



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Marina Sacchetto Ribeiro Bastos**

**O USO DO BIM 4D PARA O PROCESSO DE  
PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS: UMA REVISÃO  
SISTEMÁTICA DA LITERATURA ENTRE OS ANOS DE 2020  
E 2022**

Ouro Preto

2023

O uso do BIM 4D no processo de planejamento e controle de obras: uma  
revisão sistemática da literatura entre os anos de 2020 a 2022.

Marina Sacchetto Ribeiro Bastos

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para  
obtenção do Grau de Engenheiro  
Civil na Universidade Federal de  
Ouro Preto.

Data da aprovação: 13/02/2023

Área de concentração: Planejamento e controle de obras

Orientador: Prof. D.Sc Guilherme Jorge Brigolini Silva - UFOP

Orientador: Eng. M.Sc Aldo Ribeiro de Carvalho

Ouro Preto

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B327o Bastos, Marina Sacchetto Ribeiro.

O uso do BIM 4D no processo de planejamento e controle de obras [manuscrito]: uma revisão sistemática da literatura entre os anos de 2020 a 2022. / Marina Sacchetto Ribeiro Bastos. - 2023.

54 f.: il.: , gráf., tab..

Orientadores: Me. Aldo Ribeiro de Carvalho, Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva Silva.

Coorientador:

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Modelagem de Informação da Construção. 2. Building Information Modeling (BIM) - BIM 4D. 3. Planejamento. 4. Engenharia civil - Controle de Obras. I. Carvalho, Aldo Ribeiro de. II. Silva, Guilherme Jorge Brigolini Silva. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Marina Sacchetto Ribeiro Bastos

O uso do BIM 4D no processo de planejamento e controle de obras: uma revisão sistemática da literatura entre os anos de 2020 e 2022

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 28 de fevereiro de 2023

### Membros da banca

D.Sc. Guilherme Jorge Brigolini Silva Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
M.Sc. Aldo Ribeiro de Carvalho - Universidade Federal de Ouro Preto  
M.Sc. Danielle Rios Garcia - Universidade Federal de Juiz de Fora  
Eng. Romário Parreira Pita

Guilherme Jorge Brigolini Silva Orientador, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Jorge Brigolini Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/03/2023, às 12:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0483602** e o código CRC **C428A476**.

*Dedico esse trabalho a todos aqueles que estiveram ao meu lado, tornando a caminhada mais leve até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais por me proporcionarem estar onde estou.

Ao M. Sc. Aldo Ribeiro de Carvalho pelas contribuições, comprometimento e dedicação como orientador.

Ao Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva pelo apoio e acolhida no desenvolvimento deste estudo.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, com a minha formação.

## RESUMO

A implementação do *Building Information Modeling* (BIM) nos processos de planejamento e controle de obras vem promovendo ganhos significativos no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). A utilização de modelos 4D no planejamento de obras pode promover redução de prazos de cronograma, além de aperfeiçoar os processos de gestão e segurança, e melhorar a comunicação entre as equipes de trabalho. No entanto, apesar do crescente incentivo à adoção da tecnologia, ainda há um longo caminho até que sua difusão se concrete mundialmente. Com o objetivo de investigar a implementação do BIM 4D no planejamento e controle de obras, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, com estudos publicados entre os anos de 2020 e 2022. Os bancos de dados adotados foram *Science Direct*, Periódicos Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *Scopus*, Google Acadêmico e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Por sua vez, os termos de busca utilizados foram “BIM 4D” e “*planning*” ou “*construction*”, contidos pelo menos no título. Como resultado, encontrou-se 29 estudos que foram discriminados e analisados. Assim, constatou-se que o BIM 4D melhora a segurança no ambiente de trabalho; possibilita a melhor compreensão das informações logísticas e de eficiência no planejamento da disposição do layout do canteiro. Além disso, a aplicação do BIM 4D reduz prazos e custos, aprimora a gestão de recursos e auxilia o processo construtivo. Por fim, salienta-se que o mundo está em constante mudança e avanços tecnológicos, sobretudo nos últimos anos. Dessa forma, é essencial o reconhecimento do BIM como um dos caminhos para o desenvolvimento sustentável da indústria AEC.

Palavras-chaves: BIM, BIM 4D, Modelagem da Informação da Construção, Planejamento e Controle de Obras.

## **ABSTRACT**

The implementation of Building Information Modeling (BIM) in the processes of construction planning and control has been promoting increasing benefits in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector. The use of 4D models in the construction planning can promote the reduction of schedules deadlines, in addition to improve management and security processes, and improving the communication between work teams. Despite the growing incentive to adopt this technology, there is still a long way to go until its diffusion consolidates. The objective of the present study is to investigate the implementation of 4D BIM in the construction planning and control. A systematic review of the literature was developed out, with studies published between the years 2020 and 2022. The databases adopted were Science Direct, Periodicals Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), Scopus, Google Scholar and Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD). In turn, the search terms used were “BIM 4D” and “planning” or “construction”, contained at least in the title. As a result, 29 studies were found that were discriminated and analyzed. Thus, it was found that BIM 4D improves safety in the work environment; enables a better understanding of logistical and efficiency information in planning the layout of the construction site. In addition, the application of BIM 4D reduces deadlines and costs, improves resource management and helps the construction process. To conclude, it should be noted that the world is in constant change and technological advances, especially in recent years. Along these lines, it is essential to recognize BIM as one of the paths for the sustainable development of the AEC industry.

Keywords: BIM, BIM 4D, Building Information Modeling, planning and control.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de cronogramas gráficos de barra. Fonte: Autor (2023). ....	5
Figura 2 - Ilustração sequenciamento de atividades em BIM 4D. Disponível em <a href="https://bexelmanager.com/4d-bim/">https://bexelmanager.com/4d-bim/</a> . Acesso em 20 de fev. de 2023. ....	5
Figura 3 – Adaptada de Randolph (2009). Fonte: Autor (2022). ....	7
Figura 4 – Gráfico do número de estudos por temática. Fonte: Autor (2022). ....	17
Figura 5 – Gráfico do número de publicações por ano. Fonte: Autor (2022). ....	18
Figura 6 - Gráfico do número de publicações por país de origem. Fonte: Autor (2022). ....	18

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temáticas de gestão inspiradas em critérios do PMBOK. Fonte: adaptado do PMI (2021).....	8
Tabela 2 - Amostra inicial de publicações por base de dados. Fonte: Autor (2022). .....	11
Tabela 3 - Aplicação de filtros da RSL. Fonte: Autor (2022).....	12
Tabela 4 - Relação dos estudos selecionados. Fonte: Autor (2022).....	13

## LISTA DE SIGLAS

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BDTD – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações

BIM – *Building Information Modeling* (Modelagem da Informação da Construção)

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

EDM – *Earned Duration Management*

IFC – *Industry Foundation Classes*

PCO – Planejamento e Controle de Obras

PMBOK – *Project Management Body of Knowledge* (Guia de Conhecimento em Gerenciamento de Projeto)

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
1.1 Objetivo .....	3
1.1.1 Objetivos Específicos .....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 Building Information Modeling (BIM) .....	4
2.2 Interoperabilidade .....	4
2.3 Industry Foundation Classes .....	4
2.4 Planejamento e controle de obras .....	5
2.4.1 PMBOK .....	6
2.4.2 <i>Stakeholders</i> .....	6
3 Metodologia.....	7
4 Resultados .....	17
4.1 Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística .....	19
4.2 Gestão da Produção .....	19
4.3 Ensino de Gestão da Construção .....	22
4.4 Gestão Sustentável nas Empresas e no Canteiro de Obras .....	23
4.5 Gestão do Conhecimento e da Informação .....	24
4.6 Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas à Gestão da Construção .....	24
4.7 Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho .....	26

4.8	Gestão da Manutenção e de Operações .....	28
4.9	Gestão da Inovação .....	29
5	Conclusão .....	34
	Referências.....	36

# 1. INTRODUÇÃO

*Building Information Modeling (BIM)* é uma tecnologia de modelagem associada a conjuntos de informações que permitem a criação, utilização e atualização de modelos de construção durante todo seu ciclo de vida (EASTMAN *et al.*, 2008). Os autores dizem que, quando implementado de forma acurada, o BIM pode desenvolver processos construtivos que resultam em edificações de melhor qualidade, com redução do preço e tempo de projeto.

