersos nos ambientes virtuais, são capazes de observar

interagir com objetos, o que favorece o engajamento, tanto físico quanto cognitivo, com o conteúdo apresentado e torna o processo de aprendizagem mais significativo [52, 50, 40, 5]. Outro aspecto fundamental está relacionado a capacidade de construção ativa dos alunos, que através da sua participação e da sua criatividade podem adaptar o ambiente de acordo com as suas próprias necessidades e preferências [53, 55].

A partir da interação é possível haver a manipulação de elementos virtuais, o diálogo e a colaboração entre pares, mesmo em ambientes remotos e mesmo que os participantes não estejam fisicamente no mesmo local. Esse elemento amplia significativamente a acessibilidade da educação e favorece o desenvolvimento do pensamento crítico além de habilidades socioemocionais como empatia e comunicação [45, 46, 54, 42]. Além disso, ao possibilitar a realização de atividades práticas, simulações e resolução de problemas, essas tecnologias também fortalecem competências como autoaprendizagem, criatividade e autonomia [49, 53, 51].

De um modo geral, os estudos analisados também ressaltam que as tecnologias imersivas possuem o potencial de personalizar o processo de ensino-aprendizagem, proporcionando experiências adaptadas às necessidades, preferências e estilos cognitivos de cada um dos alunos, desafiando assim o modelo tradicional de sala de aula. Além disso, garantem ainda a possibilidade de adaptação para diferentes níveis de acessibilidade, promovendo a inclusão de estudantes com deficiência ou dificuldades de aprendizagem [54, 51, 55].

Outro benefício relevante está associado à capacidade de integração entre teoria e prática, especialmente em disciplinas que envolvam conceitos complexos, como matemática, ou atividades laboratoriais. Em ambientes virtuais, os alunos têm a possibilidade de vivenciar cenários históricos, explorar arquiteturas antigas, simular experimentos científicos e realizar treinamentos técnicos de forma segura e repetitiva, sem os custos e riscos associados aos ambientes físicos e com a possibilidade de revisar das ações tomadas [39, 40, 44, 51].

Contudo, os impactos dessas tecnologias não se restringem apenas ao plano individual de cada aluno. Ao se tratar dos âmbitos social e institucional, elas têm o potencial de minimizar desigualdades geográficas e socioeconômicas no acesso à educação. As plataformas educacionais baseadas no metaverso permitem que alunos de diversas regiões compartilhem o mesmo espaço virtual, colaborem em projetos e acessem materiais educativos, mesmo que haja a ausência de infraestrutura física real [44, 52, 40, 54]. A flexibilidade apontada pelos autores pode ser crucial para democratizar o ensino e ampliar as oportunidades de aprendizagem em grande escala.

Apesar de todos os benefícios apontados, é importante notar que a efetividade dessas tecnologias depende que a sua integração pedagógica seja realizada de maneira adequada. [45], aponta que caso esses ambientes tenham excesso de estímulos visuais, podem causar

dispersão e assim comprometer o foco dos alunos, demonstrando assim a necessidade de uma formação docente mais aplicada e do planejamento instrucional criterioso.

4.4.5 Quais são as principais vantagens e desvantagens da implementação de gêmeos digitais na educação?

Embora os gêmeos apresentem um potencial promissor no contexto educacional, sua implementação prática enfrenta uma série de desafios técnicos, sociais, éticos e institucionais que demandam uma análise aprofundada e atenção aos seus aspectos. Essas dificuldades podem comprometer a eficácia e a sustentabilidade do seu uso, particularmente quando estiverem integradas a ambientes complexos, como o metaverso. É importante ressaltar ainda a fragilidade dos objetos digitais, que podem ser comprometidos pela obsolescência de formatos e pela ausência de investimentos em sua manutenção e atualização contínua [58].

