

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO ENGENHARIA CIVIL

Andreza Marques

Perspectivas de utilização do Metaverso na Construção Civil

Florianópolis

2023

Andreza Marques

Perspectivas de utilização do Metaverso na Construção Civil

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação
submetido à Disciplina de TCC II do curso
superior de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Juan José Oviedo Haito

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de
Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Marques, Andreza
Perspectivas de utilização do Metaverso na construção civil /
Andreza Marques ; orientador, Ricardo Juan José Oviedo Haito,
2023.
74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em
Engenharia Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Metaverso. 3. Construção civil. 4.
Indústria 4.0. 5. Servitização. I. Haito, Ricardo Juan José
Oviedo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Andreza Marques

Perspectivas de utilização do Metaverso na Construção Civil

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 1 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Juan José Oviedo Haito, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Engenheiro Rafael Fernandes de Matos, Msc.

Avaliador

Verum Partners

Engenheiro Murilo Blanco Mello

Avaliador

KPTL

Dedico este trabalho aos meus pais, João e Aneliza, que me deram todo o suporte necessário para que eu pudesse chegar até aqui, e à memória de minha irmã, Josiane, minha maior saudade.

AGRADECIMENTOS

As seguintes palavras são uma forma de expressar minha gratidão às pessoas que me ajudaram ao longo de minha trajetória acadêmica.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, por fornecer um ensino superior gratuito e de qualidade e por todas as portas que me foram abertas nesse lugar.

Aos meus pais, João e Aneliza, por todo o amor, encorajamento e investimento que fizeram na minha educação durante toda minha vida. Ao meu irmão, Cleber, por ser meu melhor exemplo acadêmico, e por apoiar minhas escolhas que me trouxeram até aqui. À minha irmã, Josiane, que sempre cuidou de mim, e hoje guia meus passos de um lugar melhor. Ao meu noivo, Valquir, por acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava, e sempre me encorajar a buscar minha melhor versão. Aos meus sobrinhos, Luiza e Davi, por trazerem cor e alegria à nossa família. Vocês são minha maior inspiração e razão de eu buscar sempre o melhor de mim.

Aos amigos que fiz ao longo da graduação, Beatriz, Amanda, Miriam, Luiz Guilherme, Henrique e Kauê. Em especial à Eduarda, minha dupla de todas as disciplinas, companheira de intercâmbio e quem esteve presente em todos os momentos. Às colegas grupo de pesquisa “Futuro na Construção”, pelas trocas de experiência e crescimento que tivemos juntos, em especial à Joana, minha primeira dupla na Iniciação Científica, pelos conselhos gráficos e disposição em me ajudar nessa reta final.

Aos professores Renan e Naloan, por acreditarem no meu potencial e terem sido fundamentais na realização dos meus objetivos.

Finalmente, agradeço ao meu professor orientador, Ricardo, por aceitar me orientar estando a um oceano de distância, com paciência e dedicação, fazendo reuniões mesmo em finais de semana e claro, pelos conselhos profissionais e culinários.

Sou grata aos professores que passaram pela minha trajetória acadêmica, e todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram no meu crescimento profissional e pessoal.

“La vie n’est facile pour aucun de nous. Mais quoi, il faut avoir de la persévérance, et surtout de la confiance en soi. Il faut croire que l’on est doué pour quelque chose, et que, cette chose, il faut l’atteindre coûte que coûte. ”

“A vida não é fácil para nenhum de nós. Mas é preciso ter perseverança e, acima de tudo, autoconfiança. Você tem que acreditar que tem talento para alguma coisa e que precisa conseguir isso a todo custo.”

Marie Curie

RESUMO

A necessidade por melhores resultados está promovendo a transformação digital da construção. Uma das tendências, recentemente impulsionadas, associadas a tal transformação, encontra-se no Metaverso. Este conceito é um neologismo, que surge da união das palavras universo e do prefixo grego “meta”, que pode ser entendido como “além de”. Desta forma, pode ser entendido como uma abstração do universo físico, algo que está para além dele, caracterizando-o ou complementando-o. Apesar do crescente desenvolvimento do Metaverso em setores como jogos, entretenimento, medicina, educação, turismo e indústria, há uma lacuna significativa na literatura quando se trata de sua aplicação na construção civil. O objetivo deste trabalho consiste em identificar potenciais aplicações do metaverso na construção civil. Para tanto, foi elaborada uma revisão sistemática da literatura em torno de 65 artigos científicos vinculados ao Metaverso, bem como outras publicações complementares, da literatura e do mercado. Os resultados incluem: 1) Identificação das propriedades preponderantes do Metaverso de acordo com sua finalidade; 2) Identificação das tecnologias componentes do Metaverso; 3) Identificação do ciclo de criação de valor do Metaverso; e 4) Identificação de oportunidades de aplicação do Metaverso, mediante as suas tecnologias, na construção civil. Apesar da limitação dada pela revisão de literatura sistemática, esse trabalho contribui com identificar oportunidades para implementação do Metaverso na construção civil.

Palavras-chave: Metaverso; Construção 4.0; Serviço; *Backstage*; *Frontstage*

ABSTRACT

The necessity for better results is driving the digital transformation of construction. One of the recent trends associated with this transformation is the Metaverse. This concept is a neologism, which arises from the union of the words universe and the Greek prefix "meta", which can be understood as "beyond". In this way, it can be understood as an abstraction of the physical universe, something that is beyond it, characterizing or complementing it. Despite the growing development of the Metaverse in sectors such as gaming, entertainment, medicine, education, tourism, and industry, there is a significant gap in the literature when it comes to its application in construction. This work aims to identify potential applications of Metaverse in construction. To this intent, a systematic literature review was carried out on 65 scientific articles related to Metaverse, as well as other complementary literature and market publications. The results include: 1) Identification of the predominant properties of Metaverse according to its purpose; 2) Identification of Metaverse's component technologies; 3) Identification of Metaverse's value creation cycle; and 4) Identification of opportunities for applying Metaverse, through its technologies, in the construction industry. Despite the limitations given by the systematic literature review, this work contributes to identifying opportunities for implementing Metaverse in the construction industry.

Keywords: Metaverse; Construction 4.0; Service; Backstage, Frontstage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da metodologia.....	21
Figura 2 - Resultado da primeira <i>string</i> de busca geral inicial no <i>software VOSViewer</i>	25
Figura 3 - Critérios de seleção dos artigos	27
Figura 4 - Importância das propriedades do Metaverso por segmento	31
Figura 5 - Óculos Lenovo ThinkReality A3, de realidade aumentada	41
Figura 6 - Capacete de MR HoloLens 2, da Microsoft	42
Figura 7 - Capacete Meta Quest 2	42
Figura 8 - Grau de imersão das tecnologias de RA, RV e RM	44
Figura 9 – Ciclo de criação de valor no Metaverso.....	47
Figura 10 - Exemplo de <i>frontstage</i> e <i>backstage</i>	49
Figura 11 - Esquema de tecnologias vinculadas ao Metaverso.....	49
Figura 12 - Ciclo de criação de valor na hotelaria	51
Figura 13 - Ciclo de criação de valor no Metaverso, no contexto de viagens e hotelaria	53
Figura 14 - Ciclo de criação de valor na indústria	55
Figura 15 - Ciclo de criação de valor na indústria, utilizando o Metaverso.....	56
Figura 16 - Ciclo de criação de valor na construção civil	57
Figura 17 - Ciclo de criação de valor na construção civil, utilizando o Metaverso	59
Figura 18 - Exemplo de aplicativo de RA utilizado pela empresa Colas.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Passos revisão sistemática x autores	19
Quadro 2 - Matriz Tecnologia x Autor.....	32
Quadro 3 - Aplicações de tecnologias do Metaverso em diferentes etapas do ciclo de uma construção	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 Estrutura do trabalho.....	17
2. METODOLOGIA.....	19
2.1 Definição da pergunta de pesquisa	22
2.2 Escolha das fontes de informação	22
2.3 Definição da primeira e segunda string de busca	23
2.4 Resultados da busca utilizando a string final	25
2.5 Triagem de dados.....	26
2.6 Registros selecionados e analisados.....	26
2.7 Coleta de dados que respondem à pergunta inicial	27
2.8 Buscas complementares.....	27
2.9 Criação de quadros e esquemas que caracterizam o resultado.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
3.1 Definição E propriedades do metaverso.....	29
3.2 Tecnologias vinculadas ao metaverso	32
3.2.1 Tecnologias de coleta de dados.....	32
3.2.2 Tecnologias de cibersegurança.....	34
3.2.3 Tecnologias de criação e modelagem.....	35
3.2.4 Tecnologias de processamento e conectividade	38
3.2.5 Tecnologias de imersão e interação	40
3.3 Síntese das tecnologias associadas ao Metaverso e discussão	45
3.4 Relação entre o metaverso e a prestação de serviços backstage e frontstage.....	48
3.4.1 Consumer Metaverse	50
3.4.2 Industrial Metaverse	53

3.5	<i>Prestação de serviços frontstage associados ao Metaverso na construção civil ...</i>	57
3.5.1	Síntese sobre a criação de valor do Metaverso na construção civil e discussão	61
3.5.	<i>Proposta de nova definição do metaverso</i>	64
4.	CONCLUSÃO	65
5.	REFERÊNCIAS	67
6.	APÊNDICES	74
6.1	<i>Extrato de Planilha de triagem de dados da revisão sistemática</i>	74

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil desempenha um papel fundamental na economia global, representando cerca de 13% do PIB (aprox. US \$ 10 trilhões) gastos anualmente em bens e serviços relacionados à construção (Barbosa *et al.*, 2017). Dados do IBGE demonstram que o setor cresceu 10% em 2021 e 6,9% em 2022 (IBGE, 2023). Entretanto, a expectativa de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) da construção para o ano de 2023 é de apenas 1,5% (CBIC, 2023), estando atrás de outros setores e enfrentando desafios em sua busca por maior produtividade e qualidade dos serviços prestados (Armstrong; Gilge, 2017). Esses obstáculos estão intrinsecamente ligados ao fato de que as operações da maioria das empresas ainda se baseia em métodos tradicionais, operando com processos manuais (Buehler; Kosta, 2017). Em contrapartida, o avanço tecnológico da Indústria 4.0 impulsiona mudanças significativas e criação de valor em diversos setores da economia (Frank *et al.*, 2019; Muñoz-La Rivera *et al.*, 2021).

A Indústria 4.0 refere-se à quarta revolução industrial, termo apresentado pelo governo federal da Alemanha em 2011 (Zabidin; Belayutham; Ibrahim, 2020). Antes desta, a primeira revolução industrial, no século XVIII, foi caracterizada pela mecanização possibilitada pela invenção da máquina a vapor e pelas instalações fabris; a segunda revolução industrial, no século XIX, relaciona-se com o início da produção em massa, através da eletricidade e linhas de montagem; a terceira revolução industrial, na década de 1970, caracteriza-se pela automação e robotização das operações, fazendo uso da tecnologia da informação; finalmente, a quarta revolução industrial caracteriza-se pela integração dos meios físico e digital, através do uso de sistemas ciber-físicos (Nowotarski; Paslawski, 2017; Oviedo-Haito; Moratti; Cardoso, 2019; Sawhney; Riley; Irizarry, 2020).

Assim, a Indústria 4.0 pode ser definida como uma nova forma de organização e gestão da cadeia de valor mediante a integração de equipamentos vinculados por software para melhor gerenciar os resultados da produção ao longo do ciclo de vida (Nowotarski; Paslawski, 2017). Neste cenário industrial emergente, facilita-se e acelera-se a coleta de dados e a convergência de informações através de tecnologias, como a realidade virtual, resultando em sistemas inteligentes capazes de criar valor para as atividades industriais (Frank *et al.*, 2019).

Dessa forma, a Indústria 4.0 vincula-se com o uso de tecnologias, como a *internet of things*, para criar valor nas atividades industriais fazendo uso de sistemas inteligentes (Betiatto, 2021). Essas tecnologias buscam unir o meio físico com o digital, e vice-versa, tendo como objetivo otimizar tempo, custos, controle de qualidade e segurança dos trabalhadores (Muñoz-La Rivera *et al.*, 2021), permitindo a integração de objetos inteligentes de forma automática (Sawhney; Riley; Irizarry, 2020). Essa integração acontece através de dois elementos: a digitalização e a servitização (Oviedo-Haito; Moratti; Cardoso, 2019).

A digitalização refere-se ao uso de tecnologias digitais para automatizar tarefas dentro das empresas e facilitar o processo de troca de informações (Betiatto, 2021). Ela configura-se como uma via para atingir a servitização, como destacado por Lenka; Parida; Wincent, (2017). Vendrell-Herrero *et al.*, (2017) definem a servitização como o processo no qual as empresas geram valor por meio do incremento nos serviços oferecidos.

Teboul (2008), caracteriza serviço pela conversão de um bem em valor acrescido para o cliente, podendo essa transformação se manifestar de maneira tangível, como na transformação de um material em um produto, ou de forma intangível, quando proporciona uma experiência ao cliente. Assim, entende-se por serviço, uma atividade, processo ou conjunto de etapas, que envolve o tratamento de um cliente (ou usuário) ou algo pertencente a ele, onde o cliente também está envolvido, e desempenha algum papel (co-produção), no processo de serviço (Johnston *et al.*, 2020).

Adicionalmente, segundo Teboul (2008), um serviço divide-se em *frontstage* e *backstage*. O *frontstage* corresponde à experimentação do serviço pelo cliente; ou seja, àquelas atividades nas quais o cliente diretamente participa. Já o *backstage* corresponde às operações de transformação, necessárias para a execução do serviço, porém que não estão diretamente em contato com o cliente. Assim, o *frontstage* depende da presença do *backstage*.

Consequentemente, os serviços podem ser entendidos segundo seus componentes, ou etapas, e interpretado segundo o seu Ciclo da Criação de Valor (Teboul, 2008). Assim, dado um serviço, este pode ser desmembrado em etapas que a empresa oferece do início até a prestação final ao cliente (Brito; Cardoso; Oviedo-Haito, 2021). Ou seja, um serviço é constituído de etapas, que podem ter diferentes clientes-alvo, com necessidades de agregação de valor diferentes, que devem ser atendidas (Teboul, 2008).

No contexto da Indústria 4.0, os conceitos de digitalização e servitização se misturam, criando a noção de Servitização digital. Esta pode ser definida como: “o desenvolvimento de novos ou a melhoria de serviços existentes através de tecnologias digitais que permitem novos modelos de negócios e a mudança de foco em empresas desde seus produtos para seus serviços” (Paschou *et al.*, 2018). Também pode ser definida como a transição para produtos, *software* ou serviços inteligentes que permitam, de forma conjunta e conectada -como ecossistemas-, a criação e captura de valor mediante o monitoramento, comando, otimização e funcionamento autônomo (Kohtamäki *et al.*, 2019).

Quando a Indústria 4.0 é aplicada na construção civil, esta chama-se Construção 4.0. Para Zimmermann; Oviedo-Haito, (2022), esta combina as características da Indústria 4.0 ao uso intensivo de práticas e produtos próprios da construção industrializada, servitizando-os e digitalizando-os (Oviedo-Haito; Moratti; Cardoso, 2019). Nela, os serviços vinculam-se às operações durante o ciclo de vida de uma edificação, envolvendo as etapas de formulação do negócio, planejamento e projeto, execução, manutenção e desconstrução (Liu; Oviedo Haito; Cardoso, 2013).

Assim, a transição da construção tradicional para a Construção 4.0 não é apenas uma evolução tecnológica, mas também, uma evolução na forma como serviços são oferecidos; provocando mudanças na maneira em que as empresas transacionam e se relacionam entre si, e entre seus clientes (Oviedo-Haito; Moratti e Cardoso, 2019).

Neste contexto, o conceito de Metaverso emergiu como uma possibilidade de transformação digital na indústria, melhorando a colaboração entre as partes interessadas, otimizando processos e reduzindo custos (Wang; Medvegy, 2022).

O termo Metaverso cresceu em popularidade a partir de 2021, após a mudança de nome do Facebook para Meta, e do discurso de seu CEO, Mark Zuckemberg (Bale *et al.*, 2022). No entanto, sua primeira aparição data de 1992, um ano após o surgimento da internet, no livro de ficção científica "*Snow Crash*", escrito por Neal Stephenson (Mystakidis, 2022).

Nesse livro, o Metaverso é representado como um universo de realidade virtual paralela, onde pessoas do mundo inteiro podem acessá-lo através de capacetes e óculos de realidade virtual. Os usuários se materializariam no Metaverso, representado por corpos virtuais modificáveis, chamados avatares (Stephenson; Fernandes, 2015).

O Metaverso combina interações sociais em um ambiente virtual compartilhado com tecnologias, como *digital twins*, realidade virtual, inteligência artificial etc. (Allam *et al.*, 2022). Apesar do crescente interesse no uso do Metaverso em setores como jogos (Wang *et al.*, 2023), entretenimento (Wang *et al.*, 2023), medicina (Fu *et al.*, 2023), educação (Abbate *et al.*, 2022), turismo (Bale *et al.*, 2022) e indústria (Cheng *et al.*, 2022), há uma lacuna significativa na literatura quando se trata de sua aplicação na construção civil. Ainda que existam estudos sobre o uso do Metaverso para *smart cities*, poucas pesquisas abordam outras aplicações ligadas a este setor.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo principal identificar o potencial de utilização do Metaverso na construção civil.

Para tanto, utiliza-se uma revisão sistemática da literatura, analisando o conceito de Metaverso, suas propriedades e utilizações em outros setores, de forma a elencar características e aplicações que podem ser transferidas ao setor da construção. Além disso, identificam-se as tecnologias componentes do metaverso, visto que, sua compreensão é fundamental para garantir tal transferência. A discussão sobre os desafios e barreiras presentes na implementação do Metaverso forma parte do escopo deste.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em identificar potenciais aplicações do metaverso na construção civil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar as definições e propriedades do Metaverso
- b) Identificar as tecnologias componentes do Metaverso
- c) Identificar o ciclo de criação de valor no Metaverso

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é constituído de 4 capítulos. O Capítulo 1 consiste na Introdução, na qual está presente a contextualização do setor da construção, contextualização dos termos serviço, servitização, motivação do estudo e contextualização sobre o Metaverso.