O BIM permite a criação de modelos multidimensionais (LESTER, 2014). Ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento do BIM expandiu para além da capacidade da modelagem 3D (KOUTAMANIS, 2020). Segundo o autor, ferramentas de planejamento de obras incluindo tempo foram adicionadas aos modelos 4D; orçamento e análise de custos, aos modelos 5D; avaliação da sustentabilidade, aos modelos 6D. E, finalmente, informações de gestão e manutenção de projetos compõe o BIM 7D (KOUTAMANIS, 2020).

Succar (2018) defende que há inúmeros países caminhando para implantação do BIM, reconhecidos seus benefícios. Ainda segundo o autor, apesar dos países escandinavos terem sido os pioneiros na implementação da tecnologia, Reino Unido, Estados Unidos, Alemanha, França e China também vêm se destacando no desenvolvimento de estratégias para adoção dessa inovação.

Diante desse aspecto, se faz necessário identificar o BIM no âmbito nacional. Para isso, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2022), em parceria com Grant Thornton e Sienge, realizou uma pesquisa de mapeamento acerca da maturidade do BIM no Brasil em 2020. O estudo teve como objetivo monitorar o andamento da adoção da metodologia pelas construtoras brasileiras, indicando que 38,4% de um total de mais de 640 empresas participantes já utilizava a tecnologia, enquanto 70% afirmou pretensão de implementá-la em até dois anos (UCM/ABDI, 2022).

Apesar dos avanços dos últimos anos na adoção e difusão de novas tecnologias no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), ainda há um longo caminho

até que se alcance grande maturidade (ABDI, 2022). Nesse sentido, diversos esforços têm sido realizados para a ampliação do uso do BIM no Brasil. Em 22 de agosto de 2019 o governo brasileiro publicou o Decreto nº 9.983, instituindo a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* – Estratégia BIM BR, a fim de promover e difundir o BIM como tema prioritário no país (BRASIL, 2019).

Em janeiro de 2021, tornou-se obrigatório, no Brasil, o uso do BIM na elaboração de modelos arquitetônicos e de engenharia referentes a construções novas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para disseminação do BIM (BRASIL, 2018). A partir do ano de 2024, deve-se incluir a orçamentação e o planejamento de obras à aplicação do BIM no país (BRASIL, 2018). E a partir de 2028, serão inclusos os serviços de gerenciamento e manutenção do empreendimento após sua construção (BRASIL, 2018).

Soma-se ao exposto que o cenário atual de alta competitividade, globalização de mercados, avanços tecnológicos e reduzida disponibilidade de recursos, o investimento em planejamento e controle de obras vem sendo priorizado (MATTOS, 2010). O autor defende que, com a adoção dessa sistemática gerencial, os empreendimentos mantêm foco em seus principais indicadores de prazos, custos, lucros e fluxo de caixa.

Ademais, o BIM desponta em sua metodologia e ferramentas a melhoria da comunicação entre os profissionais envolvidos, visto que podem alterar simultaneamente o mesmo modelo e prever erros de compatibilidade (EASTMAN, TEICHOLZ, *et al.*, 2008). Outra característica singular se dá pela interoperabilidade dos softwares BIM, sendo esta definida como a capacidade de diversos sistemas trabalharem em conjunto, garantindo trocas de informações de forma eficaz e eficiente (SUCCAR, 2008). Nesse contexto, surgiu o *Industry Foundation Classes* (IFC), como padrão internacional de dados entre os softwares BIM (ISO 16739-1, 2018).

Posto que a adoção do BIM vem sendo reconhecida por muitos governos como uma prática eficaz para aprimorar a eficiência de projetos, seu uso progressivo destaca oportunidades para utilização dos novos recursos e torna-se importante área de pesquisa (CHAREF, 2022). Precedido o crescente número de estudos sobre a

aplicação da metodologia em diferentes áreas, o presente trabalho, cujo caráter é acadêmico, identifica aqueles voltados para o uso do BIM 4D no processo de planejamento e controle de obras civis através de uma revisão sistemática da literatura.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo geral do presente trabalho é investigar o impacto do BIM 4D no processo de planejamento e controle de obras entre os anos de 2020 e 2022, por meio de uma revisão sistemática da literatura.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Análise bibliométrica dos estudos realizados sobre BIM 4D e o planejamento e controle de obras.
- Identificar quais os estudos publicados abordando a utilização do BIM 4D no planejamento e controle de obras entre os anos de 2020 e 2022.
- Avaliar as aplicações do BIM 4D junto ao planejamento e controle de obras, identificando suas vantagens e desvantagens.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O presente capítulo tem por objetivo contextualizar e abordar alguns conceitos relevantes para compreensão do desenvolvimento deste trabalho e de seus resultados.

### **2.1 Building Information Modeling (BIM)**

O National BIM Standard (NBIMS, 2007) define o BIM como uma representação digital de características físicas e funcionais de um empreendimento. Segundo Eastman et al. (2008, p. 15), o BIM pode ser definido como uma “metodologia de modelagem e um grupo associado de processos para comunicação e análise do modelo a ser construído”. Ou seja, o conceito de BIM relaciona a modelagem 3D aos processos produtivos relacionados à execução de obras civis.

### **2.2 Interoperabilidade**

O conceito de interoperabilidade pode ser descrito como a capacidade de diversos sistemas operarem de forma integrada, sendo um parâmetro fundamental para o desenvolvimento da boa gestão do ciclo de vida da edificação. Dessa forma, o fluxo de informações e a automação dos processos são facilitados (AZEVEDO, 2009). A fim de garantir a interoperabilidade dos projetos desenvolvidos em BIM, o principal sistema de informação utilizado é o IFC (Industry Foundation Classes).

### **2.3 Industry Foundation Classes**

Segundo Calvert (2013), Industry Foundation Classes são padrões utilizados para o compartilhamento de informações da indústria construtiva. Segundo o autor, esse formato de arquivo facilita a interoperabilidade na indústria AEC, uma vez que suas informações são consumidas por todos os softwares BIM.

## 2.4 Planejamento e controle de obras

Para Mattos (2010), a indústria da construção tem sido um dos ramos produtivos que mais vêm sofrendo mais alterações nos últimos anos. O autor defende que este cenário incentiva o mercado a investir em novas metodologias, a fim de se obter melhorias em prazos, custos, perdas e lucros.

Para Koo e Fisher (1998) o método do caminho crítico e cronogramas gráficos de barras oferecem informações abstratas sobre o planejamento.

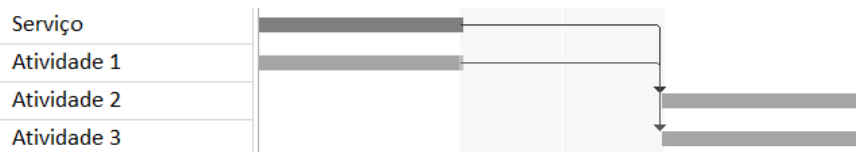


Figura 1 - Ilustração de cronogramas gráficos de barra. Fonte: Autor (2023).