Um dos obstáculos mais significativos refere-se às limitações tecnológicas e de infraestrutura. Isto porque, muitos ambientes educacionais, principalmente no contexto da educação pública, ainda carecem dos recursos necessários para implementar plataformas imersivas de maneira eficaz. A ausência de equipamentos adequados, como por exemplo dispositivos de realidade virtual e redes de alta velocidade, comprometem tanto a acessibilidade quanto a qualidade da experiência [44, 56, 54]. Não obstante, questões como baixa capacidade de processamento, dificuldades na sincronização de usuários, limitações gráficas dos avatares e desafios relacionados à locomoção nos ambientes virtuais também são apontadas barreiras técnicas significativas [52, 54, 53, 44].

Bezerra, Oliveira e Conceição (2023) [39] também indicam a necessidade dos docentes se apropriarem conceitualmente das tecnologias envolvidas, como blockchain, realidade virtual, realidade aumentada e fundamentos da *Web 3.0*. Essa lacuna na formação profissional impõe um desafio estrutural à inserção dessas ferramentas no cotidiano escolar, exigindo investimento em capacitação docente e desenvolvimento de práticas pedagógicas que sejam contextualizadas. A adoção dessas tecnologias exige não apenas investimentos em infraestrutura, mas também mudanças no planejamento curricular, nas metodologias de avaliação e nos modelos de gestão escolar [49].

Adicionalmente, surgem desafios éticos e sociais, especialmente no que tange à privacidade, à segurança de dados e à acessibilidade digital. A coleta de dados biométricos, gestos e expressões faciais em tempo real por meio de tecnologias de VR e AR pode representar riscos relacionados ao uso indevido dessas informações, sendo indispensável a criação de leis, regulamentações e mecanismos de proteção adequados [48, 50, 51, 46, 40, 41].

A própria natureza do metaverso pode exacerbar vulnerabilidades preexistentes, como a exposição à desinformação, fraudes, assédio e conteúdos impróprios, especialmente entre grupos mais vulneráveis, como crianças, idosos ou entre usuários inexperientes [48]. Ainda vale destacar a possibilidade de desconexão com a realidade, principalmente quando o uso das ferramentas não acontece de forma orientada por princípios pedagógicos sólidos e quando não são bem mediadas, podendo distanciar os estudantes das suas vivências no mundo físico e de suas dinâmicas sociais autênticas e reais [39].

Entre os aspectos positivos associados ao uso dos gêmeos digitais, destacam-se a maleabilidade dos objetos digitais, que se tornam possíveis de serem modificados e simulados e sincronizados conforme os objetivos de aprendizagem desejados, além da possibilidade de personalização de cenários para atender a estilos e preferências individuais [5, 55]. Além disso, ambientes virtuais baseados em gêmeos digitais contribuem para o engajamento dos alunos por meio de experiências imersivas e interativas, estimulando o pensamento crítico e a resolução de problemas em contextos simulados [52, 45, 42].

A Tabela 4.4 apresenta os dados contidos nos estudos de [53], nela são apresentadas pelo autor algumas vantagens e limitações das tecnologias imersivas quando aplicadas ao contexto educacional.

Tabela 4.4: Vantagens e limitações para fins educacionais

Vantagens	Limitações
a) Motivação de estudantes e usuários de forma geral;	I. A necessidade de imersão do usuário no mundo virtual com a utilização de equipamentos para melhorar a experiência pode ser limitante para o uso generalizado;
b) Grande poder de ilustrar características e processos;	II. Limitações na reprodução de outros sentidos, como olfato, paladar, equilíbrio e temperatura, que não são tão fáceis de reproduzir na RV como os sentidos de visão, toque e som;
c) Permite a visualização de detalhes de objetos;	III. Dificuldade na reprodução fiel de gestos e expressões humanas pelos avatares para parecerem mais “vivos”;
d) Permite experimentos virtuais, na falta de recursos, ou para fins de educação virtual interativa;	IV. Necessidade de que as roupas e acessórios pareçam mais naturais, acompanhando o realismo de movimento e expressão;
e) Permite ao aprendiz refazer experimentos atemporalmente, fora do âmbito de uma aula clássica;	V. Capacidade de acesso a partir de vários dispositivos e locais, permitindo que o ambiente virtual seja acessado de qualquer lugar e garantindo o armazenamento de experiência e identidade do usuário;
f) Possibilita interação, exigindo que cada participante se torne ativo dentro de um processo de visualização;	VI. Escalabilidade do mundo virtual, para que ele possa suportar grandes variações de usuários no metaverso sem problemas de conexão;
g) Encoraja a criatividade, catalisando a experimentação;	VII. Interoperabilidade, possibilitando a transição entre sessões virtuais sem interrupções.
h) Provê igual oportunidade de comunicação para estudantes de culturas diferentes, a partir de representações.	