Também se apresentam os objetivos gerais e específicos do trabalho, bem como a descrição de sua estrutura. O Capítulo 2 compreende a Metodologia aplicada para atingir os objetivos propostos, especificamente, uma revisão sistemática de literatura. Dada a natureza deste método, a revisão bibliográfica é um resultado.

Portanto, encontra-se contida no Capítulo 3, que trata dos resultados da pesquisa. Nele apresentam-se as definições de Metaverso, suas tecnologias componentes, seu ciclo de criação de valor geral e exemplos práticos da incorporação do Metaverso em diferentes setores. Por fim, propõe-se um ciclo de incorporação do Metaverso na construção civil, baseando-se nos exemplos precedentes e encerram-se os resultados através de uma síntese dos benefícios encontrados na construção civil, vinculados com a incorporação das tecnologias do Metaverso em diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação. Finalmente, o Capítulo 4 apresenta as conclusões obtidas a partir das análises do capítulo anterior.

2. METODOLOGIA

A metodologia diz respeito das técnicas e métodos que permitirão o alcance dos objetivos deste trabalho. A metodologia escolhida para essa pesquisa trata-se de uma revisão sistemática da literatura. Este é um método de pesquisa que permite um exame da literatura baseado somente em dados relatados, minimizando qualquer potencial de viés do autor, em comparação com revisões de literatura convencionais (Vilutiene *et al.*, 2019).

Espera-se que as descobertas de estudos realizados a partir de uma revisão sistemática da literatura forneçam uma base sólida para o desenvolvimento de hipóteses baseadas nas tendências observadas na extração de dados publicados para validação em estudos futuros (Vilutiene *et al.*, 2019).

As etapas desta revisão foram definidas baseando-se nos passos descritos por Peters *et al.* (2015), Colquhoun *et al.* (2014), Bryman (2012), Okoli; Schabram (2010), Ayodele; Chang-Richards; González (2020), Lopes; Granja; Picchi (2020) e Vom Brocke *et al.* (2009). As contribuições destes autores para os passos da revisão bibliográfica empregada apresentam-se no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Passos revisão sistemática x autores

Autores	OKOLI; SHABRAM (2010)	AYODELE <i>et al.</i> (2020)	PETERS <i>et al.</i> (2015)	LOPES; GRANJA; PICCHI (2020)	VOM BROCKE <i>et al.</i> (2009)	COLQUHO UN <i>et al.</i> (2014)	BRYMAN (2012)
Passos							
Definir a pergunta de pesquisa	x	x	x	x	x	x	x
Ler livros ou artigos relacionados com a pergunta de pesquisa, conhecidos ou recomendados por alguém			x			x	x
Fazer anotações baseadas na leitura da literatura							x
Anotar as palavras chave usadas na literatura							x
Anotar outras literaturas mencionadas que possam ser relevantes para a pesquisa							x
Gerar palavras chave relevantes para a pergunta de pesquisa	x	x	x	x	x	x	x
Escolher uma base dados para a literatura relacionada com seu assunto	x	x	x	x	x	x	x
Definir a string de busca	x	x	x	x	x	x	x
Extrair os dados	x	x	x		x	x	
Examinar os títulos e resumos pela sua relevância	x	x	x	x	x	x	x
Definir critérios de triagem para a literatura encontrada	x	x	x	x	x	x	x
Checar regularmente se existem novas publicações							x

A matriz de passos x autores do Quadro 1 compõe-se de sete colunas, onde dispõem-se os autores analisados, e doze linhas, onde dispõem-se os passos levantados para uma revisão sistemática da literatura. Estes são:

- 1) Definir a pergunta de pesquisa;
- 2) Ler livros ou artigos relacionados com a pergunta de pesquisa, conhecidos ou recomendados por alguém;
- 3) Fazer anotações baseadas na leitura da literatura;
- 4) Anotar as palavras-chave usadas na literatura;
- 5) Anotar outras literaturas mencionadas que possam ser relevantes para a pesquisa;
- 6) Gerar palavras-chave relevantes para a pergunta de pesquisa;
- 7) Escolher uma base dados para a literatura relacionada com seu assunto;
- 8) Definir a *string* de busca;
- 9) Extrair os dados;
- 10) Examinar os títulos e resumos pela sua relevância;
- 11) Definir critérios de triagem para a literatura encontrada; e
- 12) Checar regularmente se existem novas publicações.

Para cada um dos passos listados, marcou-se um X na célula correspondente ao autor que o menciona. Observando-se a frequência de aparição dos passos 1, 6 -11 entre os autores, definiu-se a metodologia a ser seguida nesta pesquisa, apresentada na Figura 1.

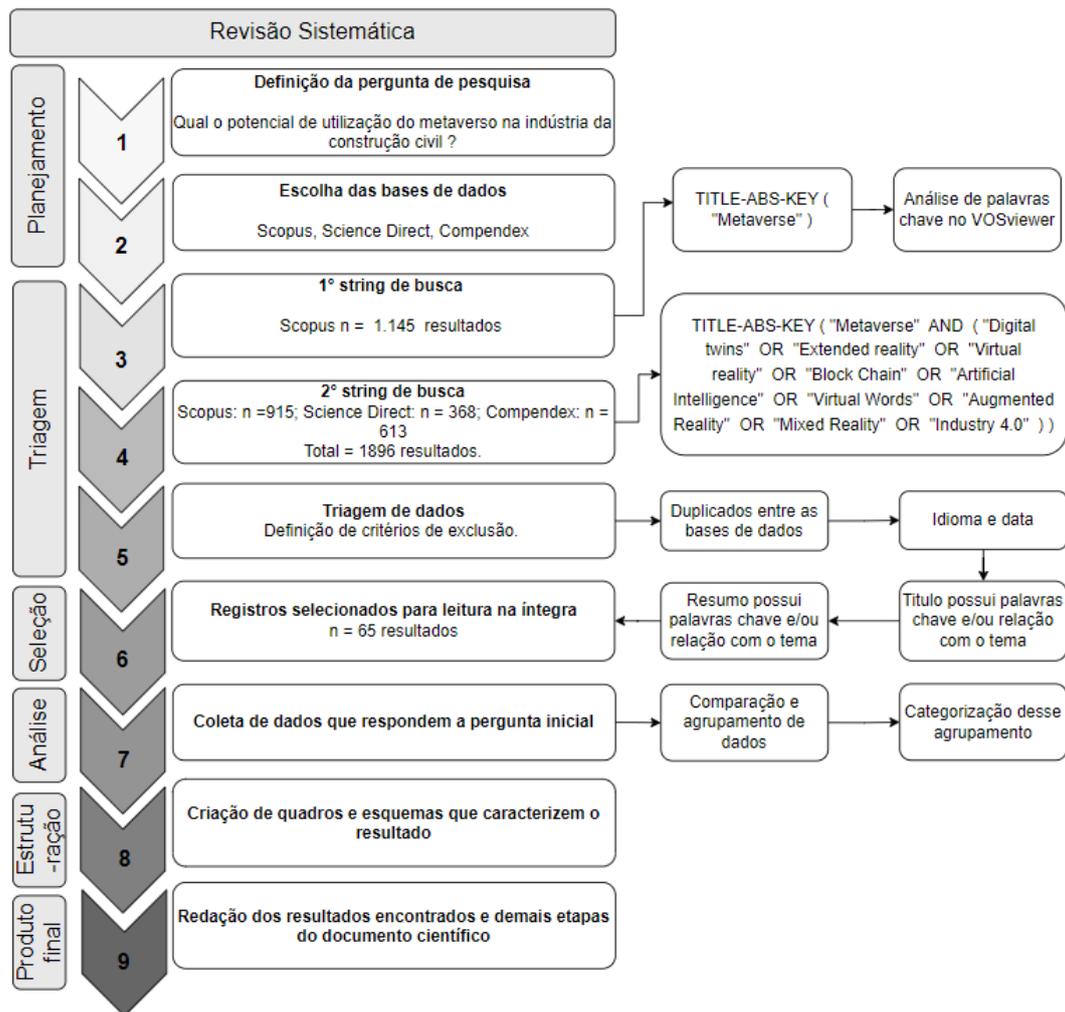


Figura 1 - Etapas da metodologia

Fonte: A autora

O esquema de metodologia, Figura 1, é composto por 6 fases, representadas na imagem por retângulos verticais à esquerda, são estas: Planejamento, triagem, seleção, análise, estruturação e produto final. Estas fases são, por sua vez, divididas em nove passos principais, mostrados através de retângulos sequenciais:

- **Etapa de planejamento:**
 - 1) Definição da pergunta de pesquisa
 - 2) Escolha das fontes de informação
- **Etapa de triagem:**
 - 3) Definição da 1º *string* de busca

4) Definição da 2^o *string* de busca

5) Triagem de dados

- **Etapa de seleção:**

6) Registros selecionados para leitura na íntegra

- **Etapa de análise:**

7) Coleta de dados que respondem à pergunta de pesquisa

- **Etapa de estruturação:**

8) Criação de quadros e esquemas que caracterizem os resultados

- **Etapa de produto final:**

9) Redação dos resultados encontrados e demais etapas do documento científico.

Os itens a seguir detalham tais passos:

2.1 DEFINIÇÃO DA PERGUNTA DE PESQUISA

Através de leituras prévias sobre o tema escolhido, Metaverso, identificou-se uma lacuna de conhecimento sobre a utilização dessa tecnologia na indústria da construção civil. Assim, este estudo busca examinar a utilização geral do metaverso e refletir em como transferir sua aplicabilidade para a engenharia civil. Para responder essa problemática, a pergunta de pesquisa formulada foi: “Qual o potencial de utilização do metaverso na indústria da construção civil?”.

Questões auxiliares foram igualmente refletidas, com o objetivo de ajudar a responder à pergunta de pesquisa. São elas: Quais os fatores necessários para que o metaverso funcione? Quais tecnologias uma empresa precisa dominar antes de implementar o metaverso?

2.2 ESCOLHA DAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Segundo Okoli; Schabram (2010), é importante uma revisão sistemática utilizar mais do que uma base de busca, para maior abrangência e confiabilidade dos resultados. Dessa forma, escolheram-se três bases de dados diferentes: *Scopus*, *Science Direct* e *Compendex*. Essas bases de dados foram escolhidas dentre as outras existentes por

apresentarem facilidade de exportação e tratamento dos dados, bem como a qualidade e quantidade dos artigos encontrados.

2.3 DEFINIÇÃO DA PRIMEIRA E SEGUNDA *STRING* DE BUSCA

Uma *string* de busca é uma sequência de termos ou palavras-chave que são utilizados para pesquisar informações em bases de dados, motores de busca na web ou outras fontes de informação. Essa sequência de termos é projetada para recuperar os resultados mais relevantes e precisos para uma determinada pergunta ou tópico de pesquisa.

Nesta pesquisa utilizaram-se, de forma iterativa, diversas *strings* de busca com a finalidade de aumentar precisão dos resultados, conforme descreve-se a seguir.

Para a definição da 1ª *string* de busca, utilizou-se apenas a plataforma Scopus, servindo unicamente para exportar os dados ao software *VOSviewer*¹, com o intuito de analisar as palavras-chave das publicações. As palavras mais frequentes entre os documentos listados como decorrência desta busca produziram resultados genéricos. Isto motivou a elaborar outras iterações para a *string* de busca, mais precisa, e que resulte em publicações com maior relevância para o tema.

Destarte, inicialmente decidiu-se utilizar três *strings* diferentes para a busca: uma geral, uma específica para a construção civil e uma específica para outras indústria, de modo a comparar as palavras-chave e definir qual a melhor abordagem a seguir.

A *string* de busca geral foi construída de forma a ser o mais genérica possível: *TITLE-ABS-KEY* ("Metaverse"), ou seja, ela resulta em todas as publicações que contenham a palavra "metaverse" em seu título, resumo ou palavras-chave. Essa busca teve como resultado 1145 artigos.

A segunda *string* testada continha palavras-chave ligadas à construção civil: *TITLE-ABS-KEY* ("Metaverse" AND ("Civil Engineering" OR ("Construction") OR ("Architecture") OR ("AEC") OR ("SMART CITIES"))), ou seja, os resultados dessa busca abrangiam todas as publicações que contém obrigatoriamente a palavra "metaverse" em seu título, resumo ou palavras-chave e ao mesmo tempo pelo menos um

¹ É um *software* para análise de dados catalográficos e resumos contidos em bases de dados acadêmicas, a partir das palavras neles contidas. Disponível em <https://www.vosviewer.com/>.

dos seguintes termos: *Civil engineering, construction, architecture, AEC* ou *smart cities*. Essa *string* resultou em 151 artigos.

A última *string* buscava resultados orientados a outros setores industriais: *TITLE-ABS-KEY ("Metaverse" AND ("Manufacturing" OR ("Aerospacial") OR ("Automotive") OR ("Industry")))*, ou seja, os resultados dessa busca abrangiam todas as publicações que contém obrigatoriamente a palavra “*metaverse*” em seu título, resumo ou palavras-chave e ao mesmo tempo pelo menos um dos seguintes termos: *Manufacturing, Aerospacial, Automotive* ou *Industry*. Essa *string* resultou em 158 artigos.

Exportaram-se esses três conjuntos de dados para o *software VOSViewer*, visando analisar as palavras-chave mais recorrentes de cada uma das buscas. O resultado da busca utilizando a *string* geral é mostrado na Figura 2, onde as palavras-chave são dispostas em círculos interligados, o tamanho do círculo depende da frequência de aparição da palavra nas publicações e as ligações e cores semelhantes ligam e agrupam palavras que aparecem ao mesmo tempo nos artigos.

Para a análise dos dados provenientes da *string* geral, com 1145 resultados, utilizou como critério de inclusão como palavra-chave um mínimo de 20 ocorrências. Isso resultou na aparição de 11 palavras-chave: *Metaverse, Digital Twins, Extended reality, Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, BlockChain, Aritificial Intelligence, Virtual Words, Avatar* e *Second Life*.

A análise dos dados provenientes das *strings* relacionadas à construção civil e outras indústrias, com, respectivamente, 151 e 158 resultados, utilizaram como critério de inclusão como palavra-chave no mínimo 5 ocorrências, devido ao baixo número de resultados. Essa configuração resultou em 10 palavras-chave: *Metaverse, Digital Twins, Extended reality, Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, BlockChain, Aritificial Intelligence, Virtual Words, e Industry 4.0*.

Ou seja, as duas buscas específicas para indústrias diferentes obtiveram os mesmos resultados, e poucas diferenças em comparação com a *string* geral, são estas: aparecimento da palavra *Industry 4.0* e exclusão das palavras-chave *Avatar* e *Second life*. Com isso, concluiu-se que a diferenciação entre indústrias não contribui realmente com resultados, visto que mesmo incluindo palavras específicas de cada indústria ainda obtivemos números parecidos de resultados e palavras-chave idênticas. Com relação á *string* geral, observa-se que apesar da maioria das palavras serem iguais, obtivemos uma orientação melhor com a inclusão de *Industry 4.0* e exclusão das palavras-chave *Avatar*

e *Second life*, que acabariam dirigindo a busca para publicações voltadas ao setor de jogos, não havendo ligação com os objetivos dessa pesquisa.

Dessa forma, optou-se por escolher uma única *string* de busca, unificando as *strings* realizadas para as indústrias.

Assim, a *string* final utilizada foi: *TITLE-ABS-KEY ("Metaverse" AND ("Digital twins" OR "Extended reality" OR "Virtual reality" OR "Block Chain" OR "Artificial Intelligence" OR "Virtual Worlds" OR "Augmented Reality" OR "Mixed Reality" OR "Industry 4.0"))*, resultando em 915 publicações na Plataforma de busca Scopus.

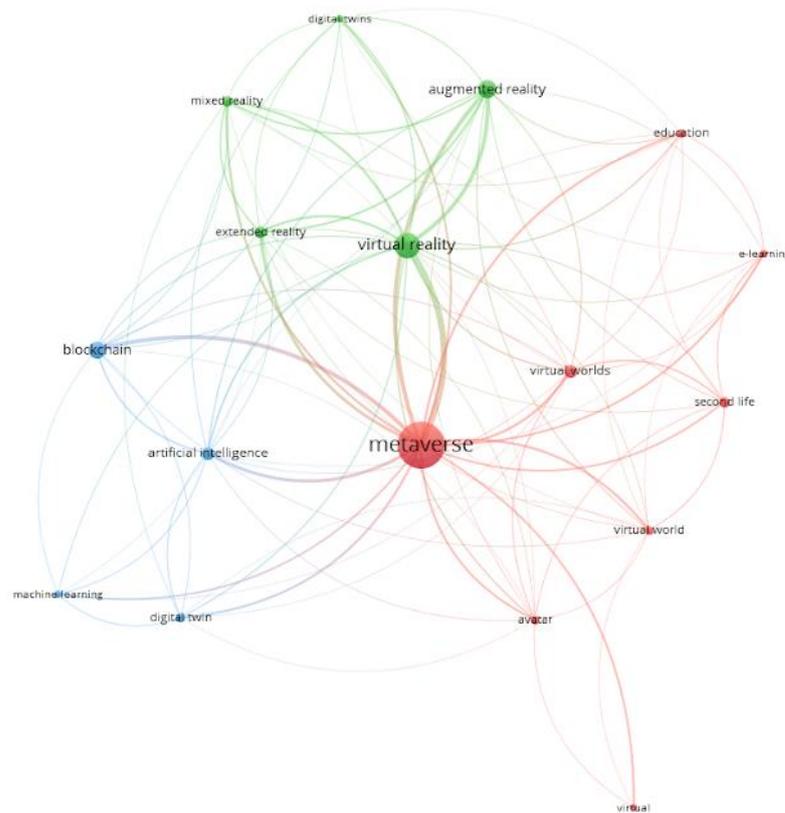


Figura 2 - Resultado da primeira *string* de busca geral inicial no *software* VOSViewer

2.4 RESULTADOS DA BUSCA UTILIZANDO A *STRING* FINAL

Após definida a *string* final a ser utilizada nesta pesquisa, realizou-se a busca nas três bases de dados definidas anteriormente: *Scopus*, *Science Direct* e *Compendex*. Essa busca teve como resultado: *Scopus*: 915 artigos, *Science Direct*: 368 artigos e *Compendex*: 613 artigos, totalizando 1896 publicações.