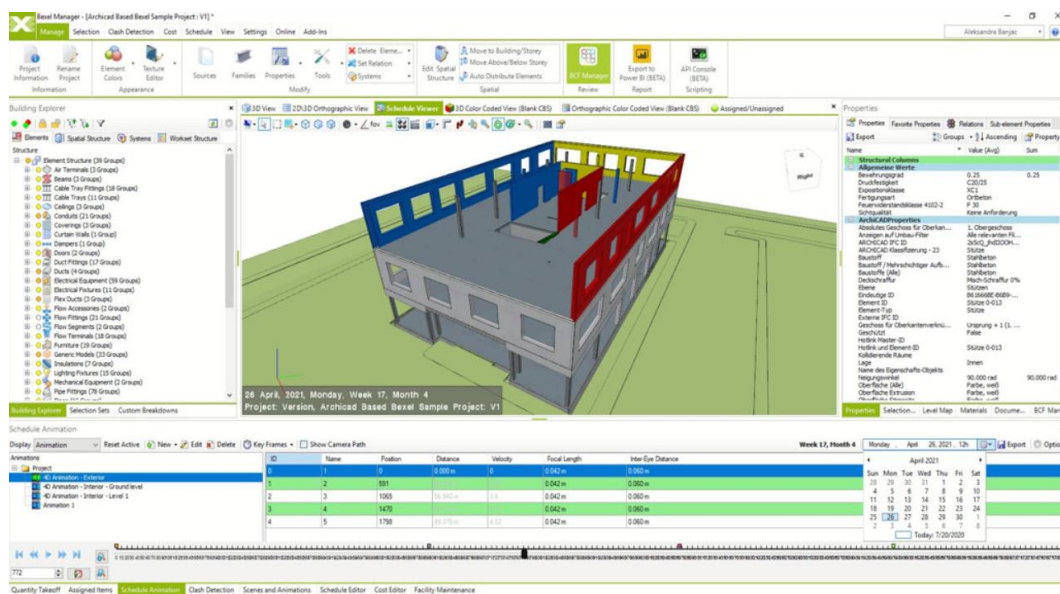


Figura 2 - Ilustração sequenciamento de atividades em BIM 4D. Disponível em <https://bexelmanager.com/4d-bim/>. Acesso em 20 de fev. de 2023.

Koo e Fisher (1998) defendem que a execução do planejamento de forma usual acarreta dificuldades para relacionar e visualizar informações de cada etapa do projeto, dificultando um consenso entre os projetistas quanto ao melhor método de construção. Para os autores, como resultado, potenciais problemas passam

despercebidos, fazendo-se necessário mudanças no cronograma durante a fase de execução. Dessa forma, modelos 4D proporcionam a integração dos modelos 3D ao tempo, ou seja, a visualização do planejamento da obra no espaço. Essa ferramenta possibilita aos planejadores a correção de inconsistências no escopo, integração de múltiplos participantes em um único modelo e a realização de cronogramas mais confiáveis (KOO e FISCHER, 1998).

#### **2.4.1 PMBOK**

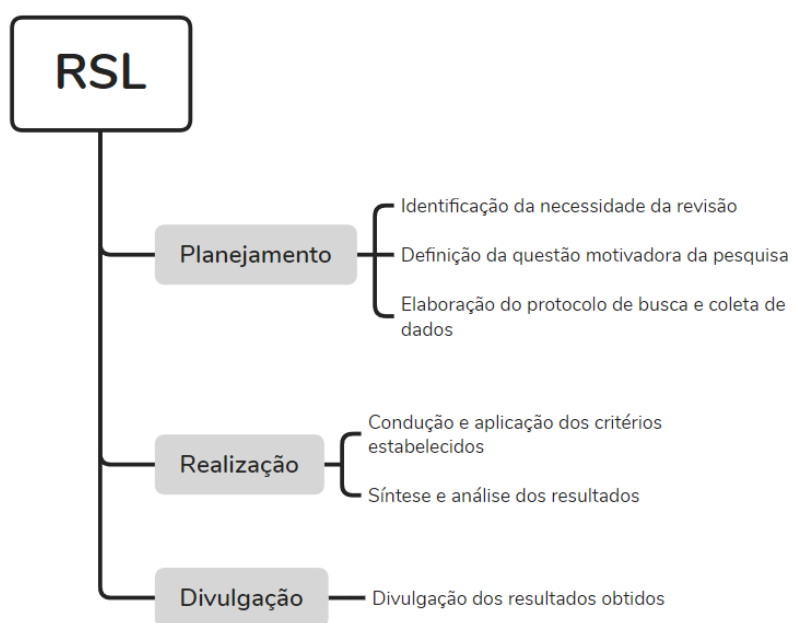
Dado o exposto que a gestão de projetos tem se tornado essencial para o bom desempenho de uma empresa, o *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) atua como um guia de boas práticas, diretrizes e definições às partes interessadas de um projeto.

#### **2.4.2 Stakeholders**

No desenvolvimento dessa pesquisa as partes interessadas de um projeto serão denominadas pelo termo stakeholders. Freeman (1984, p. 46) definiu um stakeholder como “qualquer grupo ou indivíduo que pode afetar ou é afetado pela realização dos objetivos da empresa.” Ele ainda usa o conceito de stakeholder como um guarda-chuva para gestão estratégica (FREEMAN, 1983).

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo adotou a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como abordagem metodológica. A RSL é um tipo de investigação científica com o objetivo de identificar, selecionar e avaliar estudos relevantes, a partir da coleta e síntese dos principais resultados a uma questão bem definida (CLARKE; HORTON, 2001). Para Randolph (2009), a RSL engloba 3 grandes etapas, detalhadas na Figura 3.



**Figura 3 – Adaptada de Randolph (2009). Fonte: Autor (2022).**

O principal objetivo da RSL proposta é identificar, classificar e analisar os estudos realizados sobre BIM 4D e planejamento e controle de obras. Perante o exposto, procura-se responder, com dados qualitativos e quantitativos, à questão motivadora da pesquisa: qual o impacto do BIM 4D no planejamento e controle de obras?

A elaboração do protocolo de busca definiu as estratégias a serem seguidas para o levantamento dos estudos primários. De tal forma, definiu-se que os estudos deveriam estar publicados em dissertações, teses, artigos de periódicos ou de anais de congressos disponíveis em meio eletrônico entre os anos de 2020 a 2022. Esse

intervalo temporal atual contempla estudos publicados com o crescente desenvolvimento do tema. Os termos de busca utilizados foram “BIM 4D” e “*planning*” ou “*construction*”, contidos pelo menos no título.

A identificação dos estudos foi realizada nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *Scopus*, Google Acadêmico e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). O critério adotado para escolha das bases de dados considerou que fossem de grande relevância e amplitude de trabalhos, com a inclusão de bases brasileiras para identificação do assunto abordado também no cenário nacional.

Realizada a condução e aplicação dos critérios descritos, os estudos cujo acesso era disponível foram arquivados e submetidos a uma nova etapa: a dos critérios de exclusão, que selecionou quais estudos passariam de fato para a fase de análise. Foi considerado para critério de exclusão a repetição de estudos; os trabalhos disponibilizados em idiomas diferentes de português, inglês ou espanhol e, por fim; os estudos que não se enquadram como dissertações, teses ou artigos.

Os estudos selecionados foram classificados em grupos temáticos segundo critérios de gestão descritos e/ou inspirados no *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, que são melhor discriminados na Tabela 1 (PMI, 2021).

**Tabela 1 – Temáticas de gestão inspiradas em critérios do PMBOK. Fonte: adaptado do PMI (2021).**

<b>Eixo Temático</b>	<b>Definição</b>
1. Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística	Pesquisas em logística empresarial, logística de canteiro de obras e cadeia de suprimentos, podendo envolver fornecedores, clientes, controles, estratégias, planejamento, compra e armazenamentos.
2. Gestão da Produção	Pesquisas sobre gestão de processos que compõem a dinâmica produtiva de uma empresa construtora, para

Eixo Temático	Definição
	satisfazer as necessidades de clientes internos e externos, favorecendo fluxos da produção. Sua integração tem resultado em diversos aprimoramentos tecnológicos, lean construction, planejamento, acompanhamento e controle de produção, métricas de desempenho, aplicação de ferramentas gerenciais etc.
3. Ensino de Gestão da Construção	Pesquisas que investigam metodologias ativas de ensino-aprendizagem, bem como formação e habilidades profissionais, gestão de competências, integração com outras áreas de engenharia ou arquitetura, relatos de experiência didáticas etc.
4. Gestão de Contratos e de Aquisições	Pesquisas em estratégias, políticas e processos de aquisição dentro das organizações para apoiar as atividades de gestão (planejamento, coordenação, controle e supervisão) em especial o planejamento das contratações e gestão contratual.
5. Gestão Sustentável nas Empresas e Canteiro de Obras	Pesquisas relacionadas às dimensões econômica, ambiental, social, educacional, política e cultural da sustentabilidade incorporadas nos processos e na execução da obra.
6. Gestão da Qualidade	Pesquisas relacionadas à gestão da qualidade nas diferentes etapas do processo de construção, incluindo concepção, projeto, execução, uso e pós ocupação, gerando oportunidades para melhorar a qualidade, garantir desempenho de sistemas construtivos, aumentar a eficiência, tornar o trabalho mais seguro e reduzir prazos.