Fonte: GUERRA, 2024.

Capítulo 5

Ameaças a validade

Ao discutir a validade da presente revisão sistemática de literatura, é necessário reconhecer algumas limitações metodológicas que podem ter influência sob os resultados obtidos neste estudo. Inicialmente, é possível citar o fato de a pesquisa ter sido conduzida utilizando exclusivamente as bases de dados *IEEE Xplore* e *Google Scholar*, o que, apesar de sua notável relevância, pode resultar na exclusão de estudos significativos presentes em outras plataformas especializadas. Não obstante, embora as bases de dados selecionadas ofereçam uma ampla gama de artigos tanto pagos quanto gratuitos, é necessário reconhecer que o acesso restrito pode ser um impedimento para uma parcela do público interessado no assunto. Adicionalmente, em razão da restrição linguística, há uma limitação na diversidade de perspectivas, especialmente no que diz respeito aos diferentes contextos educacionais.

Outra limitação faz referência à restrição temporal dos estudos, que embora assegure a contemporaneidade das informações, pode gerar a omissão de um contexto histórico mais amplo e desenvolvimentos anteriores fundamentais para uma compreensão completa do tema. Por fim, a string de busca adotada, apesar de ser cuidadosamente elaborada para capturar a essência do tema, pode introduzir viés na seleção dos artigos, uma vez que, termos e combinações alternativos podem expandir ou diminuir o escopo dos resultados obtidos. Estas limitações e vieses devem ser considerados ao se interpretar as conclusões desta pesquisa e indicam possíveis direções para futuras investigações.

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Considerações finais

A presente revisão sistemática de literatura teve como objetivo realizar uma análise ampliada sobre a aplicação dos gêmeos digitais no contexto educacional, elucidando seus os conceitos fundamentais, as suas aplicações práticas, as ferramentas associadas ao seu uso, os impactos pedagógicos e desafios inerentes à sua implementação. Através do desenvolvimento da pesquisa, foi possível verificar o potencial que os gêmeos digitais representam, não apenas enquanto avanço tecnológico, mas também como uma ruptura paradigmática nas formas tradicionais de ensinar e aprender.

O seu uso abrangente e multifacetado representa um grande potencial para enriquecer os processos de aprendizagem ao possibilitarem experiências sensoriais, interativas e personalizadas. A sua utilização atua ainda como facilitador para a construção ativa do conhecimento, a interdisciplinaridade e o desenvolvimento de competências essenciais aos estudantes, independente do seu nível escolar, como pensamento crítico, autonomia, criatividade e colaboração. Contudo, os benefícios educacionais disponibilizados não são homogêneos nem assegurados de forma automática, pois a eficácia dessas tecnologias depende diretamente da qualidade de sua integração no ensino, da formação dos professores e da existência de uma infraestrutura apropriada para a sua aplicação.

A pesquisa também revelou limitações que desafiam a implementação integral dessa tecnologia no contexto educacional. Questões como a disparidade no acesso à infraestrutura tecnológica, a falta de regulamentações específicas, os riscos éticos relacionados à coleta de dados sensíveis e a fragilidade das instituições para efetuar mudanças curriculares e formativas emergem como barreiras consideráveis.