Esses dados foram analisados no *software EndNote* e, em seguida, exportados para o *software Excel*, onde iniciou-se a etapa de triagem.

2.5 TRIAGEM DE DADOS

A etapa de triagem de dados visou filtrar os resultados encontrados, de modo a selecionar os artigos relevantes à pesquisa e descartar os outros. Para isso foram definidos os seguintes critérios:

- 1) Artigos duplicados entre as bases de dados: Dentre os resultados havia 290 artigos repetidos, que foram eliminados, restando 1607 artigos a triar.
- 2) Ano de publicação: Foram eliminados todos os artigos anteriores à 2018, devido à atualização do assunto e o “boom” do metaverso em 2021, após o discurso de Mark Zuckerberg e mudança de nome do Facebook para Meta (Abbate et al., 2022). Nesse critério foram incluídos 1410 artigos.
- 3) Idioma de publicação: Apenas artigos escritos em inglês, português ou francês foram considerados, devido à familiaridade da autora com essas línguas. 1373 artigos respeitavam esse critério.
- 4) Análise do título: Analisou-se se o título da publicação continha termos relevantes à pesquisa. Essa etapa resultou em 297 artigos.
- 5) Análise do resumo: Analisou-se se o resumo da publicação continha termos relevantes e contribuía com os objetivos dessa pesquisa. 94 artigos apresentavam resumos pertinentes.
- 6) Análise do conteúdo: Mediante a leitura rápida dos artigos verificou-se se eles realmente contribuía para responder às questões de pesquisa. Nessa etapa 65 artigos foram selecionados para leitura completa.

O Apêndice 1 deste trabalho contém um extrato da planilha elaborada neste processo.

2.6 REGISTROS SELECIONADOS E ANALISADOS

A filtragem descrita no item 2.5 resultou na seleção de 65 artigos para leitura detalhada, e coleta de dados relevantes. A Figura 3 abaixo esquematiza os critérios de seleção dos artigos e a quantidade de publicações selecionadas a cada etapa.

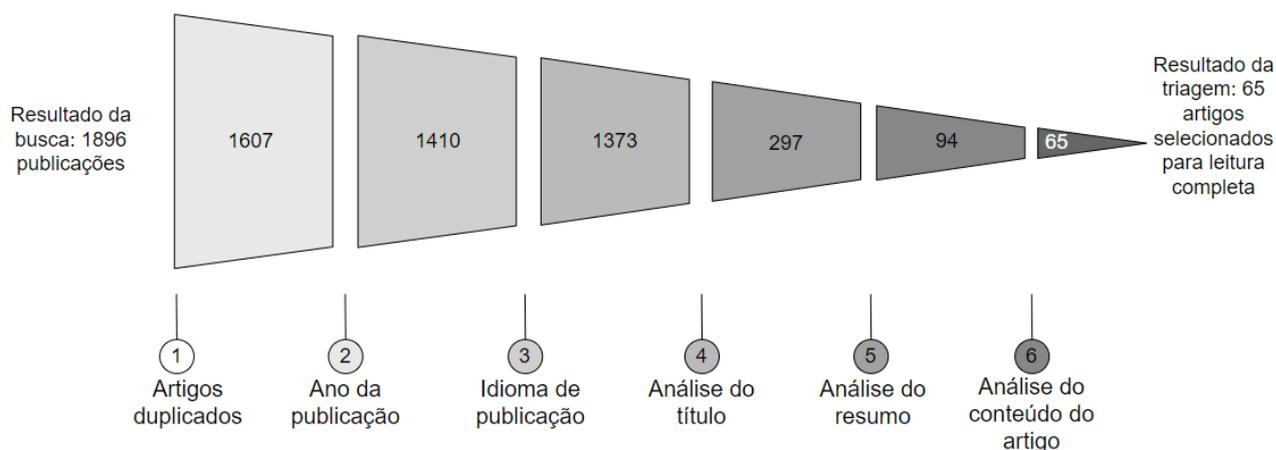


Figura 3 - Critérios de seleção dos artigos

Fonte: A autora

2.7 COLETA DE DADOS QUE RESPONDEM À PERGUNTA INICIAL

Esta etapa corresponde à coleta e armazenamento de dados que visam responder à pergunta de pesquisa. À medida que as leituras dos artigos selecionados foram realizadas, os dados relevantes eram destacados, selecionados e armazenados em uma planilha *Excel* para posterior tratamento. Estes dados são compostos por definições, tecnologias do metaverso, aplicações e componentes necessários.

Esta coleta de dados permite a identificação de padrões, em outras palavras, características repetidas em diferentes dados que permitem agrupá-los e classificá-los, de modo a contar uma “história” que responda à pergunta de pesquisa do trabalho.

2.8 BUSCAS COMPLEMENTARES

Foram realizadas buscas complementares, através do *Google* e do assistente de busca *Elicit*. As pesquisas no *Google*, visaram encontrar relatórios de mercado e cases de empresas que aplicam Metaverso em suas atividades. Nestas pesquisas, utilizou-se como *string* de busca o termo “*Industrial Metaverse*”, por exemplo.

O *Elicit* é um assistente de busca que utiliza inteligência artificial, auxiliando os usuários a encontrar artigos relevantes sem depender de correspondência exata de palavras-chave. Assim, ele foi utilizado nessa pesquisa para encontrar as definições das tecnologias componentes do Metaverso. Dessa forma, inseria-se no buscador perguntas

em inglês, como "*What is digital twins?*", e o Elicit encontrava artigos que respondiam essa pergunta, facilitando o processo de coleta de dados.

2.9 CRIAÇÃO DE QUADROS E ESQUEMAS QUE CARACTERIZAM O RESULTADO

Os dados coletados na etapa precedente organizaram-se em quadros e esquemas, formando os resultados desta pesquisa, que serão descritos em detalhe no item 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DO METAVERSO

Metaverso é um neologismo que surge da união das palavras universo e do prefixo grego “meta”, que pode ser entendido como “além de”. Desta forma, pode ser entendido como uma abstração do universo físico, algo que está para além dele, caracterizando-o ou complementando-o.

Especificamente, o Metaverso pode ser definido como a combinação dos mundos físico e digital para a criação de um espaço virtual autossustentável e compartilhado (Buhalis; Lin; Leung, 2023; Metaverse RoadMap, 2007; Wang *et al.*, 2022; Zainab *et al.*, 2022). Ele permite mudar a forma como os seres humanos vivem e a maneira como o espaço social se conecta ao espaço físico (Lv; Shang; Guizani, 2022).

Fu *et al.*, (2023) e Wang *et al.* (2022), caracterizam o Metaverso como uma nova geração da internet. Entretanto, para Pooyandeh; Han; Sohn (2022), o Metaverso se diferencia da internet, visto que, esta última conecta os usuários através de plataformas, sites ou jogos, enquanto o Metaverso faz do usuário o centro da ação.

O Metaverso baseia-se em diferentes tipos de tecnologias, por exemplo inteligência artificial, *blockchain*, *internet of things*, *cloud/edge computing* etc. (Ali *et al.*, 2023; Kang *et al.*, 2023; Zainab *et al.*, 2022), para permitir que os usuários experimentem as realidades física e virtual como se fossem únicas (Ali *et al.*, 2023; Metaverse RoadMap, 2007), permitindo aos usuários desenvolver diversas atividades.

Por exemplo, os usuários podem transitar entre os mundos real-virtual, para trabalho, educação e treinamento, saúde, exploração de interesses socialização com outras pessoas etc. (Buhalis; Lin; Leung, 2023; Kang *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2023).

Em síntese, o metaverso é a combinação dos mundos físicos e digital, sustentada por tecnologias com diferentes características, que buscam fazer do usuário seu agente principal, lhe permitindo transitar entre ambos os mundos, ou universos, para realizar suas atividades rotineiras de diferentes aspectos da vida, mediante uma experiência interativa composta ou complementada digitalmente.

Esta definição apresenta o Metaverso de maneira geral, porém, ele pode ser direcionado a um setor específico, o que influencia a predominância de um aspecto ou

outro (Little, 2023). Por exemplo, Nokia (2023) divide o Metaverso em três tipos: *Consumer Metaverse*, *Enterprise Metaverse* e *Industrial Metaverse*.

Consumer Metaverse tem como foco ambientes gerados por computador, onde os usuários podem interagir, comprar itens, jogar e vivenciar experiências como no mundo real. Innovation Makers (2022), classifica esse tipo de metaverso como B2C (*business to consumer*).

Serviços *business-to-consumer* são aqueles fornecidos de uma empresa ao indivíduo, por exemplo os serviços financeiros (de bancos e seguradoras), serviços de varejo (de supermercados e lojas de roupas), serviços de viagens (companhias aéreas e empresas de ônibus), serviços de lazer (cinemas e academias) e serviços de hotelaria (restaurantes e hotéis) (Johston; Clark; Shulver, 2012). Podem ser inclusos nessa categoria jogos como *Roblox*, *Minecraft*, *Sandbox*, *Decentraland*, *Fortnite* etc.

Enterprise Metaverse é um tipo de Metaverso projetado para uso comercial. Ele tem como foco a colaboração digital e ferramentas de comunicação. Ele visa uma melhora de produtividade e conexões virtuais. Innovation Makers (2022), classifica esse tipo de metaverso como B2E (*business to enterprise*). Nessa categoria encaixam-se as plataformas *Microsoft Mesh* e *Meta Horizon Workrooms*, que permitem às empresas a criação de espaços compartilhados para comunicação e colaboração entre funcionários.

Industrial Metaverse envolve a fusão de elementos digitais e reais para aplicações industriais. Ele inclui representações digitais do ambiente industrial, sistemas, processos e equipamentos, permitindo ao usuário controle, monitoramento e interação. Innovation Makers (2022), classifica esse tipo de metaverso como B2B (*business to business*).

Os serviços *business to business* são serviços prestados entre empresas, como consultorias, fornecimento e suporte de equipamentos de escritório, comunicações, serviços de viagens corporativas, seguros empresariais etc. (Johston; Clark; Shulver, 2012). Nessa categoria encontram-se empresas como Airbus, Hyundai, BMW, Renault, Michelin etc. (Innovation Makers Alliance, 2022; Little, 2023).

Assim, as três propriedades predominantes, presentes nos três tipos de Metaverso, são a imersão, interação e persistência. A imersão refere-se à capacidade de envolver o usuário em experiência real ou virtual, envolvendo sua participação física e mental (Hudson et al., 2019). A interação refere-se à capacidade de interagir com o ambiente virtual e com outros usuários (Miao et. al, 2022). E a persistência refere-se à capacidade de manter o estado do mundo virtual mesmo quando os usuários não estão presentes. Isso

significa que as mudanças feitas no mundo virtual permanecerão mesmo depois que os usuários saíam (Wang et al, 2022).

A Figura 4 proposta por Little (2023) apresenta a predominância dessas três propriedades de acordo com o segmento alvo do Metaverso (consumidor, empresa ou indústria). Observa-se que o *Consumer Metaverse* tem como propriedades predominantes a imersão e interação do usuário, por exemplo em plataformas de jogos, como *Roblox*, onde a ideia principal é o usuário realizar ações em um mundo virtual. Nesse tipo de Metaverso, a persistência é importante no contexto de *e-commerces*.

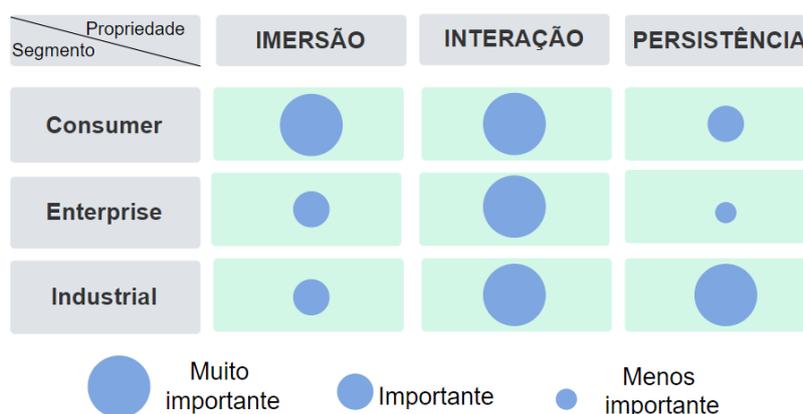


Figura 4 - Importância das propriedades do Metaverso por segmento

Fonte: Adaptado de Little (2023)

No *Enterprise Metaverse*, a propriedade mais importante é a interação, visto que esse tipo de Metaverso tem como objetivo principal facilitar a interação de colaboradores através de um mundo virtual. A imersão pode ser considerada importante, e em crescimento, porém não é o aspecto essencial. A persistência, nesse caso, é menos importante, pois as interações que ocorrem no *Enterprise Metaverse* são feitas em tempo real.

Finalmente, no *Industrial Metaverse*, a imersão, no sentido de renderização realista, ainda é importante, mas não fundamental. Por exemplo, é possível interpretar, analisar e visualizar dados complexos de sistemas sem estar imerso em um ambiente virtual. A interação e a persistência são, no entanto, fundamentais para a indústria. Por exemplo, os *digitais twins* precisam ser "permanentes", tal como os seus homólogos físicos.

Dessa forma, conclui-se que as três principais propriedades do Metaverso são a imersão, interação e persistência, sendo que, o grau de importância de cada uma delas varia de acordo com o segmento alvo do Metaverso.

3.2 TECNOLOGIAS VINCULADAS AO METAVERSO

O Quadro 2 contém uma matriz Tecnologia x Autor, composta por 14 tecnologias (vide as linhas) vinculadas ao Metaverso, propostas por 18 autores (vide colunas). Nele, as células relacionadas a cada tecnologia preencheram-se com um “X” uma vez que o autor mencionava a tecnologia como importante para o funcionamento do Metaverso. A penúltima coluna do Quadro apresenta o valor total de ocorrências para cada tecnologia, e a última coluna apresenta o número de ocorrências por categoria de tecnologias.

Quadro 2 - Matriz Tecnologia x Autor

Categorias	Autores	ABBA TE et al. (2022)	AL-GHAI LI et al.	ALI et al. (2023)	BAL E et al. (202)	BAN AEIA N; IMA	BUC HHO LZ; OPPE	BUH ALIS; LIN; LEUN	CHE N et al. (202)	CHE NG et al. (202)	CUI; IDOT A; OTA	FU et al. (2022)	HUAN G et al. (2022)	POOY ANDE H; HAN;	WAN G et al. (2022)	ZAIN AB et al.(2022)	Total	Total por categoria
	Tecnologias																	
Coleta de dados	Sensores vestíveis													X	X		2	3
	GNSS						X										1	
Ciber-segurança	Blockchain	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	13	13
Criação e modelagem	BIM		X				X						X				3	23
	Digital twins		X	X		X			X	X	X		X		X		9	
	AI		X	X	X		X			X	X	X		X	X		9	
	GIS						X						X				2	
Processamento e conectividade	Cloud computing	X	X	X								X			X		5	23
	Edge computing		X	X						X		X			X		6	
	5G/6G				X					X		X			X		4	
	IoT		X	X	X						X	X	X	X	X		8	
Imersão e interação	AR	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	13	35
	VR	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	13	
	MR	X	X	X				X	X	X		X		X	X		9	

Adicionalmente, as 14 tecnologias encontradas classificaram-se em cinco categorias: Coleta de dados, cibersegurança, criação e modelagem, processamento e conectividade e imersão e interação. Essas categorias, descritas no item 3.2.6 Síntese das tecnologias associadas ao Metaverso e discussão, resultaram da observação e agrupamento das características de cada uma das tecnologias encontradas. A seguir descrevem-se as tecnologias identificadas, agrupadas nestas categorias.

3.2.1 Tecnologias de coleta de dados

A categoria coleta de dados abrange tecnologias que tem como objetivo coletar dados do mundo real, como coordenadas geográficas, ou do usuário, como dados

fisiológicos. Estão inclusas nessa classe as tecnologias de sensores vestíveis e GNSS, apresentadas nos itens a seguir.

- Sensores vestíveis:

Os sensores vestíveis são equipamentos dotados de sensores utilizados junto ao corpo (óculos, relógios, camisas, calçados etc.), para coletar dados fisiológicos e comportamentais do usuário (Mukhopadhyay, 2015). Eles surgiram da necessidade de monitorar pacientes em condição crônica durante longos períodos de tempo ou quando as intervenções precisam ser avaliadas em casa e no ambiente externo (Bonato, 2003).

Na área médica, é possível monitorar a temperatura corporal dos pacientes, frequência cardíaca, atividade cerebral, atividade muscular, movimento etc. Na área de esportes há uma tendência crescente de utilização de sensores vestíveis, como para medição da queima de calorias e taxa de suor (Mukhopadhyay, 2015). Assim, a utilização de sensores vestíveis permite ao usuário um acompanhamento personalizado de acordo com os seus dados coletados.

Especificamente no Metaverso, sensores vestíveis, podem ser utilizados para detectar sons, ondas cerebrais, expressões faciais, movimentos oculares, movimentos das mãos, fala e características biométricas, bem como o ambiente circundante (Pooyandeh; Han; Sohn, 2022; Wang *et al.*, 2022).

Dessa forma, os sensores vestíveis contribuem com o metaverso ao coletarem dados dos usuários que permitirão interações precisas e experiências personalizadas.

- GNSS:

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é um sistema mundial de determinação de posição e tempo que utiliza uma constelação de satélites artificiais para determinar a localização de objetos e pessoas na Terra (Hegarty; Chatre, 2008).

Existem vários sistemas GNSS no mundo, pertencentes a diferentes países, como o GPS, dos Estados Unidos, o GLONASS, da Rússia, o Galileo, sistema europeu e BeiDou da China, entre outros (Egea-Roca *et al.*, 2022).