<b>Eixo Temático</b>	<b>Definição</b>
7. Gestão do Conhecimento e da Informação	Pesquisas de aplicação de Gestão do Conhecimento em organizações públicas ou privadas incluindo gestão do capital intelectual, aprendizagem organizacional, gestão por competências, inteligência organizacional ou competitiva, entre outros.
8. Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas à Gestão da Construção	Pesquisas de aplicações de tecnologias da informação e comunicação (TICs) na gestão da construção incluindo Modelagem da Informação da Construção (BIM), Gêmeos Digitais, Inteligência Artificial (IA), Big Data, Internet das Coisas (IoT), Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), Robôs Autônomos, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Blockchain, entre outras.
9. Gestão de Custos	Pesquisas de aplicações técnicas e ferramentas de gestão de custos de empreendimentos públicos ou privados incluindo estimativas, orçamentos, controle de custo, estudo de viabilidade, curvas de agregação de recursos, custeio-meta, engenharia de valor, custeio kaizen, entre outros.
10. Gestão de Riscos	Pesquisas incluindo considerações dos riscos nas decisões de negócio, avaliações quantitativas e qualitativas, identificação e mensuração de riscos, entre outros.
11. Gestão Estratégica e Organizacional	Pesquisas incluindo planejamento estratégico operacional ou organizacional, análise do ambiente interno e externo, cultura organizacional, entre outros.
12. Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho	Pesquisas incluindo Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho (SGSST), Engenharia de Resiliência, aplicação de normas e preceitos legais, entre outros.

<b>Eixo Temático</b>	<b>Definição</b>
13. Gestão da Manutenção e de Operações	Pesquisas incluindo manutenção preditiva e preventiva, interfaces com a produção, manutenção de equipamentos, entre outros.
14. Gestão da Inovação	Pesquisas incluindo cases de construtechs, gestão de projetos de inovação, aspectos legais e fontes de recursos.

A aplicação dos termos de busca foi realizada no mês de agosto do ano de 2022. E, como pode ser observado na Tabela 2, gerou um total de 78 publicações.

**Tabela 2 - Amostra inicial de publicações por base de dados. Fonte: Autor (2022).**

Base de dados	Número de publicações
BDTD	2
Google Acadêmico	48
Periódicos CAPES	22
Science Direct	5
Scopus	1
Total	78

Dos resultados obtidos na amostra inicial, aplicou-se o primeiro filtro, eliminando os estudos com acesso indisponível. Em seguida, eliminou-se os estudos repetidos dentro do próprio banco de dados. Com a aplicação do terceiro filtro, foram removidos os estudos em idiomas diferentes de português, inglês ou espanhol. Finalmente, realizou-se a remoção dos estudos em formatos diferentes de dissertações, teses e artigos. Obteve-se uma amostra preliminar de 45 estudos. No entanto, verificou-se a necessidade da aplicação de um novo filtro: remoção dos



estudos repetidos entre as bases de dados, resultando em uma amostra final de 29 publicações. Os dados dessa etapa são descritos na Tabela 3.

**Tabela 3 - Aplicação de filtros da RSL. Fonte: Autor (2022).**

Etapa RSL	Banco de Dados					Total
	BDTD	Google Acadêmico	Periódicos CAPES	Science Direct	Scopus	
Amostra inicial	2	48	22	5	1	78
Filtro 1 - Remoção dos estudos indisponíveis	2	37	18	5	0	62
Filtro 2 - Remoção dos estudos repetidos no próprio banco de dados	1	35	13	4	0	53
Filtro 3 - Remoção dos estudos diferentes de PT/ ING/ ESP	1	31	13	4	0	49
Filtro 4 - Remoção dos estudos em formatos diferentes	1	27	13	4	0	45
Amostra preliminar	1	27	13	4	0	45
Amostra final - Remoção dos estudos repetidos entre bancos de dados				29		

Com intuito de atender os objetivos propostos pela presente pesquisa, os 29 estudos selecionados são apresentados na Tabela 4 e são analisados a seguir, na seção de resultados. A análise realizada permitiu responder à questão motivadora da RSL proposta, identificando o impacto do BIM 4D no planejamento e controle de obras.

**Tabela 4 - Relação dos estudos selecionados. Fonte: Autor (2022).**

<b>Nome do Artigo/Trabalho</b>	<b>Tipo de Trabalho</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>Citação</b>
4D BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams	Periódico	2020	(GUERRA; LEITE; FAUST, 2020)
4D BIM based workspace planning for temporary safety facilities in construction SMEs	Periódico	2020	(PHAM et al., 2020)
Status of 4D BIM implementation in indian construction	Congresso	2020	(CHARLESRAJ; TALAPANENI, 2020)
A framework for camera planning in construction site using 4D BIM and VPL	Congresso	2020	(TRAN et al., 2020)
Monitoring construction progress based on 4D BIM technology	Periódico	2020	(CHEN; WU; QU, 2020)
An analysis of 4D BIM construction planning: Advantages, risks and challenges	Congresso	2020	(AHMADI; ARASHPOUR, 2020)
Application of 4D BIM modeling in planning and construction of zero cycle works	Periódico	2020	(JONYUSHKOV et al., 2020)
Research on 4D visual BIM technology in dynamic decoration building site construction	Periódico	2020	(HUANG; LEE, 2020)
4D BIM workspace conflict detection for occupational management: A case study for basement construction using bottom up method	Congresso	2020	(TRAN; PHAM, 2020)

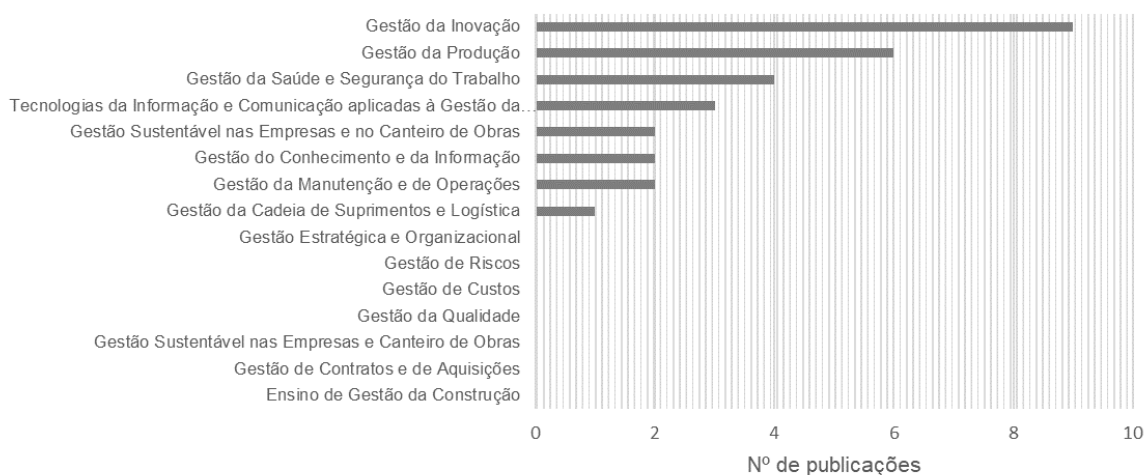
<b>Nome do Artigo/Trabalho</b>	<b>Tipo de Trabalho</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>Citação</b>
Research on 4D visualized dynamic construction of BIM building decoration	Periódico	2020	(XIN-YAO; SHU-FEN; KUN-FA, 2020)
Research on 4D simulation technology of reconstruction engineering construction organization based on BIM	Periódico	2020	(WANG; LIU; ZHANG, 2020)
4D BIM integrated productivity estimation of construction projects	Congresso	2020	(KHATAEI; AKCAMETE; SONMEZ, 2020)
Planejamento BIM 4D e simulação construtiva em silos metálicos planos	Dissertação	2021	(DIAS, 2021)
4D BIM for construction logistics management	Periódico	2021	(WHITLOCK et al., 2021)
Ontology and interoperability in planning automation with 4D BIM: A sistematic review	Congresso	2021	(CORREA et al., 2021)
Generative planning for construction safety surveillane camera installation in 4D BIM environment	Periódico	2021	(TRAN et al., 2021)
Evaluating 4D BIM and VR for effective safety communication and training: A case study of multilingual construction job-site crew	Periódico	2021	(AFZAL; SHAFIQ, 2021)
Construction site design planning using 4D BIM modeling	Periódico	2021	(CALDART; SCHEER, 2021)