Diante desse cenário, os gêmeos digitais se configuram como uma fronteira emergente na educação digital, demandando abordagens que sejam interdisciplinares, uma perspectiva ética aprimorada e um comprometimento institucional para que seus potenciais sejam

maximizados em prol da aprendizagem e para assegurar que a integração dos gêmeos digitais no ensino aconteça de maneira equitativa e benéfica para todos os envolvidos no processo educacional, sejam eles alunos, professores, gestores ou outros colaboradores.

Diante dos dados apresentados, ainda é possível afirmar que a presente pesquisa respondeu de forma satisfatória ao problema de pesquisa proposto, bem como atingiu os objetivos delineados inicialmente. Isso porque, a análise dos 21 artigos selecionados permitiu compreender de que maneira a literatura científica mais atual tem abordado os gêmeos digitais no contexto educacional, identificando suas definições, aplicações práticas, benefícios e desafios.

Por fim, é importante ressaltar que a realização desta pesquisa demonstrou a relevância da Revisão Sistemática da Literatura como uma abordagem eficiente para o mapeamento do conhecimento disponível, identificar lacunas e proporcionar fundamentos robustos para uma análise crítica acerca não apenas da temática abordada nesta pesquisa, mas também em diversas outras e de variadas áreas do conhecimento. Ao ser utilizada em conjunto ao protocolo PRISMA, mostrou-se eficaz como abordagem metodológica, garantindo rigor, objetividade e transparência na coleta e análise dos dados, fortalecendo assim a construção de um panorama confiável e atualizado sobre a temática.

6.2 Oportunidade para trabalhos futuros

Dada a natureza ainda incipiente da adoção dos gêmeos digitais no campo educacional, diversas frentes de pesquisa permanecem em aberto e devem ser exploradas em estudos futuros. Inicialmente é possível apontar como possibilidade a expansão do conjunto de dados analisados, incorporando uma maior diversidade de fontes literárias. Na presente pesquisa, a análise foi limitada a artigos os quais não possuíam restrições de acesso, o que inevitavelmente restringiu a amplitude e profundidade das conclusões. A eliminação das barreiras de acesso permitiria o contato com um número maior de documentos, o que por sua vez poderia proporcionar uma visão mais holística e explorativa sobre a aplicação dos gêmeos digitais na educação.

Adicionalmente, a realização de estudos de caso práticos em instituições de ensino pode oferecer insights sobre a implementação e os desafios enfrentados na adoção de gêmeos digitais. Também seria pertinente aprofundar a análise sobre os efeitos cognitivos, sociais e emocionais da aprendizagem imersiva mediada por gêmeos digitais. Similarmente, é imperativo que futuras pesquisas se dediquem à análise crítica dos efeitos que as tecnologias de gêmeos digitais exercem sobre a prática pedagógica, a formação docente e as políticas públicas voltadas à educação digital.

Além disso, uma perspectiva promissora emerge na utilização de diferentes bases de dados acadêmicas, como é o caso da base da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), que tem o potencial de agregar de maneira significativa ao corpus de pesquisa, facilitando a descoberta de estudos pertinentes realizados no contexto nacional. Ademais, a partir da base teórica que se deu início com essa monografia, também é possível não só aprofundar as investigações no que tange à intensificação da imersão e à customização das experiências educacionais, mas também dar continuidade aos estudos desenvolvidos por nossa orientadora sobre a implementação de gêmeos digitais em ambientes de metaverso.

Finalmente, é importante ressaltar a importância de incorporar as contribuições de pesquisas, como o trabalho "Uma sociedade de companions inteligentes na metaversidade para incrementar a aprendizagem ao longo da vida" de Germana Nobrega, André Pains e Fernando Cruz de 2024, que poderá fornecer suporte teórico e metodológico valioso para aprofundar e enriquecer os debates apresentados nesta pesquisa.