Estes sistemas podem ser utilizados como base para diversos outros serviços, como o monitoramento logístico, jogos baseados em localização, publicidade personalizada, aviação, militar, mapeamento, mineração, topografia etc. (Kim; Russell, 2003; Metaverse RoadMap, 2007).

Especificamente, a utilização do GNSS no metaverso pode ser feita em ambientes de realidade virtual (RV) onde os usuários podem explorar um mundo virtual. O GNSS fornece a localização precisa do usuário e rastreia seus movimentos, permitindo que seu avatar se mova pelo mundo virtual.

Assim, o GNSS contribui com o Metaverso ao coletar dados precisos de localização do usuário, mesmo em ambientes virtuais, que servirão como base para outras tecnologias, como a realidade virtual ou GIS, por exemplo.

3.2.2 Tecnologias de cibersegurança

A cibersegurança refere-se a segurança de hardwares, softwares e dados contra ataques cibernéticos. Ela busca manter a confidencialidade, integridade e disponibilidade de dados dos usuários (Seemma; Nandhini; Sowmiya, 2018).

Uma forma de alcançar a cibersegurança é a descentralização de dados. Esta refere-se à não concentração de dados por uma única entidade, como uma empresa ou governo (Fu *et al.*, 2023). Isso significa que os usuários têm mais controle e segurança sobre suas experiências no Metaverso, visto que, em uma rede descentralizada, o registro de informações é distribuído, não dependendo de um único ponto de controle, dificultando sua alteração (Pooyandeh; Han; Sohn, 2022).

A tecnologia responsável por manter a cibersegurança no Metaverso é o *blockchain*, apresentado a seguir.

- *Blockchain*:

O *blockchain* consiste em blocos consecutivos de informações interligados. Ele armazena informações em uma rede descentralizada, com assinaturas digitais. Essas informações não podem ser modificadas. *Blockchain* administra todas as interações entre os ambientes físico e virtual, através de uma rede com segurança melhorada (Ali *et al.*, 2023; San; Choy; Fung, 2019).

Essa tecnologia abrange os NFTs (*Non fungibles token*). Um NFT é um tipo de ativo digital que representa aspectos do mundo real, como arte, música, vídeo e conteúdo de jogo. Cada NFT possui um identificador exclusivo, que permite autenticar ativos digitais e salvar permanentemente o histórico de transações no *blockchain*, garantindo assim a exclusividade dos ativos digitais (Cui; Idota; Ota, 2022). Estes são

transacionados, comprados e vendidos on-line, e geralmente são codificados com o mesmo *software* subjacente que as criptomoedas, como o *Bitcoin* (Vidya, 2022).

Assim, o *blockchain* tem sido utilizado no setor financeiro, criptomoedas, gestão de risco, saúde, educação, rastreamento de ativos, segurança cibernética e serviços sociais. No setor da saúde, por exemplo, *blockchain* utiliza-se na busca de confidencialidade dos dados dos pacientes, aumentando a segurança dos prontuários, já que, uma vez que os dados do paciente são estocados no *blockchain* eles não podem ser alterados ou deletados (Ali *et al.*, 2023).

Já os NFTs, além de conferirem propriedade à itens virtuais, também podem ser utilizados no mundo físico, por exemplo para ingressos de shows, escrituras de veículos, faturas, assinaturas ou outros documentos (Vidya, 2022).

Dessa forma, o *blockchain* contribui para o funcionamento do Metaverso, ao permitir um registro seguro e imodificável de transações realizadas e conferir propriedades e valores únicos à bens digitais.

3.2.3 Tecnologias de criação e modelagem

São tecnologias que utilizam dados do mundo real ou dados fornecidos pelo usuário, para a criação de conteúdos que podem ser incorporadas no ambiente virtual de forma eficiente, ou que replicam o comportamento e desempenho de um ambiente existente no mundo real. Essa categoria é formada pelas tecnologias GIS, inteligência artificial, BIM, e *digital twins*.

- GIS:

Um GIS é um sistema de banco de dados com recursos específicos para dados referenciados espacialmente, bem como um conjunto de operações para trabalhar com os dados (Poku; Ardit, 2006).

Os sistemas GIS capturam, armazenam, analisam e gerenciam dados e atributos associados que são referenciados espacialmente à Terra, por exemplo, o *Google Earth*. (Metaverse RoadMap, 2007). Outro exemplo é jogo *Pokémon go*, que utiliza o GIS para colocar os *pokémons* em locais específicos do mundo real.

Assim, essa tecnologia contribui para o Metaverso ao alimentar os modelos virtuais com informações geográficas precisas do mundo real.

- Inteligência artificial (IA):

Uma IA pode ser entendida como a capacidade de uma máquina ou sistema computacional simular e executar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como raciocínio lógico, aprendizagem e resolução de problemas (Bartneck *et al.*, 2021). A IA é baseada no uso de algoritmos e tecnologias de aprendizado de máquina para dar às máquinas a capacidade de agir como se tivessem certas habilidades cognitivas e realizar tarefas por conta própria ou com alguma ajuda (Morandín-Ahuerma, 2022).

Ela engloba conceitos como o *machine learning*, *deep learning*, processamento da linguagem natural, *computer vision* etc. (Ali *et al.*, 2023).

A IA é usada para processar grandes quantidades de dados e melhorar a eficiência da computação em ambientes complexos. Ela pode ser utilizada no processo de tomada de decisão, planejamento, execução e ajuste, melhorando o nível de automação do sistema. A tecnologia de IA também é usada na criação de conteúdos, como textos, e imagens, e na revisão de conteúdos massivos que não podem ser concluídos, ou demandam ingente esforço, manualmente (Darko *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2022). Outros exemplos de utilização de uma IA incluem planejamentos estratégicos corporativos, reconhecimento facial e computação mais rápida (Al-Ghaili *et al.*, 2022).

Especificamente no Metaverso, uma IA pode gerar avatares realistas dos usuários, automatizar tarefas, ser utilizada na criação de ambientes virtuais que aprendem e se adaptam de acordo com as interações dos usuários etc.

Assim, a inteligência artificial contribui na construção de um metaverso autônomo e escalável, que aprende através da interação com o usuário, fornecendo experiências adaptadas a este.

- *Building Information Modeling (BIM):*

O *Building information modeling* (BIM) é um processo colaborativo de uso de informações de um empreendimento de construção, formando uma base para as decisões durante o ciclo de vida do produto construído (Huang *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022).

Ele permite a construção digital de um modelo de um edifício. Nele, os colaboradores planejam, projetam e constroem estruturas ou edifícios em um modelo 3D para armazenamento, compartilhamento, troca e gerenciamento multidisciplinar de informações (Sun *et al.*, 2022).

A utilização do BIM no Metaverso permitirá a criação de modelos interativos (Huang *et al.*, 2022). Estes poderão ser explorados por clientes e profissionais, permitindo uma visualização do projeto de forma mais realista, interativa, e facilitando alterações.

Por exemplo, pode-se modelar uma edificação com todos seus componentes, com móveis instalações etc., e permitir ao cliente uma visita virtual antes da construção definitiva. Neste contexto, ele poderá modificar o que não está de acordo com suas expectativas.

Dessa forma, ao incorporar a tecnologia BIM no Metaverso, facilita-se a criação de um modelo digital colaborativo entre os agentes participantes do empreendimento de construção.

- *Digital Twins:*

Digital twins referem-se a espaços físico e virtual sincronizados (Ali *et al.*, 2023; Rosen *et al.*, 2015), constituindo um modelo realista contendo todas as informações do mundo físico no mundo virtual e vice-versa (Errandonea; Beltrán; Arrizabalaga, 2020). Essa sincronização acontece mediante a captura de dados por meio de sensores (Wang *et al.*, 2022).

O *digital twins* possui três componentes principais: o objeto real, a sua réplica digital e a conexão de dados entre os objetos físico e virtual (Ali *et al.*, 2023). Adicionalmente, o espelhamento entre os mundos real e virtual permite analisar as condições que ocorrem em todas as fases do ciclo de vida do objeto. (Rosen *et al.*, 2015).

Segundo Errandonea; Beltrán; Arrizabalaga (2020), um *Digital Twin* deve adquirir informações operacionais, organizacionais e técnicas e estar sempre sincronizado com o ativo físico, sendo capaz de executar simulações do comportamento de ativos físicos.

Uma outra característica relevante do *digital twins* é a autoevolução. Para Errandonea; Beltrán; Arrizabalaga (2020), essa tecnologia é algo vivo, que muda, melhora e evolui, mantendo a sincronicidade entre o espaço físico e o virtual. Por exemplo, sensores presentes nas ruas de uma cidade detectam alterações como a construção ou demolição de uma edificação e atualizam em tempo real o modelo digital daquela cidade.

Assim, a tecnologia *digital twins* contribui com o Metaverso ao criar modelos digitais sincronizados ao ambiente físico, capazes de acompanhar as mudanças realizadas neste, diminuindo o trabalho dos responsáveis por atualizar as informações dos modelos digitais.

3.2.4 Tecnologias de processamento e conectividade

Tecnologias que fornecem o poder de processamento e conexão necessários para criar e gerenciar o ambiente virtual de forma eficiente e escalável, são estas: *cloud computing*, *edge computing* e 5G/6G.

- *Cloud Computing:*

Cloud computing é uma infraestrutura digital que permite ao usuário o armazenamento e processamento de grandes quantidades de dados sem a preocupação com detalhes de cálculo e memória exigidos pelo serviço (Fu *et al.*, 2023). Ela permite acessar arquivos, dados, programas e serviços de terceiros a partir de um navegador da Web, hospedados por um provedor terceirizado (Kim, 2009).

Esta tecnologia relaciona-se com dois componentes (Lin; Shih, 2010). O primeiro refere-se aos aplicativos entregues como serviços pela Internet. O segundo refere-se ao *hardware* e *software* de sistemas nos *data centers* que fornecem esses serviços.

Especificamente no Metaverso, os jogos em nuvem executam-se pelo servidor e a tela do jogo renderizada é compactada e transmitida ao usuário pela rede. Portanto, diferentemente dos jogos de terminal e dos jogos para celular, nos jogos em nuvem não há requisitos de configuração para o dispositivo do usuário. Os usuários só precisam se conectar à internet, sem baixar recursos para dispositivos locais para desfrutar dos serviços de jogos em nuvem (Fu *et al.*, 2023).

Dessa forma, o *cloud computing* fornece a potência necessária para o usuário usufruir do Metaverso, apenas através da conexão à internet.

- *Edge Computing:*

A *edge computing* é uma arquitetura de computação que executa serviços em redes mais próximas do usuário final (Fu *et al.*, 2023; Khan *et al.*, 2019). Essa aproximação de servidores resulta em uma diminuição da latência (Latência refere-se ao atraso percebido entre o envio de um comando e a observação do resultado (Attig *et al.*, 2017), ou seja, está associada ao tempo que leva para a informação percorrer um sistema.) e aumento na segurança de transmissão de dados (Fu *et al.*, 2023).

A *edge computing* permite cumprir requisitos de latência e velocidade que não conseguem ser supridos pela *cloud computing* (Fu *et al.*, 2023), minimizando a carga de uma nuvem, ao fornecer recursos e serviços na rede *Edge* (Khan *et al.*, 2019).

Shi *et al.* (2016) relata que um teste realizado por pesquisadores com aplicativos de reconhecimento facial mostrou uma mudança de tempo de resposta de 900 ms para 169 ms ao trocar a *cloud computing* pela *edge computing*, além de uma redução do consumo de energia de 30% a 40%.

Um exemplo prático apresentado por Shi *et al.* (2016) de utilização da *edge computing* são as casas inteligentes. Neste ambiente, além de conexões *wifi* à nuvem, são necessários sensores em tubulações, paredes e piso. Esses sensores captam uma quantidade significativa de dados e, considerando a demanda de transporte de dados e a proteção da privacidade, a *cloud computing* torna-se inadequada nesta situação. No entanto, a *edge computing* supre essa necessidade ao tratar esses dados localmente e liberar a carga da largura de banda da internet.

Assim, a *edge computing* contribui com o Metaverso ao fornecer capacidade de processamento alta e segura, localmente próxima ao usuário final.

- **5G/6G:**

A tecnologia 5G foi proposta para possibilitar a utilização da rede internet por muitos usuários em tempo real, transmitindo quantidades de dados significativas, com baixa latência de ponta a ponta, tendo a coexistência e integração de várias tecnologias de rede sem fios, com segurança reforçada, eficiência energética e gerenciamento de rede (Salahdine; Han; Zhang, 2023).

O lançamento da tecnologia 6G, sucessora da 5G, prognostica-se para acontecer entre 2027 e 2030. Sua especificação ainda não foi identificada com exatidão, mas espera-se que seja um recurso de comunicação global, com o nível de serviço várias vezes melhor que o 5G (Chowdhury *et al.*, 2019).

O 5G e 6G permitirão a construção da infraestrutura de comunicação do Metaverso, devido aos seus requisitos de alta velocidade, baixa latência, baixo consumo de energia e interconectividade (Chen, 2022).

Assim, essas tecnologias são fundamentais para o bom funcionamento do Metaverso, ao permitir a) a conexão de um grande número de usuários ao mesmo tempo e b) a coleta e transmissão de grandes quantidades de dados.

- **Internet of Things (IoT):**

A *internet of things* é um sistema de interrelação de dispositivos inteligentes, baseado na instalação de sensores e conexão destes à internet, para transferir informações

identificadas, localizadas, e gerenciadas, em uma rede sem a necessidade de interação humano-humano ou humano-computador (Li *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2022).

Uma vez conectados à internet, os dispositivos recebem um identificador exclusivo e podem enviar ou receber dados automaticamente (Al-Ghaili *et al.*, 2022).

Especificamente, a IoT pode coletar e entregar dados do mundo físico ao modelo atrelado ao Metaverso, o que aumenta a precisão digital. Dessa forma, os fluxos desses dados podem modificar a forma como os itens do Metaverso funcionam, dependendo do clima ou de outras variáveis (Al-Ghaili *et al.*, 2022).

Assim, a IoT contribui com o Metaverso ao permitir que dispositivos interajam e troquem dados entre si, em tempo real.

3.2.5 Tecnologias de imersão e interação

O conceito de imersão significa estar “dentro” de uma experiência real ou virtual, envolvendo uma participação física e mental e um afastamento da experiência cotidiana, ou seja, o usuário experimenta uma sensação modificada de tempo (Hudson *et al.*, 2019). Já o conceito de interação, refere-se a uma influência de um elemento de um sistema sobre outro elemento, seja pessoa ou coisas (Cambrigde, 2023).

Esses dois conceitos foram unificados em uma só categoria pois as tecnologias presentes nela possuem ambas as características de imergir o usuário em um ambiente, ou de trazer um elemento virtual para o mundo real e de permitir a interação entre esses elementos.

Assim, as tecnologias de imersão e interação estimulam os sentidos, como a visão ou tato, permitindo que o usuário se sinta imerso e interaja com os elementos criados pelas tecnologias. Estão inclusas nessa categoria as realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR) e realidade mista (MR). Os itens a seguir apresentam cada uma dessas tecnologias.

- Realidade aumentada (AR):

A realidade aumentada caracteriza-se pela sobreposição de objetos digitais no mundo real (Ali *et al.*, 2023). Essa sobreposição resulta em uma camada projetada de objetos digitais, mediadas por algum dispositivo como smartphones, tablets, superfícies transparentes ou óculos (Mystakidis, 2022). A Figura 5 mostra óculos de realidade aumentada, pertencente a empresa Lenovo.



Figura 5 - Óculos Lenovo ThinkReality A3, de realidade aumentada

Fonte: Innovation Makers Alliance (2022)

A incorporação de elementos virtuais no ambiente físico permite enriquecer sua percepção pelo usuário (Ajit, 2021). Um exemplo inclui o uso de filtros para fotos de mídias sociais (Instagram, Snapchat etc.), modificando a aparência do usuário mediante efeitos como maquiagem virtual, etc.

Outro exemplo de realidade aumentada é o Pokémon Go. Este permite sobrepor personagens virtuais no ambiente real, visualizando-os por meio de um smartphone.

Já no setor da saúde, médicos utilizam AR para ampliar determinada parte do corpo do paciente, auxiliando em cirurgias. Isto ocorre graças ao aprimoramento da visão do médico, através da sobreposição de imagens 3D do paciente.

Assim, a realidade aumentada contribui com o Metaverso ao projetar elementos virtuais no mundo físico com o objetivo de aprimorar determinada característica deste.

- Realidade mista (MR):

Diferentemente da realidade aumentada, que necessita de um dispositivo como intermediário para a interação, na realidade mista, esta ocorre diretamente no mundo físico, ou seja, o usuário pode interagir e manipular, em tempo real, com um elemento virtual projetado em 3D no mundo físico, utilizando suas próprias mãos, como a manipulação de uma planta arquitetônica 3D (Rainie, 2022).

Ela caracteriza-se pela fusão dos mundos real e virtual, produzindo um ambiente onde os objetos físicos e virtuais coexistem e interagem em tempo real (Innovation Makers Alliance, 2022; Mystakidis, 2022; Sun *et al.*, 2022).

Além disso, o elemento virtual projetado pode interagir com o mundo real. Por exemplo, em uma MR, um personagem de um jogo pode reconhecer a presença de um sofá no mundo físico e se esconder atrás deste (Mystakidis, 2022).

A realidade mista permite também a interação entre pessoas distantes geograficamente, através da cooperação entre uma pessoa no mundo físico e um holograma (Innovation Makers Alliance, 2022).

Devido à complexidade dessas interações, os capacetes de MR (Figura 6) possuem um preço mais elevado que os capacetes de AR e VR, e são, portanto, geralmente utilizados em meios profissionais, como treinamentos, *design* industrial, militar e médico. A empresa Airbus, por exemplo, utiliza a realidade mista para que colaboradores situados em sedes diferentes possam trabalhar sobre uma mesma peça, utilizando hologramas gerados por óculos de realidade mista (Innovation Makers Alliance, 2022).

Assim, a realidade mista contribui com o Metaverso ao permitir uma interação em tempo real, do usuário com elementos virtuais 3D projetados no mundo físico.