Nome do Artigo/Trabalho	Tipo de Trabalho	Ano de Publicação	Citação
Risk of fire emergency evacuation in complex construction sites: Integration of 4D BIM, social force modeling, and fire quantitative risk assessment	Periódico	2021	(HOSSEINI; MAGHREBI, 2021)
Decision making in the 4th dimension - Exploring use cases and technical options for the integration of 4D BIM and GIS during construction	Periódico	2021	(LIU; ELLUL; SWIDERSKA, 2021)
Experimental study on construction planning through 4D BIM based virtual reality for light steel framing project	Congresso	2021	(RASHIDI et al., 2021)
4D BIM simulation guideline for construction visualization and analysis of renovation projects: A case study	Periódico	2021	(ALZARRAD et al., 2021)
Semi-automatic construction hazard identification method using 4D BIM	Congresso	2021	(HEIDARY et al., 2021)
3D BIM and 4D BIM models in construction safety management	Periódico	2021	(TOAN; DUNG; HANH, 2021)
Building Information Modeling (BIM) workflows for construction sequencing and 4D planning of 3D printed ISRU surface habitats	Congresso	2021	(YASHAR et al., 2021)
Design engineering using 4D BIM model in documentation of construction projects as case study in iraq	Periódico	2021	(MAJEED; HATEM; JASIM, 2021)
BIM based 4D mobile crane simulation and onsite operation management	Periódico	2021	(TAK et al., 2021)

Nome do Artigo/Trabalho	Tipo de Trabalho	Ano de Publicação	Citação
Integrated EDM and 4D BIM based decision support system for construction projects control	Periódico	2022	(AYMAN; MAHFOUZ; ALHADY, 2022)
BIM based workflow for 4D construction planning	Congresso	2022	(RUBIU et al., 2022)

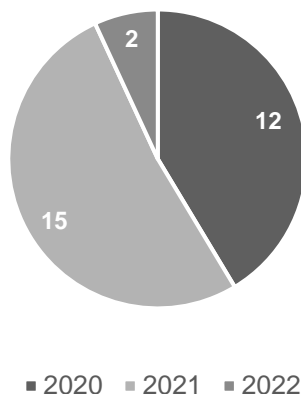
## 4 RESULTADOS

Os resultados foram separados por áreas temáticas, conforme classificações exibidas na Tabela 1. A Figura 4 ilustra a relação entre o número de publicações por área temática. Pode-se observar que os estudos abordados nessa pesquisa se enquadraram dentro de apenas nove das temáticas classificadas. Tais temáticas são: tecnologias da informação e comunicação aplicadas à gestão da construção; gestão sustentável nas empresas e canteiro de obras; gestão do conhecimento e da informação; gestão da saúde e segurança do trabalho; ensino de gestão da construção; gestão da produção; gestão da manutenção e de operações; gestão da inovação; e, por fim, gestão da cadeia de suprimentos e logísticas.



**Figura 4 – Gráfico do número de estudos por temática. Fonte: Autor (2022).**

Na Figura 5 é possível verificar que as pesquisas relacionadas ao impacto do BIM 4D no planejamento e controle de obras concentrou-se nos anos de 2020 e 2021. Dada a data de delineamento da pesquisa ser até agosto de 2022, devido à data de execução do presente estudo, é compreensível que o número de estudos seja menor, uma vez que não foram contabilizados todos os 12 meses do ano.



**Figura 5 – Gráfico do número de publicações por ano. Fonte: Autor (2022).**

Os Estados Unidos, a China e o Brasil foram os principais países de origem dos resultados obtidos. Apesar da China e Brasil ainda enfrentarem maiores dificuldades para implementação do BIM, a relevância do tema nestes países pode ser justificada pela adoção de estratégias de implementação da tecnologia, que vêm sendo impulsionadas como meio de inovação na indústria de AEC, como a Estratégia BIM BR (BRASIL, 2018). A Figura 6 ilustra a relação entre número de publicações por país de origem.



**Figura 6 - Gráfico do número de publicações por país de origem. Fonte: Autor (2022).**

#### **4.1 Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística**

Seguindo a definição do *PMBOK*, apenas um artigo levantado no presente estudo se enquadrou na temática de gestão da cadeia de suprimentos e logística. Uma breve apresentação dos resultados obtidos será exposta a seguir.

Whitlock *et al.* (2021) abordaram o tema da gestão da cadeia de suprimentos e logística, discutindo sobre a aplicação do BIM 4D no gerenciamento da logística na construção. O estudo empregou uma entrevista qualitativa em seis especialistas, questionando sobre sua experiência na utilização do BIM para o gerenciamento da logística na construção. Como resultado, Whitlock *et al.* (2021) obtiveram, como as maiores aplicações da tecnologia, a criação de modelos tridimensionais e coordenação quadridimensional dos processos em canteiro de obras, permitindo a atualização do planejamento de logística à medida que o projeto progrediu.

Além disso, foi comum acordo entre os entrevistados a melhoria em relação à segurança no ambiente de trabalho, melhor compreensão das informações de logística, e eficiência no planejamento da disposição do canteiro de obras. O principal ponto negativo destacado foi a respeito da falta de proficiência para entendimento BIM, sendo uma grande barreira para adoção da metodologia.

#### **4.2 Gestão da Produção**

Passando para temática de gestão da produção, foram identificados cinco artigos. Destes, três foram trabalhos apresentados em congressos e três periódicos publicados em revistas.

Ahmadi e Arashpour (2020) desenvolveram uma revisão sistemática da literatura acerca da implementação do BIM 4D. Entre os 100 artigos encontrados, datados entre os anos de 2010 e 2020, identificou-se a modelagem 4D como a melhor solução para visualizar o processo de construção e seu respectivo cronograma, economizando tempo e custo, e otimizando o desempenho de trabalho, gestão de recursos e tomada de decisões.



Relacionando os resultados obtidos na pesquisa a um estudo de caso de aplicação de pré-moldados, Ahmadi e Arashpour (2020) identificaram vantagens, riscos e desafios à implementação da metodologia. Entre as vantagens mapeadas pelos autores, tem-se a simplificação e otimização do processo de compreensão do projeto; a identificação prévia das interferências entre as disciplinas e seus riscos associados; a otimização entre fases de concepção e construção do projeto e esclarecimento da sequência construtiva. Como desafio para obtenção de melhores resultados, os autores ainda evidenciaram o pouco conhecimento dos profissionais no que diz respeito às práticas padrões e compreensão aprofundada das técnicas aplicadas na execução do projeto.

Por outro lado, Ayman, Mahfoyz e Alhady (2022) combinaram o BIM com a metodologia de controle de desempenho, também conhecido como *Earned Duration Management* (EDM). O principal objetivo da pesquisa era monitorar o desempenho da duração de projetos. Dessa forma, os autores se propuseram a estabelecer um sistema de apoio para tomadas de decisão, de forma mais precisa e acurada. Assim, o sistema de apoio contribuiu para melhores análises da duração de projetos e atividades, detecção visual de atividades críticas, monitoramento de atividades propícias ao atraso.

Ayman, Mahfoyz e Alhady (2022) aplicaram fatores EDM a um pequeno projeto residencial. Como resultado, os autores puderam comprovar que o sistema proposto é uma ferramenta viável para o acompanhamento e monitoramento de cronogramas de projetos. Além disso, o estudo desenvolvido esclarece que o sistema de gerenciamento de duração é a técnica de controle de tempo de projeto mais eficaz, viabilizando resultados precisos (AYMAN, MAHFOUZ e ALHADY, 2022).

Rubiu, Quaquero, *et al.* (2022) fizeram uso de informações geoespaciais na execução do modelo de informação do canteiro de obras de um pavilhão. Dessa vez, a aplicação do BIM 4D é destacada sob a perspectiva de melhoria da previsão temporal e econômica no planejamento construtivo.