Referências

- [1] Santana Costa, Sandra Regina, Barbara Cristina Duqueviz e Regina Lúcia Sucupira Pedroza: *Tecnologias digitais como instrumentos mediadores da aprendizagem dos nativos digitais*. Psicologia Escolar e Educacional, 19(3):603–610, 2015. 1
- [2] Almeida, Elaine Vieira de, Laiane Lima dos Santos Cantuária e Joana Corrêa Goulart: *Os avanços tecnológicos no século xxi: desafios para os professores na sala de aula*. REEDUC - Revista de Estudos em Educação, 7(2):296–322, 2021, ISSN 2675-4681. 1
- [3] Oliveira, Ana Beatriz: *Educação em tempos de pandemia: o uso da tecnologia como recurso educacional*. Revista Pedagogia em Ação, 13(1):279–287, 2020. <https://periodicos.pucminas.br/pedagogiacao/article/view/23770>. 1
- [4] Schmitt, Marcelo Augusto Rauh e Liane Margarida Rockenbach Tarouco: *Metaversos e laboratórios virtuais – possibilidades e dificuldades*. RENOTE, 6(2), dez. 2008. <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/14577>. 1
- [5] Marques, Andreza e Ricardo Juan José Oviedo Haito: *Perspectivas de utilização do metaverso na construção civil*. 2023. 1, 25, 27, 28, 29, 30, 32
- [6] Moreira, Ana Lucia Souza: *Metaverso e educação: Utilização das plataformas mozilla hubs e spatial*. Painel Metaverso, 1(1), 2022. 1
- [7] Lin, Hong, Shicheng Wan, Wensheng Gan, Jiahui Chen e Han Chieh Chao: *Metaverse in education: Vision, opportunities, and challenges*. Em *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, páginas 2857–2866, 2022. 2
- [8] Selva, Vinícius Oliveira: *Utilização dos gêmeos digitais no planejamento de processos*, 2021. Trabalho acadêmico não publicado. 2
- [9] Mashaly, Maggie: *Connecting the twins: A review on digital twin technology its networking requirements*. Procedia Computer Science, 184:299–305, 2021, ISSN 1877-0509. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921006694>, The 12th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT) / The 4th International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40) / Affiliated Workshops. 2
- [10] Peshkova, Maria, Valentina Yumasheva, Ekaterina Rudenko, Natalia Kretova, Peter Timashev e Tatiana Demura: *Digital twin concept: Healthcare, education, research*. Journal of Pathology Informatics, 14:100313, 2023, ISSN 2153-3539. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S215335392300127X>. 2