Figura 6 - Capacete de MR HoloLens 2, da Microsoft

Fonte: Innovation Makers Alliance (2022)

- Realidade virtual (VR):

A realidade virtual refere-se a um ambiente alternativo, criado digitalmente, conferindo ao usuário uma ilusão de participação em um ambiente sintético (Goulding *et al.*, 2012; Mystakidis, 2022). O ambiente virtual é tão imersivo que tem a capacidade de criar uma experiência surreal, fazendo os usuários acreditarem que eles estão fisicamente presentes em um ambiente virtual (Bale *et al.*, 2022).

Por ter a característica de imersão completa do usuário, a realidade virtual tem como equipamento capacetes que possuem uma tela interior oculta, e dois controles manuais, que servem para se locomover e interagir com objetos. Por exemplo, o capacete *Meta Quest 2*, da empresa Meta (Figura 7). Esses equipamentos são, geralmente, utilizados por *gamers*, formações e eventos (Innovation Makers Alliance, 2022).



Figura 7 - Capacete Meta Quest 2

Fonte: Innovation Makers Alliance (2022)

Uma situação em que a realidade virtual pode ser empregada são treinamentos de segurança para trabalhadores do meio offshore. Estes precisam passar pelo Treinamento de Escape de Helicóptero Submerso (THUET). Assim, com o auxílio de equipamentos de realidade virtual, os participantes passam por uma simulação de escape de um helicóptero submerso, de forma a eliminar preocupações e dúvidas antes do verdadeiro exercício, realizado em uma piscina (RelyOn, 2018).

Assim, a realidade virtual contribui para o Metaverso ao imergir o usuário em um ambiente virtual de forma realista, permitindo-os vivenciar, de forma segura, experiências que seriam complicadas, ou impossíveis, no mundo físico.

- Realidade estendida (XR):

Realidade estendida é um termo que engloba as realidades virtual, aumentada e mista. Ela inclui todo o ambiente físico e virtual combinados (Ali et al., 2023; Cheng et al., 2022; Morimoto et al., 2022). Assim, a realidade estendida não foi considerada como uma tecnologia nesta pesquisa, mas como um termo que reúne outras três tecnologias e, portanto, não foi incluída no Quadro 2.

A Figura 8 adaptada de Wong; Sun; Kumta (2022) e (Innovation Makers Alliance, 2022) apresenta um resumo da diferença entre os conceitos de realidade aumentada, mista, virtual e estendida. Ela é composta por 5 losangos sequenciais, onde o primeiro losango à esquerda representa o mundo real, e o último losango à direita representa o mundo virtual. Os três losangos intermediários representam as tecnologias de realidade aumentada, mista e virtual, organizados em ordem crescente de imersão do usuário, representada por uma seta apontando para a direita.

Guttentag (2010) caracteriza imersão como o grau de isolamento do usuário em relação ao mundo real. Para ele, existem diferentes graus de imersão. Em um sistema totalmente imersivo, o usuário é completamente envolvido pelo ambiente virtual, não possuindo nenhuma interação com o mundo real, enquanto em um sistema semi-imersivo, o usuário mantém algum contato com o mundo real.

Assim, são ditos sistemas totalmente imersivos aqueles em que o usuário é transportado a um mundo virtual, e sistemas semi-imersivos os sistemas que, ao contrário, transportam elementos do mundo virtual ao mundo real, havendo uma ligação entre os mundos.

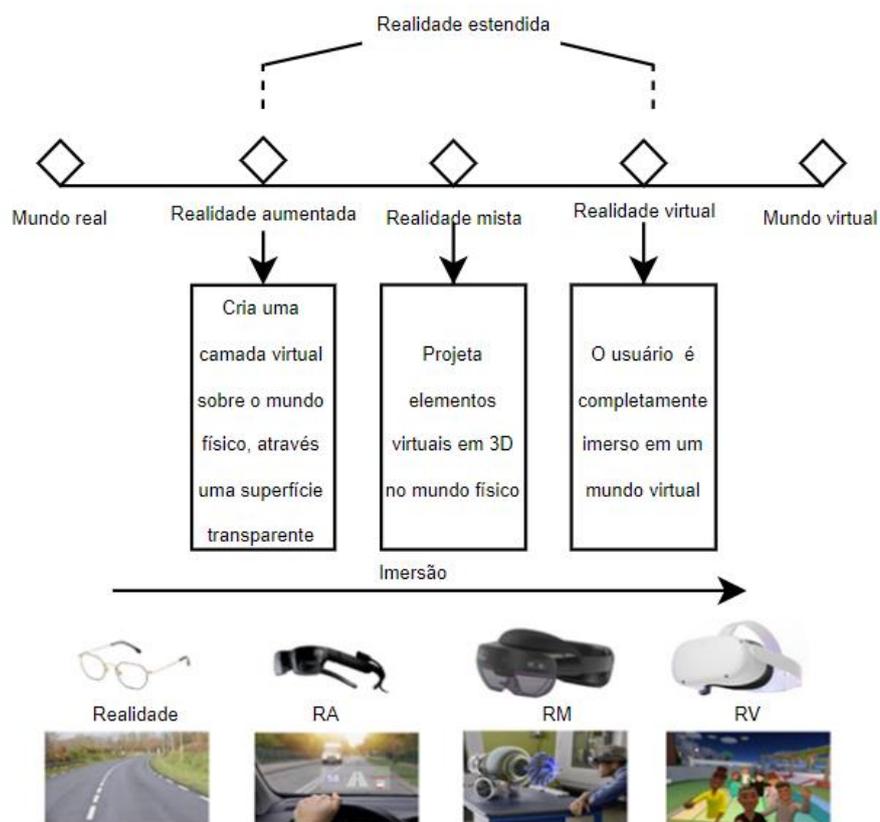


Figura 8 - Grau de imersão das tecnologias de RA, RV e RM

Fonte: Adaptado de Wong; Sun; Kumta (2022) e Innovation Makers Alliance (2022)

A parte inferior da imagem contém quatro retângulos, que exemplificam uma aplicação de cada tecnologia e o equipamento utilizado. O primeiro retângulo representa simplesmente uma estrada do mundo real, e um óculos de grau comum, utilizado para melhorar a visão do condutor. O segundo retângulo representa uma situação em realidade aumentada. A mesma estrada do mundo real agora possui uma camada de informações virtuais projetada nos óculos de RA mostrado, com objetivo de fornecer mais informações ao condutor, como condições de tráfego, ou o trajeto que ele deseja realizar, por exemplo.

O terceiro retângulo exemplifica a realidade mista. Nele pode-se ver um operador responsável pela instalação de uma peça industrial, que utiliza um holograma em 3D como guia para o seu trabalho. Observa-se que o equipamento utilizado para visualização da realidade mista é mais robusto que os da realidade aumentada, mas ainda conserva lentes transparentes, que permitem ao usuário um contato com o mundo real e virtual simultaneamente.

Por fim, o quarto retângulo mostra a realidade virtual. Neste caso, o usuário é transportado para o ambiente completamente virtual. Observa-se que o equipamento utilizado não possui lentes transparentes, ou seja, o usuário é completamente imerso em um ambiente diferente do real.

Em suma, a realidade aumentada é a mais próxima do mundo real, pois ela caracteriza-se pela inserção de elementos virtuais no mundo real através de uma tela (smartphone, computador, óculos etc.). Em seguida, encontra-se a realidade mista, que projeta elementos virtuais no mundo real de forma mais imersiva que a realidade aumentada, visto que ela permite a projeção de elementos 3D, que podem ser manipulados pelas próprias mãos do usuário. Por último tem-se a realidade virtual, que ao contrário das outras duas, caracteriza-se por imergir o usuário em um mundo completamente virtual e imersivo. A realidade estendida, caracterizada pela união dessas três tecnologias, é representada na imagem através de uma linha englobando a RA, RM e RV.

3.3 SÍNTESE DAS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS AO METAVERSO E DISCUSSÃO

Conforme o Quadro 2, a partir de os quinze trabalhos selecionados coletaram-se 97 menções às tecnologias necessárias para o funcionamento do metaverso, agrupadas em cinco categorias: a) coleta de dados; b) Cíber-segurança; c) Criação e modelagem; d) Processamento e conectividade e; finalmente, e) Imersão e interação.

Dentre eles, pela sua preeminência, destacam-se os aspectos de imersão e interação, totalizando 35 registros de menções. A característica predominante desta categoria é a presença do usuário como agente principal. Desta maneira, o usuário é imerso no metaverso, e é ele quem interage com outros elementos. Em outras palavras, o Metaverso agrega valor ao seu usuário quando este lhe permite interagir, de forma imersiva, no modelo conectado entre os mundos físico e digital.

Em seguida, com 23 citações, encontram-se as categorias de processamento e conectividade e de criação e modelagem. Com 13 registros, tem-se a classe ligada à cibersegurança, e, com 3 registros, encontram-se as categorias de coleta de dados.

Essas categorias compreendem tecnologias que não necessariamente estão em contato com o usuário final, mas que são servem de suporte para o funcionamento do

Metaverso. Em outras palavras, estas tecnologias constituem-se na infraestrutura necessária para os usuários interagirem de forma imersiva no Metaverso.

As cinco categorias propostas no Quadro 2 permitiram a elaboração de um ciclo de criação de valor do *Industrial Metaverse*, mostrado na Figura 9. Esta compõe-se por cinco hexágonos concêntricos, de tamanhos diferentes. O menor hexágono é dividido em duas partes, correspondentes ao *front* e *backstage*, conforme explicado no capítulo seguinte. O hexágono subsequente trata das propriedades do Metaverso: Coleta de dados, cibersegurança, conexão e processamento, criação e modelagem, e imersão e interação.

O terceiro hexágono compreende uma pequena descrição associada a cada uma das propriedades citadas, o quarto hexágono é composto por ícones que representam as tecnologias componentes das etapas do ciclo e, finalmente, o quinto hexágono apresenta a contribuição de cada tecnologia para o Metaverso, como descrito no item 323.2.

Na etapa da coleta de dados, coletam-se dados do mundo real, como coordenadas geográficas ou dados fisiológicos dos usuários, que permitirão a construção e manutenção dos elementos do Metaverso.

Na etapa da cibersegurança, tratam-se e armazenam-se os dados de forma segura, através da tecnologia Blockchain. Na etapa de conectividade e processamento de dados, são fornecidos ao Metaverso os requisitos operacionais de velocidade e latência necessários para um funcionamento adequado.

Em seguida, na modelização de objetos e ambientes virtuais, utilizam-se os dados coletados, para incorporá-los no Metaverso e permitir a criação de ambientes e elementos digitais. Na etapa de imersão e interação, tem-se o envolvimento do usuário com um ambiente, ou elementos virtuais, e posterior interação entre estes.

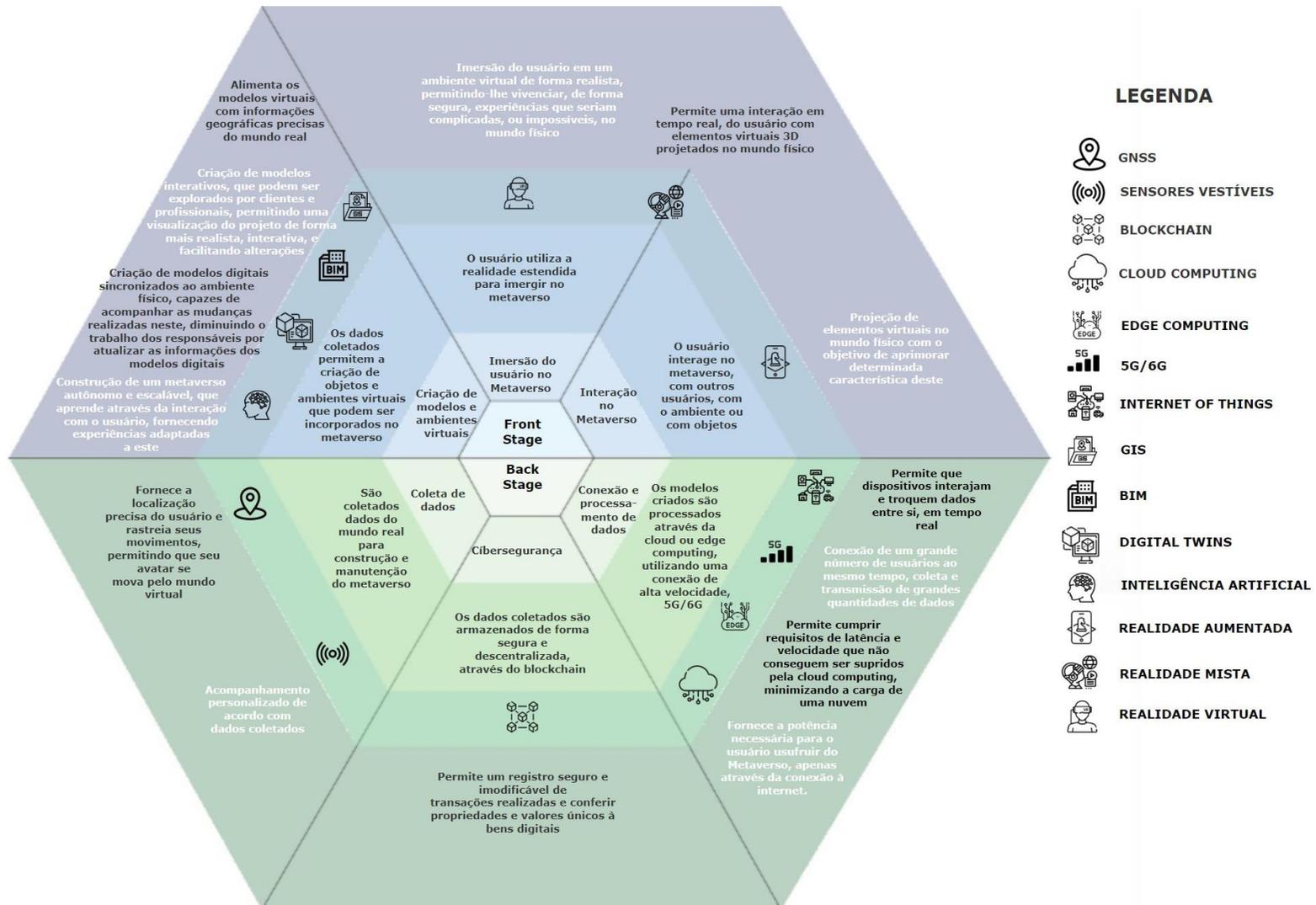


Figura 9 – Ciclo de criação de valor no Metaverso

3.4 RELAÇÃO ENTRE O METAVERSO E A PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS *BACKSTAGE E FRONTSTAGE*

Em outras palavras, as etapas de criação de valor do Metaverso relacionam-se à produção de um serviço. Portanto, podem ser divididas em *frontstage*, composta pelas categorias de imersão e interação e criação e modelagem, e tecnologias de *backstage*, composta pelas categorias de coleta de dados, cibersegurança e processamento e conectividade.

Esses conceitos são apresentados por Teboul (2008). Segundo o autor, podemos compreendê-los através do exemplo de um restaurante, onde existem a sala de jantar e a cozinha. O *frontstage* é onde o cliente experimenta o serviço, neste caso, a sala de jantar. O *backstage* é onde ocorre a transformação física do produto final, neste caso, a cozinha. Ou seja, o cliente tem contato unicamente com o ambiente da sala de jantar, o garçom e o prato servido, mas para que o prato chegue até ele existe um ambiente onde outras atividades ocorrem, como o preparo da refeição pelo chef.

Um exemplo prático a ser citado, envolvendo o metaverso, é o da empresa Gucci, que lançou pares de tênis NFT (Gucci Virtual 25) que podem ser experimentados pelos clientes através da realidade aumentada em um smartphone, e utilizados em plataformas como VR chat ou Roblox (Innovation Makers, 2022). Nesse caso, o usuário utiliza a realidade aumentada para interagir com um par de tênis virtual. Porém, para que essa interação e compra seja possível, envolvem-se no processo as tecnologias *blockchain*, fornecendo a segurança da compra através do NFT, 5G, fornecendo a conexão do usuário, *digital twins*, que permitiu a modelagem do tênis no mundo virtual, e tecnologias de processamento que irão transmitir e armazenar os dados provenientes dessa transição. A Figura 10 esquematiza o exemplo da Gucci e a divisão entre tecnologias de *frontstage* e *backstage*.

Front stage

Ações que tem o usuário como protagonista:

- Experimentar o produto através da AR



Gucci Virtual 25 (Innovation Makers, 2022)

- Back stage**
- Requisitos para que o front stage aconteça:**
- Conexão 5G
 - Modelagem do produto
 - Transmissão de dados
 - Segurança da compra - *Blockchain/NFT*
 - etc.

Figura 10 - Exemplo de *frontstage* e *backstage*

Essa divisão entre *front* e *backstage* no metaverso pode ser representada em formato de *iceberg* (Figura 11). A parte superficial do *iceberg* é o *frontstage*, localizado mais próximo ao usuário, onde ele age diretamente. A parte submersa do metaverso representa o *backstage*, ou seja, a parte que o usuário final não vê. Esta, serve de suporte às tecnologias de *frontstage*, ou seja, o usuário não age diretamente sobre elas, mas precisa delas para que ele possa utilizar o metaverso de forma segura e eficaz.



Figura 11 - Esquema de tecnologias vinculadas ao Metaverso

Entretanto, ressalta-se que a divisão entre *front* e *backstage* pode mudar segundo o usuário analisado. Por exemplo, no contexto da construção civil, para um projetista, a categoria de modelização e criação poderia ser considerada como *frontstage*, visto que ele seria responsável por utilizar essas tecnologias diretamente, enquanto ao considerar o usuário como um potencial comprador de um imóvel, ou um operário de construção, este receberia o modelo pronto, configurando uma tecnologia de *backstage*.

Ao se entender que as tecnologias associadas ao *backstage* conformam a infraestrutura para prestação de serviços vinculados ao Metaverso, os dois exemplos a seguir ilustram aplicações de *frontstage* identificadas na literatura acadêmica e de mercado para os casos de *Consumer* e *Industrial Metaverse*.