Rubiu, Quaquero, *et al.* (2022) destacaram que o uso do BIM no planejamento pode reduzir problemas relacionados à interpretação do sequenciamento executivo

da obra, visto que permite relacionar, diretamente, o modelo de informação ao cronograma de atividades. Ainda é evidenciado que, a simulação das fases da construção possibilita tomadas de decisões mais assertivas. Como exemplo, destaca-se decisões acerca da disposição de layouts do canteiro, sequências operacionais, alocação de recursos, tempos reais de execução, melhorias na gestão e segurança, entre outras. Todavia, os autores ressaltaram a necessidade de melhorar o sistema de mapeamento geoespacial, em termos de qualidade e veracidade dos dados, contribuindo para redução de ajustes manuais, para boa integração das informações.

Khataei, Akcamete e Sonmez (2020) desenvolveram uma pesquisa acerca da importância da compatibilização de cronogramas a condições reais de trabalho. Segundo os autores, cronogramas imprecisos acarretam em custos desnecessários e atraso na entrega do projeto, sendo a principal razão dessa ocorrência suposições inadequadas das produtividades de projeto. Faz-se necessário, então, um cálculo de produtividade baseado nas especificações do projeto, com valores dinâmicos para cada atividade do projeto (KHATAEI; AKCAMETE; SONMEZ, 2020).

Dessa forma, Khataei, Akcamete e Sonmez (2020) propuseram um método para revisar os valores de produtividade das atividades baseado no cálculo de proximidade entre elas, utilizando o BIM 4D e uma ferramenta de programação visual denominada Dynamo. Revisadas as produtividades, realizou-se a reprogramação do cronograma e, como resultado, obteve-se valores de produtividade com maior acurácia e confiabilidade (KHATAEI; AKCAMETE; SONMEZ, 2020).

Jonyushkov *et al.* (2020) desenvolveram a temática da gestão da produção e BIM, explorando um novo método de trabalhos geotécnicos, denominado *zero cycle work*, ou trabalho do ciclo zero traduzindo para o português. Os autores defenderam que a aplicação dessa nova metodologia de gerenciamento da produção permite a resolução de problemas ainda na fase de planejamento. Assim, Jonyushkov *et al.* (2020) executaram dois estudos de caso em que observaram que a introdução da modelagem quadridimensional proporciona uma melhor compreensão do escopo do projeto, melhorando o processo produtivo de planejamento.

Caldart e Scheer (2021) definiram um processo para implementação do planejamento e gerenciamento de canteiro de obras, levando em consideração sua principal característica: o dinamismo. O modelo BIM 4D, desenvolvido pelos autores, auxiliou na análise e definição de questões da dinâmica do canteiro de obras, identificando conflitos e problemas de acessibilidade durante o andamento das obras (CALDART; SCHEER, 2021).

Para Caldar e Scheer (2021), a utilização da modelagem quadridimensional, isto é, a representação 3D em conjunto com o tempo, mostrou-se uma ferramenta eficiente para gestão da obra. Pode-se observar melhoras em questões relacionadas à produção, qualidade e segurança. No entanto, os autores destacam a necessidade de treinamentos adequados às equipes de construção para compreensão e adoção do modelo proposto. Caldar e Scheer (2021) ainda ressaltaram a importância de revisar e atualizar continuamente o planejamento da obra e de seu canteiro.

#### **4.3 Ensino de Gestão da Construção**

Utilizando uma metodologia de pesquisa ativa de ensino-aprendizagem, o estudo a seguir foi classificado avaliado na temática de ensino de gestão da construção.

Charlesraj e Dinesh (2020) adotaram uma abordagem quantitativa para levantar o desenvolvimento da implementação do BIM 4D no mercado da construção indiano. A fim de estudar os benefícios, barreiras e principais *stakeholders* no setor da construção, os autores aplicaram um questionário com 38 respostas válidas, sendo 17 de empreiteiros (45%) e 21 de clientes (55%). Dos resultados, obteve-se que 68% dos participantes conhecem o BIM 4D, mas não o utilizam, enquanto 24%, conhece e utiliza. O restante das respostas, correspondente a 8%, desconhece a metodologia.

Charlesraj e Dinesh (2020) obtiveram, também como resultados do questionário, "visualização do fluxo de construção", "comunicação acerca do planejamento" e "validando o cronograma simulações" como as aplicações mais usuais da tecnologia 4D. Por outro lado, analisando as barreiras para implementação

BIM, os entrevistados destacaram "falta de conhecimento sobre BIM 4D dentro das equipes de trabalho", "utilização de métodos tradicionais de projetos" e "falta de expertise em BIM 4D no mercado" como empecilhos no setor construtivo indiano (CHARLESRAJ; TALAPANENI, 2020).

#### **4.4 Gestão Sustentável nas Empresas e no Canteiro de Obras**

Acerca das pesquisas relacionadas às dimensões sustentáveis incorporadas aos processos e na execução de obras, dois estudos foram agrupados na temática da gestão sustentável nas empresas e no canteiro de obras.

Apesar da crescente atenção acerca de questões relacionadas à gestão de resíduos, a baixa taxa de reutilização e reciclagem de materiais e o expressivo volume desperdícios continuam sendo grandes limitações nos projetos de construção (GUERRA; LEITE; FAUST, 2020). Sob essa perspectiva, Guerra, Leite e Faust (2020) propuseram um algoritmo para realizar o planejamento da construção executada à base de resíduos de concreto.

O principal objetivo do algoritmo era simplificar estimativas de resíduos na construção, além de simular o planejamento visual para sua reutilização interna no canteiro de obras e reciclagem em ambiente externo (GUERRA; LEITE; FAUST, 2020). Para os autores, o algoritmo integrado ao BIM 4D foi capaz de melhorar o planejamento de reutilização dos resíduos, melhorando a recuperação de recursos e minimizando a disposição de resíduos em aterros sanitários.

O dinamismo no canteiro de obras foi a temática de Huang e Lee (2020) que realizaram a modelagem de um projeto cujas construções eram temporárias, ou seja, posteriormente seriam desmontadas. A partir do BIM 4D, os autores realizaram simulações dos processos espaciais, verificando possíveis conflitos, além da estimativa de quantidades e alocações de recursos do edifício.

A tecnologia BIM aplicada na gestão construção resolve problemas tradicionais de gestão, causados pela falta da dimensão temporal no planejamento (HUANG; LEE, 2020). De tal forma, como apontado pelos autores, com o desenvolvimento contínuo

da tecnologia, o processo de planejamento poderá avançar para outras dimensões. Esse avanço contribuirá com simulações visuais ainda mais assertivas para o controle de custos, alocação de recursos e simulação de processos, dentro do gerenciamento das informações da construção (HUANG; LEE, 2020). Os autores ainda ressaltaram que esses aspectos são característicos de um método sustentável de gestão da execução de empreendimentos civis.

#### **4.5 Gestão do Conhecimento e da Informação**

Sob uma perspectiva diferente do que foi supracitado, o trabalho exposto a seguir tratou da metodologia BIM na gestão de informações, se enquadrando na temática de gestão do conhecimento e da informação.

Majeed, Hatem e Jasim (2021) discorreram sobre a utilização da metodologia BIM na documentação de projetos. Dada a necessidade de lidar com uma quantidade grande e complexa de informações, o processo de documentação, troca de informações e atualização de dados acabaram por se tornar um dos maiores desafios enfrentados pelo gerenciamento de projetos (MAJEED; HATEM; JASIM, 2021).

Após coletar a documentação e projetos 2D do estudo de caso selecionado, Majeed, Hatem e Jasim (2021) desenvolveram a modelagem 4D do projeto, comparando a as quantidades de documentos físicos e em BIM. Os autores classificaram o segundo método como a melhor forma para anexação de informações, sendo capaz de vincular dados em diversos formatos a um modelo, além apresentar menores quantidades de documentos e armazenar as informações de forma mais preservada.

#### **4.6 Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas à Gestão da Construção**

Conforme as definições descritas na Tabela 1, os três trabalhos apresentados a seguir foram classificados como tecnologias da informação e comunicação aplicadas à gestão da construção.