- [11] Bachmann, João Eduardo, Ismar Silveira e Valeria Martins: *Digital twins for education: A literature review*. Em *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 722–736, Porto Alegre, RS, Brasil, 2024. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31280>. 2
- [12] Autiosalo, Juuso, Joshua Siegel e Kari Tammi: *Twinbase: Open-source server software for the digital twin web*. IEEE Access, 9:140779–140798, 2021. 2
- [13] Galvão, Maria Cristiane Barbosa e Ivan Luiz Marques Ricarte: *Revisão sistemática da literatura: Conceituação, produção e publicação*. Logeion: Filosofia da Informação, 6(1):57–73, set. 2019. <https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>. 5
- [14] Ramos, Altina, Paulo M. Faria e Ádila Faria: *Revisão sistemática de literatura: contributo para a inovação na investigação em ciências da educação*. Revista Diálogo Educacional, 14(41):17–36, jul. 2014. <https://periodicos.pucpr.br/dialogoeducacional/article/view/2269>. 5, 6
- [15] Okoli, Chitu: *Guia para realizar uma revisão sistemática de literatura*. EaD em Foco, 9(1), abril 2019. <https://eademfoco.cecierj.edu.br/index.php/Revista/article/view/748>, Tradução por David Wesley Amado; Revisão técnica e introdução por João Mattar. 5, 6
- [16] BRIZOLA, Jairo e Nádia FANTIN: *Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura*. Revista de Educação do Vale do Arinos - RELVA, 3(2):23–39, jan. 2017. <https://periodicos.unemat.br/index.php/relva/article/view/1738>. 6
- [17] Galvão, Taís Freire e Gustavo Magno Baldin Tiguman: *A declaração prisma 2020 em português: recomendações atualizadas para o relato de revisões sistemáticas*. Epidemiologia e Serviços de Saúde, 31(2):e2022364, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12733/11172>, Acesso em: 22 maio 2025. 6
- [18] Page, Matthew J, Joanne E McKenzie, Patrick M Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C Hoffmann, Cynthia D Mulrow, Larissa Shamseer, Jennifer M Tetzlaff, Elie A Akl, Sue E Brennan, Roger Chou, Julie Glanville, Jeremy M Grimshaw, Asbjørn Hróbjartsson, Manoj M Lalu, Tianjing Li, Elizabeth W Loder, Evan Mayo-Wilson, Steve McDonald, Luke A McGuinness, Lesley A Stewart, James Thomas, Andrea C Tricco, Vivian A Welch, Penny Whiting e David Moher: *The prisma 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. BMJ, 372, 2021. <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. 6
- [19] Selçuk, Ayşe Adin: *A guide for systematic reviews: Prisma*. Turkish Archives of Otorhinolaryngology, 57(1):57, March 2019. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6461330/>. 6
- [20] Galvão, Taís, Thais Andrade Pansani e David Harrad: *Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: A recomendação prisma*. Epidemiol Serv Saude, 24:335–342, junho 2015. 6

- [21] Vrabel, Mark: *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses*. Oncology Nursing Forum, 42(5):552–554, 2015. <https://onf.ons.org/publications-research/onf/42/5/preferred-reporting-items-systematic-reviews-and-meta-analyses>. 7
- [22] BRASIL. Ministério da Educação: *Base nacional comum curricular*. <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>, 2018. Acesso em: 13 maio 2025. 8
- [23] BLIKSTEIN, P.: *Digital fabrication and ‘making’ in education: The democratization of invention*. Em WALTER-HERRMANN, J. e C. BUCHING (editores): *FabLabs: Of machines, makers and inventors*, páginas 1–22. Transcript, Bielefeld, 2013. 8
- [24] Albuquerque, Cassiano e Patrícia Cavalcante: *Ensino e aprendizagem através de makerspaces: uma revisão sistemática da literatura*. Em *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 311–322, Porto Alegre, RS, Brasil, 2023. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/26672>. 8, 9
- [25] Paula, Bruna Braga de, Tiago de Oliveira e Camila Bertini Martins: *Análise do uso da cultura maker em contextos educacionais: Revisão sistemática da literatura*. RENOTE, 17(3):447–457, dez. 2019. <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/99528>. 9
- [26] Almeida, Alexandre, Amós Silva, Camila Santos e Edmar Souza: *Espaço maker nos anos finais do ensino fundamental: Possibilidades e desafios vivenciados por estudantes de graduação do curso de engenharia*. Em *Anais do XXIV Workshop de Informática na Escola*, páginas 305–314, Porto Alegre, RS, Brasil, 2018. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/14342>. 9
- [27] Rio Grande do Sul (Estado). Secretaria da Educação: *Referencial curricular gaúcho: educação infantil e ensino fundamental*. <https://seduc.rs.gov.br/>, 2018. Acesso em: 13 maio 2025. 9
- [28] Tibúrcio, Flávia, Welliton Moreira, Ricardo Schmitt, Erivelto Souza e Cristiano Silva: *O futuro do digital está na conexão com o real: Metaverso e suas implicações sociais e tecnológicas*. Em *Anais do III Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade*, páginas 76–84, Porto Alegre, RS, Brasil, 2022. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/wics/article/view/20733>. 10, 13
- [29] Diogo, Carla, Cássia Diogo e Viviane Santos: *Potencialidades do uso de metodologias ativas em disciplinas de computação: Uma revisão sistemática de literatura*. Em *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 175–186, Porto Alegre, RS, Brasil, 2023. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/26660>. 10
- [30] Nascimento, Edilaine e Miguel Castro: *Estratégias de aprendizagem colaborativa aplicadas no ensino e avaliação do pensamento computacional: uma revisão sistemática*. Em *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 1591–1604, Porto Alegre, RS, Brasil, 2023. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/26781>. 11, 12