3.4.1 Consumer Metaverse

Esse marco de *frontstage* e *backstage* pode ser utilizado para analisar e propor diferentes serviços atrelados ao uso do Metaverso. Por exemplo, Teboul (2008) apresenta um ciclo de criação de valor a hotelaria, mostrado na Figura 12. Este, é dividido em 10 etapas: A primeira refere-se à pesquisa pelo hotel que se adequa a necessidades do cliente, como o custo e localização, por exemplo. A segunda etapa refere-se à reserva do hotel, através de um site ou por telefone. A terceira etapa diz respeito ao encontro do hotel, ou seja, o caminho para encontrá-lo, sua sinalização e estacionamento.

A quarta etapa é a chegada propriamente dita, momento em que o cliente é atendido na recepção, faz seu *check-in* e entrega suas bagagens. A quinta etapa, refere-se ao momento em que o cliente entra no quarto, faz um reconhecimento do ambiente, toma um banho e descansa, antes da etapa seis, que é o almoço ou janta no hotel. A etapa sete compõem-se dos possíveis serviços de quarto, como lavanderia, chá, café no quarto.

A etapa oito compreende as atividades que podem existir no hotel, como bares, lojas, salas de esporte, salas de reunião etc. A etapa nove é o café da manhã, que pode ocorrer no restaurante ou no próprio quarto, e, finalmente, a etapa dez é a partida do cliente, quando ele faz seu *check-out*.

Essas etapas são dispostas na Figura 12, representadas por dez círculos sequenciais, formando um ciclo. As cores, verde e azul, marcam as atividades que acontecem antes do cliente chegar no hotel (etapas um a três), na cor verde, e durante sua estadia (etapas quatro a dez), na cor azul.

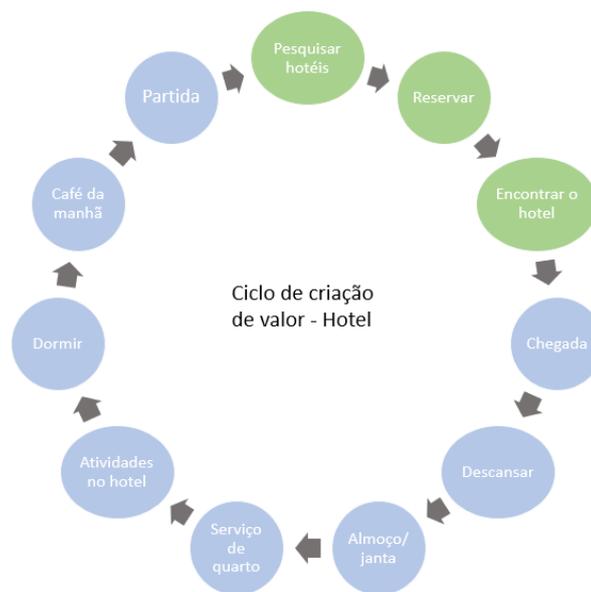


Figura 12 - Ciclo de criação de valor na hotelaria

Fonte: Adaptado e traduzido de Teboul (2008)

Buhalis; Lin; Leung (2023) abordam em seu artigo a utilização do Metaverso como criador de valor no âmbito de viagens e hotelaria, considerado como *Consumer Metaverse*. As aplicações citadas pelos autores são divididas em atividades que ocorrem antes, durante e após a viagem. As atividades anteriores a viagem são:

- Visitas imersivas às opções de destinos para a viagem: Essa atividade envolve o uso da realidade estendida para analisar as opções de destinos selecionadas de forma imersiva, fornecendo ao viajante uma ideia precisa do local que ele vai visitar fisicamente.
- Acesso ao conteúdo multimídia gerado por outros viajantes: O Metaverso permite que viajantes gerem conteúdos imersivos de suas próprias viagens e compartilhem suas opiniões de forma imersiva, como uma evolução do site *TripAdvisor*, por exemplo.
- Planejamento de itinerários e transportes: O planejamento de itinerários de forma imersiva, utilizando a realidade estendida, prepara o viajante para a situação real. Por exemplo, o *Google Maps* não mostra a situação em tempo real de uma rua, ou praça, que podem estar em obra, ou outro evento que

modifique o roteiro do viajante. Nesse sentido, o Metaverso, com auxílio da tecnologia *digital twins*, permite ao usuário uma preparação mais precisa e eficiente de sua viagem.

- Visitas imersivas aos hotéis: O cliente pode visitar virtualmente o hotel, suas áreas comuns e quartos, obtendo uma ideia precisa do lugar onde será hospedado.

Durante a viagem, os serviços listados são:

- Atividades no hotel: O hotel pode oferecer uma série de serviços e atividades imersivas e iterativas para seus clientes. Por exemplo, um ambiente convivial virtual, com jogos ou outras atividades, onde os hóspedes podem se conhecer e interagir entre si.
- Café da manhã iterativo: Buhalis; Lin; Leung (2023) apresentam como exemplo um restaurante Inglês, "*Inamo restaurants*", que utiliza a RA como diferenciação. Nele, são projetadas informações dos pratos nas mesas. Além disso, os clientes podem assistir os chefs preparando suas refeições em tempo real.
- Atividades imersivas pela cidade: Durante a viagem, podem-se criar experiências imersivas, por exemplo em museus, ou na cidade, mostrando como eram as construções em determinada época.

Após a viagem, o serviço listado é:

- Compartilhamento de experiências: Após a viagem, os clientes podem compartilhar suas experiências imersivas que foram registradas, juntamente com sua opinião, para consulta de futuros viajantes.

As etapas incrementadas pelo Metaverso no contexto de viagens e hotelaria foram incluídas no ciclo de criação de valor de hotéis de Teboul (2008), dando origem ao ciclo da Figura 13. Esta é composta por círculos sequenciais representando as etapas de uma viagem. Os círculos brancos representam as atividades presentes no ciclo de Teboul (2008), enquanto as atividades nos círculos rosas compreendem as atividades listadas por Buhalis; Lin; Leung (2023) como agregadoras de valor à experiência do cliente. Além disso, o fundo da imagem foi pintado de cores diferentes, identificando como verde as

atividades realizadas antes da viagem, em azul as atividades realizadas durante a viagem, e em amarelo as atividades realizadas depois da viagem.

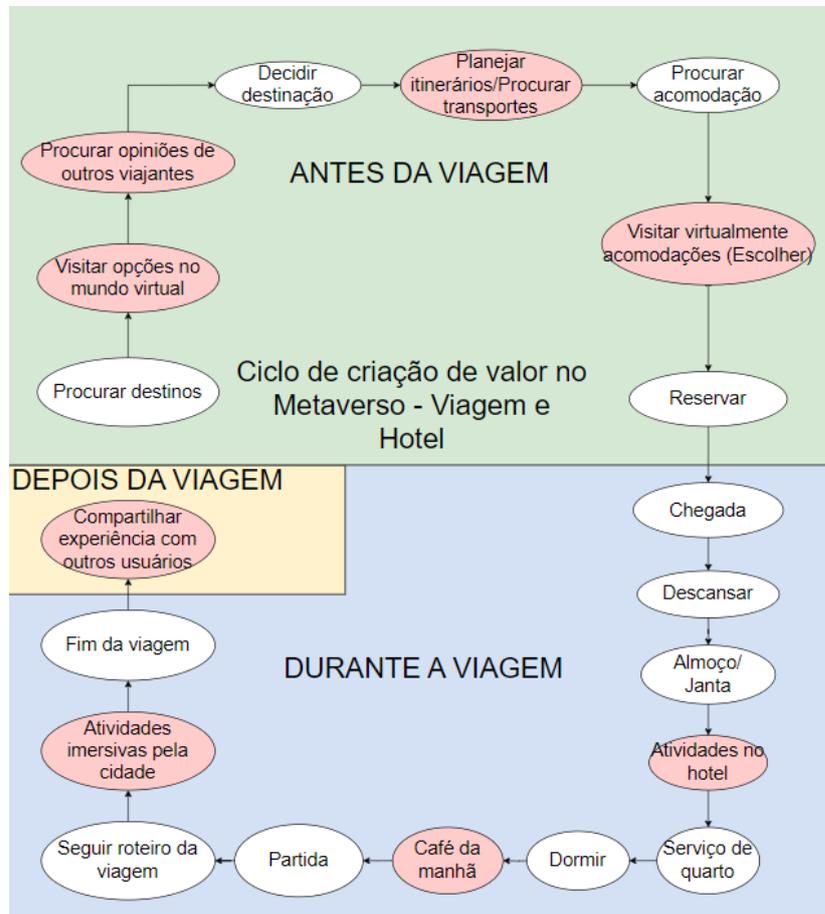


Figura 13 - Ciclo de criação de valor no Metaverso, no contexto de viagens e hotelaria

Assim, observa-se que, neste exemplo, a criação de valor para o usuário ocorre de três maneiras: a) melhorando a eficiência do planejamento da viagem, b) possibilitando os vivenciar experiências virtuais de forma realista e c) aumentando a participação do usuário em atividades que antes ele não interagira, por exemplo ao poder acompanhar o preparo da sua refeição.

3.4.2 Industrial Metaverse

Analogamente ao exemplo do hotel, pode-se compor o ciclo de criação de valor para um exemplo de *Industrial Metaverse*. Por exemplo, para realizar a instalação de uma peça, uma série de atividades são realizadas, antes, durante e depois dessa instalação. De

maneira convencional, isto é, sem a utilização do metaverso, essas atividades são divididas em três etapas: antes, durante e após a instalação.

Na etapa antes da instalação, as atividades são:

- O projeto das peças que serão instaladas, geralmente feito em softwares CAD 3D, como SolidWorks, Catia, Autodesk Inventor etc.
- Após finalização do projeto, as instruções de instalação são redigidas e enviadas aos operadores.
- Estes podem precisar passar por algum treinamento antes do trabalho, que pode envolver a mobilização geográficas de pessoas e equipamentos.

Durante a instalação, as atividades são:

- Após capacitados, os operadores podem começar a instalação do produto, tendo o documento de instruções ao lado para eventuais consultas.

E, após instalação, as atividades são:

- Com o produto instalado, tem-se início sua vida útil até que seja necessária alguma manutenção, de modo a manter seu funcionamento adequado.

Essas atividades foram dispostas no ciclo da Figura 14, composta por 6 círculos sequenciais que representam as etapas envolvidas no processo de instalação de um produto industrial. A cor verde abrange as atividades realizadas antes da instalação, a cor azul representa as atividades realizadas durante a instalação, e a cor amarela representa as atividades realizadas após a instalação.



Figura 14 - Ciclo de criação de valor na indústria

Visando incorporar aplicações do metaverso no ciclo da Figura 14, utilizou-se o exemplo da empresa do setor industrial aeroespacial, *Airbus*, apresentado por Innovation Makers Alliance (2022). A empresa vem incluindo o Metaverso durante o ciclo de produção de suas peças em três etapas: antes, durante e após a instalação.

As atividades realizadas antes da instalação das peças são:

- A realidade virtual é utilizada para projetar e melhorar o design de peças em 3D.
- A colaboração entre equipes distantes geograficamente, que podem trabalhar sobre uma mesma peça, através de hologramas gerados por realidade mista.
- Formações em realidade virtual e mista, que podem ser feitas à distância, economizando na mobilização de pessoas e equipamentos caros.

As atividades realizadas durante a instalação das peças são:

- Sobreposição de informações digitais, como instruções ou diagramas através da realidade aumentada, de modo a facilitar as tarefas complexas ou componentes de acesso difícil, além de permitir ao operador de trabalhar em modo "mãos livres", sem precisar interromper seu trabalho para consultar algum documento.

Por fim, as atividades realizadas após a instalação de peças são:

- São propostas visitas virtuais aos clientes potenciais, que lhe permitem ter uma ideia precisa do avião, através da realidade aumentada e virtual.

Essas etapas, descritas por Innovation Makers (2022) podem ser incluídas no ciclo de criação de valor na Indústria, como mostrado na Figura 15. Esta é composta por 7 círculos sequenciais, que representam as etapas envolvidas no processo de instalação de um produto industrial. A cor verde abrange as atividades realizadas antes da instalação, a cor azul representa as atividades realizadas durante a instalação, e a cor amarela representa as atividades realizadas após a instalação.

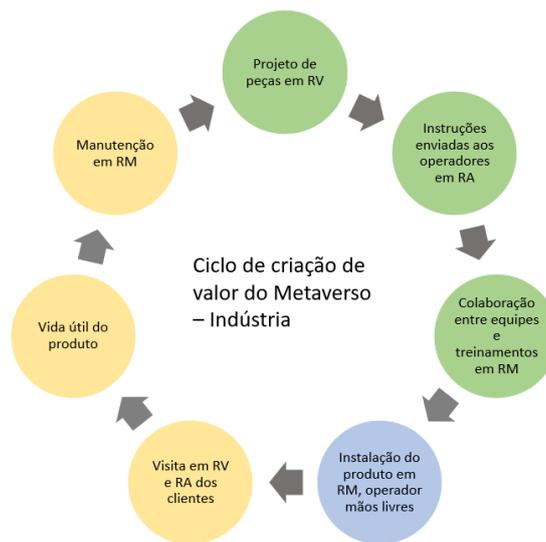


Figura 15 - Ciclo de criação de valor na indústria, utilizando o Metaverso

Dessa forma, as contribuições do Metaverso no ciclo de instalação de um produto industrial são duas: a) a imersão do usuário (operador, projetista, cliente) e b) a interação entre o usuário, as instruções, as equipes e o produto. Assim, entende-se que o Metaverso agrega valor ao ciclo, principalmente, de 3 formas: 1) ao aumentar eficiência dos operadores, ao facilitar o processo de instalação 2) ao diminuir a possibilidade de erros, ao facilitar a compreensão do projeto e instruções aos operários 3) ao aumentar a participação do cliente final, através de visitas imersivas.

3.5 PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS *FRONTSTAGE* ASSOCIADOS AO METAVERSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Baseando-se nos exemplos da hotelaria e indústria aeroespacial, pode-se criar um ciclo de criação de valor na Construção civil. Liu, Oviedo Haito e Cardoso (2013) apresentam os serviços presentes na construção em onze categorias: (Negócio; Organização / Gestão; Projeto (design); Projeto da produção; Especificações técnicas; Planejamento tático; Suprimentos; Execução; Controle e teste; Operação e Manutenção; e Desconstrução). Por questões de simplificação do ciclo, optou-se por estudar nesse projeto as etapas de Planejamento (Organização / Gestão), projeto, execução, operação e manutenção. Essas etapas foram utilizadas para a construção do ciclo apresentado na Figura 16.



Figura 16 - Ciclo de criação de valor na construção civil

Esta, é composta por 5 círculos sequenciais, representando as etapas escolhidas para o ciclo de vida de uma edificação. A cor verde abrange as atividades realizadas antes da obra a cor azul representa as atividades realizadas durante a obra, e as atividades amarelas representam as atividades realizadas após a obra.

A etapa antes da obra compreende as atividades:

- O projeto da obra pode utilizar *softwares* BIM, como *Revit*, e o planejamento pode contar com planilhas *Excel* ou *softwares* como *MS Project*, por exemplo.

- Após finalização do projeto, o memorial descritivo da obra é redigido e enviado aos responsáveis pela execução. Nele estão contidas todas as especificações de materiais e métodos construtivos que serão empregados na obra.
- Assim, os operários recebem as instruções e treinamentos necessários, que podem envolver a mobilização geográfica de pessoas e equipamentos.

Durante a obra, as atividades são:

- Após capacitados, os operários podem começar a obra, seguindo as instruções de um mestre de obras e sendo, eventualmente, acompanhados pelo engenheiro responsável pela fiscalização.

Finalmente, após a obra, as atividades são:

- Com a obra pronta, inicia-se o processo de marketing e venda da edificação.
- Posteriormente, durante o uso e ocupação da edificação, eventuais manutenções são necessárias para mantê-la em plenas condições.

Baseando-se neste ciclo e no exemplo de utilização do Metaverso pela empresa *Airbus*, exemplifica-se um possível ciclo de criação de valor pelo Metaverso na construção civil, ilustrado na Figura 17. Esta, é composta por 5 círculos sequenciais, que representam as etapas envolvidas na construção de uma edificação. A cor verde abrange as atividades realizadas antes da obra, a cor azul representa as atividades realizadas durante a obra, e a cor amarela representa as atividades realizadas após a obra. A seguir explicam-se cada uma das etapas.

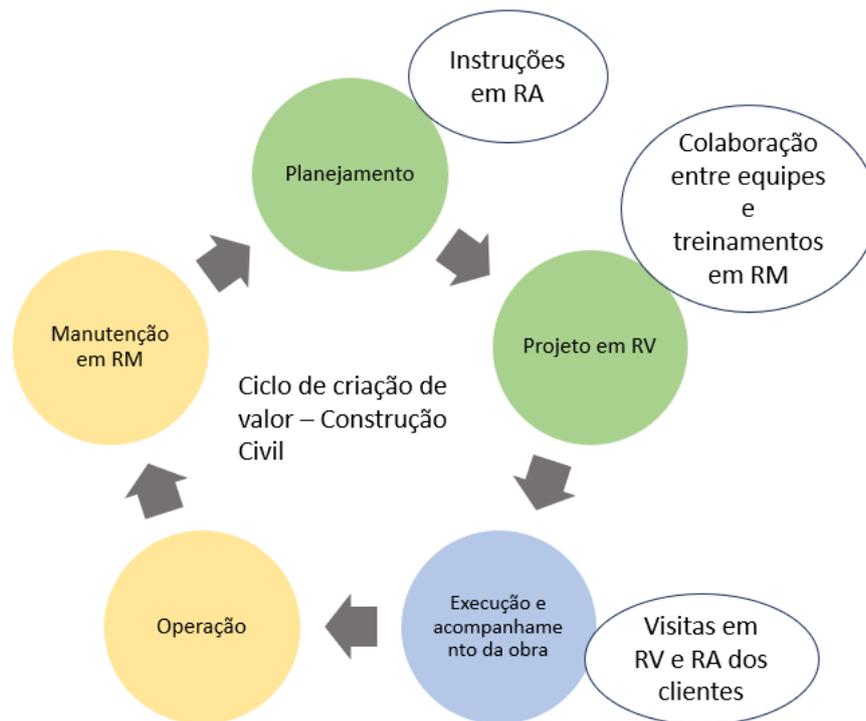


Figura 17 - Ciclo de criação de valor na construção civil, utilizando o Metaverso

As atividades antes da obra são:

- Na etapa preliminar à obra, é feito o planejamento, projetos e treinamentos das equipes envolvidas. A inserção do Metaverso nesta etapa auxilia na visualização da obra, através da realidade virtual. Por exemplo, facilitando modificações e melhorando a integração entre diferentes projetos de forma síncrona.
- Ela permite, também, testar de forma simples, segura, econômica e rápida, ideias inovantes do setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa (Nokia, 2023), como por exemplo a utilização de novos materiais, contribuindo com o avanço do setor da construção.
- Além disso, o Metaverso também pode ser utilizado para simular desastres naturais, como enchentes fortes ventos, prevendo o comportamento da edificação (Allam *et al.*, 2022).
- O memorial descritivo da obra em RA permite uma interação entre os trabalhadores e as especificações da obra, aumentando a percepção de como

deve ser o resultado final da obra, ou seja, criando obras mais precisas e com menos possibilidade de erros.