Liu, Ellul e Swiderska (2021) abordaram os principais desafios acerca da integração entre informações provenientes de modelos BIM e Geoespacial. O estudo se desenvolveu na aplicação da metodologia GeoBIM 4D em um projeto real de infraestrutura, do qual puderam identificar benefícios em três principais aplicações:

1. Mitigação de ruídos sonoros;
2. Mapeamento de locais de risco;
3. Segurança na construção.

Embora as vantagens acima já tenham sido estudadas, Liu, Ellul e Swiderska (2021), abordaram a temática sob a ótica da interoperabilidade, proporcionando acesso às informações a um número maior de membros da equipe. Os autores ainda evidenciaram que, por ainda existir desafios técnicos relacionados a integração dos modelos, é difícil compreender totalmente os dados dos dois domínios.

Também adotando como metodologia a revisão sistemática da literatura, dessa vez sobre perspectiva das tecnologias da informação e comunicação aplicadas à gestão da construção, Correa *et al.* (2021) analisaram pesquisas sobre interoperabilidade BIM na dimensão semântica. Um total de 74 artigos foi explorado, mas somente 27 foram selecionados para, de fato, compreender o desenvolvimento de ontologias na indústria da construção civil. Como resultado, os autores puderam concluir que ainda há uma lacuna significativa no tema. Apesar disso, a interoperabilidade BIM, o desenvolvimento de ontologias, a *IFC* e o intercâmbio de dados, são temas que vêm sendo ainda mais desenvolvidos na literatura acadêmica (CORREA *et al.*, 2021).

Xin-yao, Shu-Fen e Kun-fa (2020) realizaram sua pesquisa acerca da aplicação da tecnologia BIM na gestão da construção, a fim de explorar a realização de processos, planejamento do espaço, análise de custos, inspeção de conflitos, manutenção de instalações, estimativa de quantidade, alocação de recursos e outras tarefas na decoração de edifícios. Os autores concluíram que o BIM é capaz de resolver, de forma efetiva, problemas de gerenciamento causados pela falta da dimensão do tempo nos métodos tradicionais de planejamento. Dessa forma, com a difusão contínua da tecnologia, a indústria da construção se desenvolverá baseada

em informações dinâmicas, além de alocações de recursos e fluxos de processos mais assertivos (XIN-YAO; SHU-FEN; KUN-FA, 2020).

#### **4.7 Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho**

No campo da gestão de saúde e segurança no trabalho, quatro trabalhos puderam ser especificados, tratando-se de dois artigos apresentados em congresso e dois periódicos publicados em revista.

Hosseini e Maghrebi (2021) desenvolveram um modelo capaz de analisar o risco de emergências de incêndio e os riscos relacionados ao processo de evacuação em canteiros de obras de grande porte. Para isso, os autores utilizaram o módulo de Avaliação de Risco Quantitativo e o mecanismo de simulações de multidões, Modelo de Forças Sociais.

Segundo Hosseini e Maghrebi (2021), a implementação do modelo proposto forneceu uma visão realista das condições de segurança do local. Assim, o risco de evacuação foi determinado, demonstrando o potencial para acidentes de incêndio dentro do local e uma forma segura de responder a esta emergência, através de uma abordagem integrada (HOSSEINI; MAGHREBI, 2021). Além disso, os autores ressaltaram a importância em seguir as instruções de emergência no desempenho de evacuação do projeto. A equipe de gerenciamento de segurança foi altamente incentivada a realizar sessões extras de treinamento de segurança para o pessoal, como exposto por Hosseini e Maghrebi (2021).

Sob outro enfoque, Tran e Pham (2020) abordaram o gerenciamento do espaço de trabalho, apoiando a gestão da segurança. Considerando que, ao executar múltiplas atividades, podem ocorrer conflitos de espaço de trabalho no canteiro de obras, os autores levantaram um processo que garantisse a execução das atividades de forma segura.

Dessa forma, Tran e Pham (2020) desenvolveram um processo de aplicação do BIM para simular e detectar conflitos de espaço de trabalho entre as atividades da construção. O modelo proposto foi utilizado a fim de oferecer soluções de segurança,

com foco na redução de conflitos e suas respectivas consequências no canteiro de obras (TRAN; PHAM, 2020).

Exposta a grande probabilidade de ocorrência de acidentes de trabalho no setor da construção civil, Heidary *et al.* (2021) utilizaram o BIM para apresentar um método semiautomático para identificar e reportar riscos de segurança, nas fases iniciais do desenvolvimento de um projeto. O modelo 4D desenvolvido permitiu a vinculação do projeto a um banco de dados de situações perigosas, identificando atributos que possam causar acidentes (HEIDARY *et al.*, 2021).

A aplicação da pesquisa em um estudo de caso, permitiu aos autores coletar *feedbacks* da equipe de projeto e especialistas em segurança, que notaram redução no tempo e maior precisão na identificação de riscos. Outra vantagem identificada foi a possibilidade de manter e transferir conhecimentos sobre o projeto, já que as informações e recursos utilizados podem ser armazenados em um banco de dados do projeto (HEIDARY *et al.*, 2021).

A adoção do BIM na indústria da construção pode trazer significativas melhorias para planos de gestão da segurança (TOAN; DUNG; HANH, 2021). Seu estudo revisou a adoção do modelo 4D no gerenciamento da segurança, discutindo sobre melhorias em treinamentos de segurança e beneficiamento das equipes na identificação de perigos durante a realização de inspeções de segurança. Além do exposto, os autores discutiram sobre a possibilidade de localizar trabalhadores, máquinas e materiais de construção no canteiro de obras com a relação de sistemas de informação geográfica ao BIM, permitindo a visualização e rastreamento de possíveis colisões, em tempo real.

Ademais, Toan, Dung e Hanh (2021) levantaram os principais desafios enfrentados na adoção do BIM para gerenciar a segurança da construção no Vietnã, como a falta de leis e apoio governamental regularizando a prática. Os autores discutiram sobre a carência de objetos relacionados a medidas de segurança nos *softwares*, além do alto custo de implementação, e falta de experiência dos designers na área de segurança.



#### 4.8 Gestão da Manutenção e de Operações

No que diz respeito à gestão da manutenção e operações, apenas dois trabalhos levantados se enquadraram na temática.

Alzarrad et al. (2021) trouxe a aplicação do BIM 4D no planejamento e controle de obras sob a perspectiva da gestão da manutenção e operações. Seu objeto de estudo foi o projeto de reforma do prédio nomeado em homenagem a Hugh Moss Comer Hall, na área administrativa da Faculdade de Engenharia da Universidade do Alabama. O modelo 4D desenvolvido mostrou que a diretriz proposta é adequada para projetos que incluem tanto etapas de demolição, quanto de construção (ALZARRAD *et al.*, 2021).

Alzarrad *et al.* (2021) concluíram que resultados da pesquisa auxiliam no gerenciamento da construção. Por meio destes, os autores conseguiram identificar sequências de atividades inadequadas no cronograma, realizar avaliações de questões relacionadas à construtibilidade e identificar divergências no tempo e espaço.

Tak *et al.* (2021) inovaram ao estudar e propor uma metodologia para operações de içamento de materiais em canteiros de obras. A estrutura sugerida foi construída baseada em resultados abrangentes de planejamentos de guindastes e sistemas de otimização (TAK *et al.*, 2021). O sistema desenvolvido forneceu as informações necessárias para uma simulação de elevação confiável em BIM, incluindo *layout* e limites do local, obstruções existentes, instalações temporárias, cronograma de içamento, guindaste e configurações de içamento e caminhos de içamento otimizados (TAK *et al.*, 2021).

Tak *et al.* (2021) avaliaram o potencial da metodologia em gerar uma simulação 4D precisa dos processos construtivos, que ainda não foram totalmente explorados. No entanto, o estudo beneficiou os vários utilitários do BIM ao fornecer um componente de gerenciamento para operação de guindastes no canteiro de obras, detecção de colisões e redução de erros de troca de informações.

#### 4.9 Gestão da Inovação

Finalmente, com relação à temática de gestão da inovação, foram identificados nove estudos, apresentados e discutidos a seguir, sendo uma dissertação da Universidade Tecnológica do Paraná, cinco periódicos de revistas internacionais e dois trabalhos de congressos, também internacionais.