- [31] Silva, Cláudia, Treice Moreira, Isabel Fernandes, Cláudio Passos, Julio Duarte e Ronaldo Goldschmidt: *Sistemas tutores inteligentes na aprendizagem por competências: Uma revisão sistemática da literatura*. Em *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 1120–1132, Porto Alegre, RS, Brasil, 2023. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/26740>. 11
- [32] Attaran, Mohsen e Bilge Gokhan Celik: *Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities*. *Decision Analytics Journal*, 6:100165, 2023, ISSN 2772-6622. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277266222300005X>. 12
- [33] Hassija, Vikas, Vinay Chamola, Rajdipta De, Soham Das, Arjab Chakrabarti, Kuldip Singh Sangwan e Amit Pandey: *A survey on digital twins: Enabling technologies, use cases, application, open issues, and more*. *IEEE Journal of Selected Areas in Sensors*, 2:84–107, 2025. 12, 13
- [34] OLIVEIRA, Lucas B., Fernando N. N. FARIAS, Marcos F. SCHWARZ, Jose F. REZENDE e Antonio J. G. ABELÉM: *Proposta de planejamento, gerência e otimização de recursos de redes em tempo de execução utilizando gêmeo digital*. Em *Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro (WPEIF)*, páginas 37–42. SBC, 2021. 13
- [35] Oliveira, Daniel de e Rummenigge Dantas: *Desenvolvendo uma plataforma com gêmeo digital baseada na web para análise de braço robótico*. Em *Anais da XI Escola Potiguar de Computação e suas Aplicações*, páginas 64–73, Porto Alegre, RS, Brasil, 2018. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/epoca/article/view/13450>. 13
- [36] Kangisser, Steven, Javier Irizarry, Kelly Watt, Richard Borger e Amadeus Burger: *Integrating digital twins in construction education through hands-on experiential learning*. Em Linner, Thomas, Borja García de Soto, Rongbo Hu, Ioannis Brilakis, Thomas Bock, Wen Pan, Alessandro Carbonari, Daniel Castro, Harrison Mesa, Chen Feng, Martin Fischer, Cynthia Brosque, Vicente Gonzalez, Daniel Hall, Ming Shan Ng, Vineet Kamat, Ci Jyun Liang, Zoubeir Lafhaj, Wei Pan, Mi Pan e Zhenhua Zhu (editores): *Proceedings of the 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, páginas 246–252, Bogotá, Colombia, July 2022. International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC), ISBN 978-952-69524-2-0. 13
- [37] IEEE Xplore: *Overview of ieee xplore: About ieee xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/Xplorehelp/overview-of-ieee-xplore/about-ieee-xplore>, 2025. Acesso em: 23 jun. 2025. 15
- [38] GOOGLE: *Sobre o google scholar*. <https://scholar.google.com/intl/en/scholar/about.html>. Acesso em: 23 jun. 2025. 16
- [39] BEZERRA JR, A. G., F. A. D. OLIVEIRA e S. A. H. CONCEIÇÃO: *O fenômeno “metaverso” e suas implicações sobre a educação: Uma revisão sistemática da literatura e análise documental*. *SciELO Preprints*, 2023. 25, 27, 30, 31, 32