- O Metaverso pode auxiliar no treinamento e colaboração entre equipes distantes geograficamente, ou possibilitar simulações com equipamentos caros e de difícil de deslocamento, por exemplo. Assim, há uma melhor preparação dos trabalhadores, redução de deslocamentos e possibilidade de trabalhar em conjunto com pessoas situadas em diversos locais

Durante a obra, o Metaverso pode ser incorporado das seguintes maneiras:

- A sobreposição de informações digitais através da realidade aumentada, como instruções e posições exatas de instalações, facilita a tarefa dos operadores, auxiliando-os na compreensão de projetos e instruções e reduzindo a possibilidade de erros durante a construção.
- O acompanhamento das obras também é facilitado pelo Metaverso. Por exemplo, um engenheiro encarregado de acompanhar 5 obras ao mesmo tempo, conseguiria realizar de forma mais efetiva seu trabalho ao visitar todas elas de forma imersiva e em tempo real, evitando tempos de deslocamento entre as obras e permitindo lhe visitar mais vezes durante a semana.

Nas etapas após a obra, as atividades são:

- Os clientes potenciais podem visitar a edificação de forma imersiva, após a obra, ou mesmo antes, na etapa de execução, podendo acompanhar sua evolução, aumentando a interação entre o cliente e a edificação e auxiliando-o na compreensão do projeto. A construtora francesa, Vinci, por exemplo, fornece esse serviço de imersão em realidade virtual para potenciais clientes de imóveis na planta (Vinci, 2023).
- Durante a vida útil da edificação, ela pode contar com tecnologias como *internet of things*, que permitem a automatização de componentes, como janelas e iluminação, por exemplo. A presença de sensores permite a atualização do *digital twins* da edificação, e interação com os outros apartamentos de um prédio, ou com as outras casas da rua. Assim, os sensores presentes em uma escada, por exemplo, poderiam detectar a queda de um

idoso e enviar um alerta a um vizinho próximo ou a um familiar, que poderia verificar o que aconteceu. Dessa forma, a inserção do Metaverso na etapa de vida útil da edificação aumenta a interação entre o morador e a construção, através da automatização de tarefas, bem como, contribui com a segurança do imóvel e seus habitantes.

- Na etapa de manutenção, o Metaverso contribui através das tecnologias de realidade aumentada e mista, por exemplo, ao permitir a visualização de instalações embutidas numa parede. Na prática, a construtora francesa *Colas*, utiliza a RA para visualização de instalações subterrâneas de água, gás, eletricidade etc. (Innovation Makers, 2022). As redes, que já foram modelizadas virtualmente, são projetadas na sua posição exata, através de um smartphone. A Figura 18 mostra o aplicativo utilizado pela empresa.



Figura 18 - Exemplo de aplicativo de RA utilizado pela empresa Colas

Fonte: Innovation Makers (2022)

3.5.1 Síntese sobre a criação de valor do Metaverso na construção civil e discussão

3.3.4.1 Síntese

Conforme especificado no item anterior, a incorporação de tecnologias *frontstage* em diferentes etapas do ciclo de criação de valor da construção associa-se aos benefícios das tecnologias a elas atreladas. Alguns exemplos incluem:

a) Para a categoria de interação e imersão:

- Facilitação do entendimento do projeto, melhora na colaboração entre equipes, redução de custos e prazos, aumento de segurança (Allam *et al.*, 2022; Ozcan-Deniz, 2019);

b) Para a categoria de criação e modelagem:

- Eficiência e facilidade de manutenção, produtividade, redução de riscos, economia de tempo, compatibilização de projetos (Bolpagni; Bartoletti, 2021; Grosse, 2019; Salgado; Rubim; Hippert, 2020)

Dessa forma, existem múltiplas combinações de serviços e tecnologias associadas ao Metaverso que podem ser aplicadas na construção civil. A maneira de exemplo, o Quadro 3 elenca algumas possibilidades de usos do Metaverso em diferentes etapas da construção civil, associadas a tecnologias e serviços de *back* e *frontstage*. Assim, aplicações específicas para diversos agentes, internos e externos ao empreendimento (desde o cliente final, passando pelos operários, projetistas e engenheiros) podem ser incorporadas com o intuito de acessar aos benefícios acima elencados.

Em suma, os resultados obtidos revelam uma série de contribuições significativas do Metaverso em diversas fases do ciclo de vida de uma edificação, sugerindo que a incorporação do Metaverso na construção civil não apenas poderia otimizar processos, mas também promover uma experiência mais segura, interativa e personalizada para todos os envolvidos no ciclo de vida de um empreendimento. Essa integração bem-sucedida do Metaverso pode, portanto, representar um marco na evolução e servitização do setor da construção civil.

Quadro 3 - Aplicações de tecnologias do Metaverso em diferentes etapas do ciclo de uma construção

	PLANEJAMENTO E PROJETO	EXECUÇÃO	USO E OCUPAÇÃO	MANUTENÇÃO
FRONT STAGE	<ul style="list-style-type: none">  VR <ul style="list-style-type: none"> • PERMITE SIMULAÇÕES ENVOLVENDO O PROJETO, COMO DESASTRES NATURAIS, PERMITE O TREINAMENTO DE TRABALHADORES  MR <ul style="list-style-type: none"> • PROJEÇÕES HOLOGRÁFICAS DE PROJETOS OU ELEMENTOS FACILITAM VISUALIZAÇÃO E MODIFICAÇÕES  AR <ul style="list-style-type: none"> • SOBREPOSIÇÃO DE ELEMENTOS NO MUNDO REAL AUXILIAM NA VISUALIZAÇÃO DO PROJETO  BIM <ul style="list-style-type: none"> • PERMITE A MODELIZAÇÃO 3D DOS PROJETOS  DT <ul style="list-style-type: none"> • FORNECE A SINCRONICIDADE ENTRE O MODELO DIGITAL E O MUNDO REAL  GIS <ul style="list-style-type: none"> • PERMITE A INSERÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS NOS MODELOS DIGITAIS  AI <ul style="list-style-type: none"> • AUXILIA NO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÕES E PLANEJAMENTO 	<ul style="list-style-type: none">  VR <ul style="list-style-type: none"> • FACILITA O ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS PELO ENGENHEIRO RESPONSÁVEL  MR <ul style="list-style-type: none"> • PROJEÇÃO DE HOLOGRAMAS AUMENTA INTERATIVIDADE DA OBRA  AR <ul style="list-style-type: none"> • CRIAÇÃO DE UMA CAMADA VIRTUAL SOBREPOSTA AO MUNDO REAL, AUXILIANDO O TRABALHO DO OPERÁRIO 	<ul style="list-style-type: none">  VR <ul style="list-style-type: none"> • PERMITE AO CLIENTE VISITAR A EDIFICAÇÃO ANTES DE COMPRA-LA, DE FORMA IMERSIVA  MR <ul style="list-style-type: none"> • PERMITE INTERAÇÃO DO CLIENTE COM O PROJETO  AR <ul style="list-style-type: none"> • CRIAÇÃO DE UMA CAMADA VIRTUAL SOBREPOSTA AO MUNDO REAL PERMITE AO MORADOR UM CONHECIMENTO MAIS PROFUNDO DAS INSTALAÇÕES DA EDIFICAÇÃO  AI <ul style="list-style-type: none"> • AUTOMATIZAÇÃO DE TAREFAS DA CASA 	<ul style="list-style-type: none">  AR <ul style="list-style-type: none"> • CRIAÇÃO DE UMA CAMADA VIRTUAL SOBREPOSTA AO MUNDO REAL PERMITE LOCALIZAÇÃO EXATA DE INSTALAÇÕES NAS PAREDES  DT <ul style="list-style-type: none"> • ATUALIZA OS MODELOS DIGITAIS DE FORMA AUTOMÁTICA A PARTIR DAS MUDANÇAS REALIZADAS NO MUNDO FÍSICO  AI <ul style="list-style-type: none"> • AUXILIA NA TOMADA DE DECISÃO E AUTOMATIZAÇÃO DE TAREFAS
BACK STAGE	<ul style="list-style-type: none">  GNSS <ul style="list-style-type: none"> • COLETA COORDENADAS GEOGRÁFICAS QUE ALIMENTARÃO OS PROJETOS  BC <ul style="list-style-type: none"> • FORNECE SEGURANÇA AOS DADOS COLETADOS E TRANSAÇÕES REALIZADAS  CC/EC <ul style="list-style-type: none"> • CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS  5G/6G <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO DE ALTA VELOCIDADE E BAIXA LATÊNCIA, GARANTE A SINCRONICIDADE DE DADOS 	<ul style="list-style-type: none">  CC/EC <ul style="list-style-type: none"> • CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS  5G/6G <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO DE ALTA VELOCIDADE E BAIXA LATÊNCIA, GARANTE A SINCRONICIDADE DE DADOS  IOT <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO ENTRE OBJETOS NA OBRA PERMITE TRANSMISSÃO DE DADOS EM TEMPO REAL 	<ul style="list-style-type: none">  BC <ul style="list-style-type: none"> • FORNECE SEGURANÇA AOS DADOS DO MORADOR E ÀS TRANSAÇÕES REALIZADAS  CC/EC <ul style="list-style-type: none"> • CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS  5G/6G <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO DE ALTA VELOCIDADE E BAIXA LATÊNCIA GARANTE A SINCRONICIDADE DE DADOS  IOT <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO ENTRE OBJETOS NA OBRA PERMITE TRANSMISSÃO DE DADOS EM TEMPO REAL 	<ul style="list-style-type: none">  BC <ul style="list-style-type: none"> • FORNECE SEGURANÇA AOS DADOS DO MORADOR E ÀS TRANSAÇÕES REALIZADA  CC/EC <ul style="list-style-type: none"> • CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS  5G/6G <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO DE ALTA VELOCIDADE E BAIXA LATÊNCIA GARANTE A SINCRONICIDADE DE DADOS  IOT <ul style="list-style-type: none"> • CONEXÃO ENTRE OBJETOS NA OBRA PERMITE TRANSMISSÃO DE DADOS EM TEMPO REAL

3.5. PROPOSTA DE NOVA DEFINIÇÃO DO METAVERSO

Este item objetiva propor uma nova definição de Metaverso, incluindo os aspectos tratados neste trabalho, a saber:

O Metaverso pode ser entendido como o resultado de aplicações que combinam os mundos físicos e digital, para promover interações e criar uma experiência ou percepção digitalmente amplificada de um contexto a um usuário. Esta percepção baseia-se em três propriedades dominantes: imersão, interação e persistência. A participação do usuário nele pode variar desde atividades de apoio / *backstage* (p.ex., modelagem) para atividades principais / *frontstage* (p.ex., simulações), segundo o segmento alvo do Metaverso (consumidor, empresas ou indústria). Tais atividades sustentam-se no uso de tecnologias de *backstage* (por exemplo 5G, *cloud computing*, *edge computing*, GNSS, etc.), que permitem o protagonismo do usuário através de tecnologias de *frontstage* (por exemplo, realidade virtual, mista, aumentada, etc.).

Dessa forma, o uso do Metaverso tem o potencial de influenciar o ciclo de criação de valor da Construção Civil, mediante a inclusão de serviços digitais em atividades corriqueiras do setor, servitizando-as, através de aplicações vinculadas com a: Coleta de dados, cibersegurança, criação de modelos e ambientes virtuais, conexão e processamento de dados, imersão do usuário e interação no Metaverso.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho visou identificar potenciais aplicações do Metaverso na construção civil. Especificamente, estudaram-se definições e tecnologias associadas a este conceito.

Em síntese, o Metaverso pode ser entendido como o resultado de aplicações que combinam os mundos físicos e digital, para promover interações e criar uma experiência ou percepção digitalmente amplificada de um contexto a um usuário. Esta percepção baseia-se em três propriedades dominantes: imersão, interação e persistência. A participação do usuário nele pode variar desde atividades de apoio / *backstage* (p.ex., modelagem) para atividades principais / *frontstage* (p.ex., consumidor), segundo o segmento alvo do Metaverso (consumidor, empresas ou indústria). Tais atividades sustentam-se no uso de tecnologias de *backstage* (por exemplo 5G, *cloud computing*, *edge computing*, GNSS, etc.), que permitem o protagonismo do usuário através de tecnologias de *frontstage* (por exemplo, realidade virtual, mista, aumentada, etc.).

Associadas a ele identificaram-se 14 tecnologias componentes do Metaverso, classificadas em 5 grupos, de acordo com suas características. Estas foram divididas em *frontstage* e *backstage*, de acordo com a proximidade do usuário final. A classificação das tecnologias vinculadas ao Metaverso possibilitou a construção do ciclo de criação de valor do Metaverso, composto por 6 etapas, a saber: Coleta de dados, cibersegurança, criação de modelos e ambientes virtuais, conexão e processamento de dados, imersão do usuário e interação no Metaverso.

O entendimento do conceito de Metaverso possibilitou a identificação de três tipos de Metaverso: *Consumer Metaverse*, *Enterprise Metaverse* e *Industrial Metaverse*. Verificou-se que todos eles têm como característica comum os aspectos de imersão interação e persistência, mas, como cada um é voltado para um público específico, suas propriedades têm graus de importância diferente. Por exemplo, para o *Consumer Metaverse*, destacam-se os aspectos de imersão e interação. Para o *Enterprise Metaverse*, destaca-se a interação, e para o *Industrial Metaverse*, destaca-se a interação e persistência

Adicionalmente, propuseram-se cenários contendo ciclos de criação de valor relativos a atividades de *back* e *frontstage*, tanto na indústria como na construção civil. Consequentemente, concluiu-se que esta criação de valor diz respeito à imersão, interação e sincronicidade de dados, contribuindo potencialmente com a indústria da construção

civil ao promover a melhoria da produtividade dos trabalhadores, diminuição da possibilidade de erros e facilitando a comunicação entre equipes, dentre outros.

Em termos metodológicos, esta pesquisa baseia-se em uma revisão sistemática da literatura. Especificamente, os artigos analisados revelaram que pouco havia sido estudado sobre a implementação do Metaverso na indústria da construção civil. Logo, esta pesquisa visou preencher essa lacuna de conhecimento, ao mapear em que atividades o Metaverso pode ser inserido.

Em suma, os principais resultados deste trabalho são: 1) Identificação das propriedades preponderantes do Metaverso de acordo com sua finalidade; 2) Identificação das tecnologias componentes do Metaverso; 3) Identificação do ciclo de criação de valor do Metaverso; e 4) Identificação de oportunidades de aplicação do Metaverso, mediante as suas tecnologias, na construção civil.

Dessa maneira, esse trabalho contribui na identificação de oportunidades para implementação do Metaverso na construção civil.

Esse trabalho limitou-se às oportunidades e benefícios da utilização do Metaverso, não abordando as barreiras, desafios e consequências da sua adoção. Ele também limitou-se à dados provenientes de uma revisão sistemática da literatura. Em vista disso, como próximos trabalhos, sugere-se um estudo de barreiras e desafios do Metaverso na construção civil, e a coleta de dados de empresas da construção civil, buscando explicitar casos práticos de aplicação do Metaverso e podendo-se construir um panorama das empresas com relação à adoção das tecnologias que o compõem.

5. REFERÊNCIAS

ABBATE, Stefano *et al.* A first bibliometric literature review on Metaverse. *In: 2022 IEEE TECHNOLOGY AND ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE (TEMSCON EUROPE)*, 2022, Izmir, Turkey. **2022 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON EUROPE)**. Izmir, Turkey: IEEE, 2022. p. 254–260. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9802015/>. Acesso em: 2 ago. 2023.

AJIT, Gloria. A Systematic Review of Augmented Reality in STEM Education. **Studies of Applied Economics**, [s. l.], v. 39, n. 1, 2021. Disponível em: <http://ojs.ual.es/ojs/index.php/eea/article/view/4280>. Acesso em: 19 out. 2023.

AL-GHAILI, Abbas M. *et al.* A Review of Metaverse’s Definitions, Architecture, Applications, Challenges, Issues, Solutions, and Future Trends. **IEEE Access**, [s. l.], v. 10, p. 125835–125866, 2022.

ALI, Sikandar *et al.* Metaverse in Healthcare Integrated with Explainable AI and Blockchain: Enabling Immersiveness, Ensuring Trust, and Providing Patient Data Security. **Sensors**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 565, 2023.

ALLAM, Zaheer *et al.* The Metaverse as a Virtual Form of Smart Cities: Opportunities and Challenges for Environmental, Economic, and Social Sustainability in Urban Futures. **Smart Cities**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 771–801, 2022.

ARMSTRONG, Geno; GILGE, Clay. **Make it, or break it: Reimagining governance, people and technology in the construction industry**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://advisory.kpmg.us/articles/2017/make-it-or-break-it.html>. .

ATTIG, Christiane *et al.* System Latency Guidelines Then and Now – Is Zero Latency Really Considered Necessary?. *In:* , 2017, Cham. (Don Harris, Org.)**Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Cognition and Design**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 3–14.

AYODELE, Olabode Adekunle; CHANG-RICHARDS, Alice; GONZÁLEZ, Vicente. Factors Affecting Workforce Turnover in the Construction Sector: A Systematic Review. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 146, n. 2, p. 03119010, 2020.

BALE, Ajay Sudhir *et al.* A Comprehensive Study on Metaverse and Its Impacts on Humans. **Advances in Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 2022, p. 1–11, 2022.

BARBOSA, F *et al.* **Reinventing construction: A route to higher productivity**. [S. l.]: McKinsey Global Institute, 2017.

BARTNECK, Christoph *et al.* **An Introduction to Ethics in Robotics and AI**. Cham: Springer International Publishing, 2021. (SpringerBriefs in Ethics). Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-51110-4>. Acesso em: 3 nov. 2023.

BETIATTO, Pâmela. Perfil de inovação dos serviços ofertados por Construtechs brasileiras. [s. l.], 2021.

BOLPAGNI, Marzia; BARTOLETTI, Ivana. Artificial Intelligence in the Construction Industry: Adoption, Benefits and Risks. [s. l.], 2021.

BONATO, P. Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 18–20, 2003.

BRITO, Jéssica Tamires Silva; CARDOSO, Francisco Ferreira; OVIEDO-HAITO, Ricardo Juan José. Componentes de serviço vinculados com tecnologias da construção 4.0. In: , 2021, Maceió, AL, Brazil. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO**. Maceió, AL, Brazil: ENTAC, 2021. p. 1–8. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/445>. Acesso em: 25 out. 2021.

BRYMAN, Alan. **Social research methods**. 4th eded. Oxford; New York: Oxford University Press, 2012.

BÜEHLER, Michael Max; KOSTA, Isidora. **Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: : <https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-inspiring-innovators-redefine-the-industry/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

BUHALIS, Dimitrios; LIN, Michael S.; LEUNG, Daniel. Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: implications for hospitality and tourism management and marketing. **International Journal of Contemporary Hospitality Management**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 701–716, 2023.

CAMBRIGDE, Dictionary. **Interaction**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/interaction>. Acesso em: 4 nov. 2023.

CBIC. CBIC revisa projeção de crescimento e construção deve crescer 1,5% em 2023. In: CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. 31 jul. 2023. Disponível em: <https://cbic.org.br/cbic-revisa-projecao-de-crescimento-e-construcao-deve-crescer-15-em-2023/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

CHEN, Zhisheng. Exploring the application scenarios and issues facing Metaverse technology in education. **Interactive Learning Environments**, [s. l.], p. 1–13, 2022.

CHENG, Ruizhi *et al.* Will Metaverse Be NextG Internet? Vision, Hype, and Reality. **IEEE Network**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 197–204, 2022.

CHOWDHURY, Mostafa Zaman *et al.* The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 20, p. 4367, 2019.

COLQUHOUN, Heather L. *et al.* Scoping reviews: time for clarity in definition, methods, and reporting. **Journal of Clinical Epidemiology**, [s. l.], v. 67, n. 12, p. 1291–1294, 2014.

CUI, Yu; IDOTA, Hiroki; OTA, Masaharu. Reforming Supply Chain Systems in Metaverse. *In*: MISNC2022: THE 9TH MULTIDISCIPLINARY INTERNATIONAL SOCIAL NETWORKS CONFERENCE, 2022, Matsuyama Japan. **The 9th Multidisciplinary International Social Networks Conference**. Matsuyama Japan: ACM, 2022. p. 39–43. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3561278.3561289>. Acesso em: 2 ago. 2023.

DARKO, Amos *et al.* Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 112, p. 103081, 2020.

EGEA-ROCA, Daniel *et al.* GNSS User Technology: State-of-the-Art and Future Trends. **IEEE Access**, [s. l.], v. 10, p. 39939–39968, 2022.

ERRANDONEA, Itxaro; BELTRÁN, Sergio; ARRIZABALAGA, Saioa. Digital Twin for maintenance: A literature review. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 123, p. 103316, 2020.

FRANK, Alejandro G. *et al.* Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 141, p. 341–351, 2019.

FU, Yuchuan *et al.* A Survey of Blockchain and Intelligent Networking for the Metaverse. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 3587–3610, 2023.

GOULDING, Jack *et al.* Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 103–116, 2012.

GROSSE, Christian U. Monitoring and Inspection Techniques Supporting a Digital Twin Concept in Civil Engineering. [s. l.], 2019.

GUTTENTAG, Daniel A. Virtual reality: Applications and implications for tourism. **Tourism Management**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 637–651, 2010.

HEGARTY, C.J.; CHATRE, E. Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS). **Proceedings of the IEEE**, [s. l.], v. 96, n. 12, p. 1902–1917, 2008.

HUANG, Huakun *et al.* Fusion of Building Information Modeling and Blockchain for Metaverse: A Survey. **IEEE Open Journal of the Computer Society**, [s. l.], v. 3, p. 195–207, 2022.

HUDSON, Sarah *et al.* With or without you? Interaction and immersion in a virtual reality experience. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 100, p. 459–468, 2019.

INNOVATION MAKERS ALLIANCE. **Exploration dans les métavers et le Web3**. [S. l.: s. n.], 2022.

JOHNSTON, Robert *et al.* **Service Operations Management: Improving Service Delivery**. 5th editioned. Harlow, England ; New York: Pearson, 2020.

KANG, Mengzhen *et al.* The Development of AgriVerse: Past, Present, and Future. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, [s. l.], v. 53, n. 6, p. 3718–3727, 2023.

KHAN, Wazir Zada *et al.* Edge computing: A survey. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 97, p. 219–235, 2019.

KIM, Won. Cloud Computing: Today and Tomorrow. **CLOUD COMPUTING**, [s. l.], v. 8, n. 1, 2009.

KIM, Sung-Keun; RUSSELL, Jeffrey S. Framework for an intelligent earthwork system Part I. System architecture. **Automation in Construction**, [s. l.], 2003.

KOHTAMÄKI, Marko *et al.* Digital servitization business models in ecosystems: A theory of the firm. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 104, p. 380–392, 2019a.

KOHTAMÄKI, Marko *et al.* Digital servitization business models in ecosystems: A theory of the firm. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 104, p. 380–392, 2019b.

LENKA, Sambit; PARIDA, Vinit; WINCENT, Joakim. Digitalization Capabilities as Enablers of Value Co-Creation in Servitizing Firms. **Psychology & Marketing**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 92–100, 2017.

LI, J. *et al.* A Proposed Approach Integrating DLT, BIM, IoT and Smart Contracts: Demonstration Using a Simulated Installation Task. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART INFRASTRUCTURE AND CONSTRUCTION 2019 (ICSIC)*, 2019, Cambridge, UK. **International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC)**. Cambridge, UK: ICE Publishing, 2019. p. 275–282. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/icsic.64669.275>. Acesso em: 6 ago. 2023.

LIN, Feng-Tse; SHIH, Teng-San. CLOUD COMPUTING: THE EMERGING COMPUTING TECHNOLOGY. **PART B**, [s. l.], 2010.

LITTLE, Arthur.P. **The Industrial Metaverse**. [S. l.: s. n.], 2023.

LIU, Kunhua *et al.* MetaMining: Mining in the Metaverse. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, [s. l.], v. 53, n. 6, p. 3858–3867, 2023.

LIU, Jennifer; OVIEDO HAITO, Ricardo; CARDOSO, Francisco. Classificação do serviço em empresas de execução de serviço de obra. *In:* , 2013. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2013.

LOPES, Livia; GRANJA, Ariovaldo; PICCHI, Flávio. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA. [s. l.], 2020.

LV, Zhihan; SHANG, Wen-Long; GUIZANI, Mohsen. Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities: History, Current Situation, and Application Perspectives. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 24, p. 12820, 2022.

METAVEVERSE ROADMAP. **A Cross-Industry Public Foresight Project**. [S. l.: s. n.], 2007.

MORANDÍN-AHUERMA, Fabio. What is Artificial Intelligence. [s. l.], v. 3, n. 12, 2022.

MORIMOTO, Tadatsugu *et al.* XR (Extended Reality: Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality) Technology in Spine Medicine: Status Quo and Quo Vadis. **Journal of Clinical Medicine**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 470, 2022.

MUKHOPADHYAY, Subhas Chandra. Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review. **IEEE Sensors Journal**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 1321–1330, 2015.

MUÑOZ-LA RIVERA, F. *et al.* Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. **Archives of Computational Methods in Engineering**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 689–711, 2021.

MYSTAKIDIS, Stylianos. Metaverse. **Encyclopedia**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 486–497, 2022.

NOKIA. **The metaverse at work**. [S. l.: s. n.], 2023.

NOWOTARSKI, Piotr; PASLAWSKI, Jerzy. Industry 4.0 Concept Introduction into Construction SMEs. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 245, p. 052043, 2017.

OKOLI, Chitu; SCHABRAM, Kira. A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. **SSRN Electronic Journal**, [s. l.], 2010. Disponível em: <http://www.ssrn.com/abstract=1954824>. Acesso em: 2 ago. 2023.

OVIDEO-HAITO, Ricardo Juan José; MORATTI, Tathyana; CARDOSO, Francisco Ferreira. Desafios da gestão da produção na construção 4.0. *In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO*, 2019, Londrina, Brasil. **Anais [...]**. Londrina, Brasil: [s. n.], 2019. p. 1–13. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/28>. Acesso em: 23 nov. 2023.

OZCAN-DENIZ, Gulbin. Expanding applications of virtual reality in construction industry: A multiple case study approach. **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**, [s. l.], v. 2, p. 48–66, 2019.

PASCHOU, Theoni *et al.* Towards Service 4.0: a new framework and research priorities. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 73, 10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, IPS2 2018, 29-31 May 2018, Linköping, Sweden, p. 148–154, 2018.

PETERS, Micah D.J. *et al.* Guidance for conducting systematic scoping reviews. **International Journal of Evidence-Based Healthcare**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 141–146, 2015.

POKU, Stephen E.; ARDITI, David. Construction Scheduling and Progress Control Using Geographical Information Systems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 351–360, 2006.

POOYANDEH, Mitra; HAN, Ki-Jin; SOHN, Insoo. Cybersecurity in the AI-Based Metaverse: A Survey. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 24, p. 12993, 2022.

RAINIE, Janna Anderson and Lee. The Metaverse in 2040. *In: PEW RESEARCH CENTER: INTERNET, SCIENCE & TECH.* 30 jun. 2022. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/internet/2022/06/30/the-metaverse-in-2040/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

RELYON, Nutec. **360 tecnologia | Artigos | RelyOn Nutec**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://relyonnutec.com/pt/artigos/2018/11/nova-tecnologia-360-inserida-para-dar-suporte-ao-treinamento-de-seguranca/>. Acesso em: 1 nov. 2023.

ROSEN, Roland *et al.* About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 567–572, 2015.

SALAHADINE, Fatima; HAN, Tao; ZHANG, Ning. 5G, 6G, and Beyond: Recent advances and future challenges. **Annals of Telecommunications**, [s. l.], v. 78, n. 9–10, p. 525–549, 2023.

SALGADO, Bruno Penchel; RUBIM, Diana Fiori; HIPPERT, Maria Aparecida S. A contribuição do BIM para gestão de facilities na construção civil / BIM contribution to facilities management in civil construction. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 10, p. 80750–80760, 2020.

SAN, Kiu Mee; CHOY, Chia Fah; FUNG, Wong Phui. The Potentials and Impacts of Blockchain Technology in Construction Industry: A Literature Review. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 495, p. 012005, 2019.

SAWHNEY, Anil; RILEY, Michael; IRIZARRY, Javier. **Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment**. [S. l.]: Routledge, 2020. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429398100>. Acesso em: 9 jul. 2020.

SEEMMA, P.S.; NANDHINI, S.; SOWMIYA, M. Overview of Cyber Security. **IJARCCCE**, [s. l.], v. 7, n. 11, p. 125–128, 2018.

SHI, Weisong *et al.* Edge Computing: Vision and Challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 3, n. 5, p. 637–646, 2016.

STEPHENSON, Neal; FERNANDES, Fábio. **Snow Crash**. 2ª edição. [S. l.]: Editora Aleph, 2015.

SUN, Jiayi *et al.* **Metaverse: Survey, Applications, Security, and Opportunities**. [S. l.]: arXiv, 2022. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2210.07990>. Acesso em: 19 out. 2023.

TEBOUL, James. **Service is front stage: positioning services for value advantage**. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2008.

VENDRELL-HERRERO, Ferran *et al.* Servitization, digitization and supply chain interdependency. **Industrial Marketing Management**, [s. l.], v. 60, p. 69–81, 2017.

VIDYA, Mrs. A Review Paper on Non–Fungible Tokens (NFT). **Communication and Technology**, [s. l.], v. 2, n. 2, 2022.

VILUTIENE, Tatjana *et al.* Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the Literature. **Advances in Civil Engineering**, [s. l.], v. 2019, p. 1–19, 2019.

VINCI. **Configurateur Vinci**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://configurateur.vinci-immobilier.com/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

VOM BROCKE, Jack *et al.* RECONSTRUCTING THE GIANT: ON THE IMPORTANCE OF RIGOUR IN DOCUMENTING THE LITERATURE SEARCH PROCESS. [s. l.], 2009.

WANG, Yuntao *et al.* **A Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy**. [S. l.: s. n.], 2022. preprint. Disponível em: https://www.techrxiv.org/articles/preprint/A_Survey_on_Metaverse_Fundamentals_Security_and_Privacy/19255058/3. Acesso em: 2 ago. 2023.

WANG, Jie; MEDVEGY, Gabriella. Exploration the Future of the Metaverse and Smart Cities. [s. l.], 2022.

WONG, Kwok Chuen; SUN, Yan Edgar; KUMTA, Shekhar Madhukar. Review and Future/Potential Application of Mixed Reality Technology in Orthopaedic Oncology. **Orthopedic Research and Reviews**, [s. l.], v. Volume 14, p. 169–186, 2022.

ZABIDIN, Nadia Safura; BELAYUTHAM, Sheila; IBRAHIM, Che Khairil Izam Che. A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 25, n. 17, p. 287–307, 2020.

ZAINAB, Hijab E. *et al.* Virtual Dimension—A Primer to Metaverse. **IT Professional**, [s. l.], v. 24, n. 6, p. 27–33, 2022.

ZIMMERMANN, Joana; OVIEDO-HAITO, Ricardo Juan José. Fontes internas de vantagem competitiva vinculadas com a Construção 4.0 em empresas de construção. *In:* , 2022. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. [S. l.: s. n.], 2022. p. 1–13. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1979>. Acesso em: 7 dez. 2022.

6. APÊNDICES

6.1 EXTRATO DE PLANILHA DE TRIAGEM DE DADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Authors	Title	Year	Year1: Ano>2	idioma do arti	contém a pa	sem metaver	ão com algu	unta de peso	contém a pi	a palavra	io é releva
Xin G., Fan P.	Robust, pract	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
López-Ojeda	The Medical	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A
Buhalis D., Le	Metaverse as	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Weking J., De	Metaverse-e	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Naderi H., Sh	Digital twins	2023	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A
Chen J., Xiao	A blockchain	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Zheng G., Yus	A review of Q	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Vondráček M	Rise of the M	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Hussain M., F	THE IMPORTA	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ahuja A.S., P	The Digital M	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Zhang T., She	Multi-server	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Branca G., Ra	Virtual is so r	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Suk H., Laine	Influence of A	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Kliestik T., Na	Global Value	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Zhao N., Zha	Emerging info	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Park J., Kim J	DNN-Based F	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Agustini K., P	Applying Gan	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Han M., Wan	Social rather	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Tran N.C., W	Anti-aliasing	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Buhalis D., Li	Metaverse as	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Chen G., Hua	Deep blue ar	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Curtis C., Bro	Health care in	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A
Liu X., Chen Y	Blockchain-ba	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Cao J., Lam K	Mobile Augm	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Tu X., Autios	TwinXR: Met	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Gao Y., Lu Y.	Metaverse, th	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Shahbaz Bad	An empirical	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Pirbhai N.F.	Taking the Bu	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Maier M.	6G and Orwa	2023	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Dubey A., Bh	AI for Immer	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Crespo-Perel	Facing the ch	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	SIM	N/A	N/A	N/A
Kozinets R.V.	Immersive ne	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Cha H.-S., im	Improvement	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Koohang A.,	Shaping the f	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Zhu C., Wu D	Exploring nor	2023	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Xu M., Guo Y	A trustless ar	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Liu K., Chan	MetatMining	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Tao B., Dai H	Structural Ide	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Morimoto Y.	Optically Tran	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Hsu H.-M., G	Introduction	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Gu J., Wang J	A Metaverse	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Kang M., Wa	The Developm	2023	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Guo C., Dou	ArtVerse: A P	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Zhang H., Ma	Location-Dep	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Zhang S., Lim	Towards Gree	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Checucci E.,	The future of	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Qi Y., Zou Y.	The Avatar-Pr	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Dreamson N.	Metaverse-B	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Hastuti T.D.,	The Readines	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Chow Y.-W.,	Visualization	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	SIM	N/A	N/A	N/A
Ali S., Abdull	Metaverse in	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	SIM	N/A	N/A	N/A
Lee Y., Jung	Comparative	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Battal A., Tag	The Use of Vi	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Seo S., Seok	Digital forens	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM
Yücel Ş.	Which Groun	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Turchet L.	Musical Meta	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Hsueh C.-W.	Toward Trust	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Jauhainen J.	Metaverse ar	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Khalaj D., Jan	Metaverse ar	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Zhang H., Lei	A Survey on E	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Wanick V., St	Brand Storyt	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Arpaç I., Bal	Investigating	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Ricoy-Casas	The Metaver	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Cai Y., Ulorca	Decentralized	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
[No author n	1st ACIS Inter	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Gim G., Bae	The Effect of	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Hao J., Kim D	Examining Pa	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Giang Barner	Marketing in	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Huynh-The T.	Artificial intel	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO
Gonsheer I., R	Designing the	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Kerdvibuluec	A New Metax	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A
Franco A.A.,	From Battery	2023	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A
Kavouras I., S	Effectiveness	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mathur M., B	A brief note c	2023	SIM	SIM	NÃO	NÃO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A