- [40] JIM, Jamin Rahman *et al.*: *Toward trustworthy metaverse: Advancements and challenges*. IEEE access, 11:118318–118347, 2023. 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
- [41] GRAMINHO, Vivian Maria Caxambu: *Metaverso e o novo ambiente de trabalho: revolução digital e os impactos jurídicos nas relações laborais*, 2024. 25, 29, 31
- [42] JOSHI, Kapil *et al.*: *Exploring the connectivity between education 4.0 and classroom 4.0: Technologies, student perspectives, and engagement in the digital era*. IEEE Access, 12:24179–24204, 2024. 25, 27, 28, 30, 32
- [43] YANG, Qinglin *et al.*: *Fusing blockchain and ai with metaverse: A survey*. IEEE Open Journal of the Computer Society, 3:122–136, 2022. 25, 26, 27, 28
- [44] Fernandes, Lídia Maria de Almeida Tavares *et al.*: *Transição digital nos museus*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2024. 25, 26, 27, 28, 30, 31
- [45] ROSSI FILHO, Tito Armando: *Um método para o desenvolvimento de competências para a indústria 4.0 através de tecnologias de realidade virtual*, 2021. 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32
- [46] FERREIRA, Renan Soares: *Desenvolvimento de um protótipo de aplicação web com enfoque em experiência no metaverso*, 2022. 25, 26, 27, 28, 30, 31
- [47] MARQUES, Andreza e Ricardo Juan José Oviedo HAITO: *Aplicações do metaverso na construção civil*. Em *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, volume 20, páginas 1–15, 2024. 25, 26, 28, 29
- [48] SANTOS, Fabio Luiz Benincasa Corrêa dos: *Como o desenvolvimento do metaverso pode impactar a defesa nacional?*, 2023. 26, 28, 29, 31, 32
- [49] FERNANDES, Pedro Henrique Ribeiro: *Ajmetaverso: meios digitais no ensino de história*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em História) – Universidade Federal de Sergipe, 2022. Departamento de História, Centro de Educação e Ciências Humanas. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/XXXXXX>. Acesso em: 28 jul. 2025. 26, 27, 29, 30, 31
- [50] FERRAZ, Luana Kayane Silva *et al.*: *Metaverso como ferramenta de auxílio às empresas de arquitetura*, 2023. 26, 27, 28, 30, 31
- [51] JAGATHEESAPERUMAL, Senthil Kumar *et al.*: *Advancing education through extended reality and internet of everything enabled metaverses: applications, challenges, and open issues*. IEEE Transactions on Learning Technologies, 17:1120–1139, 2024. 26, 27, 28, 29, 30, 31
- [52] DORNELLES, Yago Quadri: *Meta c8: uma experiência em realidade virtual para divulgar o campus 8 da universidade de caxias do sul*, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Exatas e Engenharias). 26, 27, 28, 30, 31, 32
- [53] GUERRA, André Roberto: *A influência da realidade estendida imersiva no ensino e aprendizagem de disciplinas stem para a ciência da computação na modalidade ead: proposta de um framework para criação de cenários imersivos*, 2024. 27, 30, 31, 32

- [54] KRUACHOTTIKU, P. *et al.*: *Chulaverse: University metaverse service application using open innovation with industry partners*. Em *2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, páginas 0294–0299. IEEE, 2023. 27, 28, 29, 30, 31
- [55] MARQUES, Maria João: *Projectar para o mundo virtual: Uma experiência no metaverso*, 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal). 27, 28, 30, 32
- [56] Erbs, Vicente Knih: *Integração do metaverso no processo de desenvolvimento de produtos*, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) — Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Joinville. 28, 29, 31
- [57] Ferreira Filho, Henrique Nelson e Henrique Nelson Ferreira: *Estabelecimento empresarial no metaverso: Possui amparo legal?* Repositório dos Trabalhos de Curso da Faculdade de Direito de Cachoeiro de Itapemirim (FDCI), 1(1), 2022. 28, 29
- [58] Nogueira, Fabiano Mikalauskas de Souza: *Reconstrução digital: narrativas virtuais e um novo lugar para a memória*, 2023. 29, 31