Dias (2021) utilizou o planejamento em BIM 4D como uma proposta de inovação ao processo de construção de silos metálicos planos. Por meio da criação do modelo tridimensional, elaboração do cronograma e desenvolvimento do modelo 4D, no software *Autodesk Naviswork*, o autor viabilizou simulação virtual da execução da obra. A antecipação de conflitos entre tempo e espaço da obra permitiu a listagem de 22 interferências que, após tratadas, reduziram em 73 dias o cronograma inicial desenvolvido – de 243 dias para 170, o equivalente a uma redução de 30% do prazo de entrega inicial (DIAS, 2021). Outra vantagem relatada pelo autor foi que, com a ordem de execução adotada e revisada, não houve conflito de equipes em um mesmo local de trabalho, otimizando o serviço executado.

A adoção do BIM 4D no estudo realizado por Dias (2021) proporcionou otimização em todo o processo construtivo adotado, englobando as etapas de projeto, planejamento, execução e acompanhamento. A metodologia provocou incremento da colaboração e comunicação das equipes, visualização prévia da construção, melhora na coordenação e identificação de conflitos, além da redução de prazos, mitigação de riscos, aprimoramento na elaboração do cronograma e sequenciamento construtivo.

Tran *et al.* (2021), por outro lado, relacionaram o tema de gestão da inovação a um plano de disposição de câmeras de vigilância para canteiros de obras. Os autores propuseram um plano de instalação de câmeras, em diferentes layouts, ao longo do tempo e uma proposta de otimização da disposição dos dispositivos, para melhor acompanhamento das atividades e seus riscos associados. O BIM 4D contribuiu para fornecer as informações necessárias, a respeito dos locais de trabalho das atividades para definição das áreas de vigilância (TRAN *et al.*, 2021). Dessa forma, o sistema de monitoramento de segurança pode acompanhar comportamentos com maior potencial de colocar em risco o local de trabalho.

Além disso, o planejamento em BIM 4D também forneceu informações de cronograma que afetariam outros aspectos da instalação da câmera (TRAN *et al.*, 2021). Por exemplo, a cada fase do processo construtivo, o layout do canteiro de obras é disposto de forma a atender a melhor logística para aquela fase. No entanto, dependendo do local onde a câmera foi posicionada, o layout do canteiro poderia obstruir o campo de visão monitorado. Para Tran *et al.* (2021), a evolução do layout durante os estágios de construção, seguindo o que foi proposto em cronograma, pôde fornecer possíveis posições para locação da câmera. Os autores concluem que o planejamento e o BIM 4D podem servir como apoio significativo no desenvolvimento de um plano de sistema de vigilância, que considere o dinamismo da construção para resolução do problema.

Pham *et al.* (2020) propôs o planejamento automático do espaço de trabalho, de pequenas e médias empresas de construção, para instalações temporárias de segurança, utilizando o *Building Information Modeling*. Seu estudo levantou um sistema de planejamento do espaço de trabalho para fornecer, de forma automática, recomendações para as instalações, baseado nas informações de cronograma, com foco nos requisitos operacionais e restrições de construção.

A utilização do sistema promoveu a redução de recursos trabalhistas e deficiências na gestão da segurança, além da economia de tempo e redução de acidentes devido à automação, conveniência e precisão do sistema (PHAM *et al.*, 2020). Os autores relatam que o artigo desenvolvido contribuiu para a investigação dos prós e contras na implementação dos requisitos de segurança, identificando a importância do planejamento para aplicação de instalações de segurança.

Afzal e Shafiq (2021) propuseram uma simulação de realidade virtual baseada em BIM 4D para o desenvolvimento de um plano de sistema de segurança. A simulação proposta ajudou a melhorar o fluxo de informações entre os responsáveis pela tomada de decisão e a mão de obra, no local de trabalho do projeto.

Conforme exposto por Afzal e Shafiq (2021), na ausência de ferramentas e tecnologia digital, era difícil para os especialistas em segurança comunicar potenciais ameaças aos trabalhadores no canteiro de obras, uma vez que o conhecimento e as

instruções eram baseados na experiência de segurança tácita. De acordo com os autores, ao incorporar mecanismos digitais, informações sobre as atividades podem ser repassadas com maior facilidade aos trabalhadores. Além disso, notou-se que o treinamento de segurança baseado em realidade virtual e BIM 4D permite que o projeto prepare, preveja e conceba soluções para todos os problemas de segurança que possam ocorrer, levando a uma melhoria geral da saúde e segurança no ambiente da construção civil (AFZAL; SHAFIQ, 2021).

Tran *et al.* (2020) desenvolveram uma estrutura para o planejamento de instalação de câmeras utilizando BIM 4D e linguagem de programação visual. Para validar a aplicabilidade da estrutura proposta, os autores realizaram um estudo de caso, considerando o planejamento da construção do interior de uma edificação. O sistema desenvolvido foi capaz de visualizar o plano da câmera, em BIM 4D, simulando seu campo de visão (TRAN *et al.*, 2020).

Diferente dos estudos citados até o momento, Chen *et al.* (2020) abordou a problemática da otimização do progresso construtivo, com o controle e percepção, em tempo real. Por meio de repetidas simulações do processo de construção, no ambiente virtual, é possível prever possíveis problemas, para assim, formular soluções correspondentes com antecedência, otimizando o progresso da construção (CHEN; WU; QU, 2020). Os autores ressaltam que essas informações podem ser utilizadas, posteriormente, como guias para a construção real do projeto.

Para Chen *et al.* (2020), a aplicação da tecnologia BIM 4D pode melhorar a eficiência da produção e benefício econômico, fornece suporte técnico e criar vantagem competitiva. Os autores defendem que, dentro de um projeto, a tecnologia pode monitorar o progresso em tempo real e integrar diferentes tipos de informações no sistema. Apesar do sistema de monitoramento estudado ter trazido vantagens econômicas ao projeto, ao realizar um estudo de caso no projeto de controle de inundações, no rio principal da cidade de Xinyang, na Província Henan, Chen *et al.* (2020) notaram que o sistema ainda tem limitações e deficiências a serem trabalhadas. Os autores levantaram que o sistema de gerenciamento de informações não foi totalmente integrado ao sistema de gerenciamento do cronograma 4D.

Wang *et al.* (2020) trouxeram a utilização da metodologia BIM, sob a premissa de garantir os requisitos de prazo de construção do projeto de expansão de uma rodovia. Com intuito de otimizar o plano de construção, ajustar o cronograma de execução do empreendimento, e melhorar a logística e eficiência da sequência construtiva, os autores realizaram pesquisas em simulações de esquemas de construção para projetos de reconstrução e ampliação de rodovias. Para isso, Wang *et al.* (2020) determinaram os processos e indicadores técnicos correspondentes para o planejamento visual da obra. Os autores constataram que o uso do BIM pode otimizar a orientação de tráfego e melhorar a viabilidade e eficiência do programa, garantindo o andamento da construção e reduzindo seu impacto social.

Sob uma diferente perspectiva da gestão da inovação das percorridas até o momento, Yashar *et al.* (2021) desenvolveram sua pesquisa acerca da temática do design e planejamento 4D na construção de infraestruturas espaciais, com a utilização de recursos *in situ*. Os autores destacaram a importância de um bom planejamento, alinhado com conhecimentos de soluções de inteligência de segurança, a fim um espaço de trabalho livre de colisões. Para Yashar *et al.* (2021), modelos em BIM são boas ferramentas para o desenvolvimento de construções espaciais automatizadas, visto que proporcionam não apenas elementos tridimensionais, que podem ser reconhecidos por sistemas visuais, como também fornecem informações paramétricas dos elementos.

No desafio centenário da NASA para um habitat impresso em 3D em Marte, as equipes participantes desenvolveram modelos BIM de habitats construídos de forma autônoma, contendo informações sobre o design, materiais e a sequência construtiva da estrutura (YASHAR *et al.*, 2021).

Como destacado acima, são diversas as possibilidades de aplicação da metodologia BIM dentro do mercado da AEC. Sob essa perspectiva, Rashidi *et al.* (2021) discorrem sobre a utilização da realidade virtual para execução de tarefas relacionadas ao planejamento da construção. A fim de validar a usabilidade da metodologia proposta, os autores realizaram testes para examinar a compreensão espacial e temporal de profissionais da construção civil.

Como resultado, Rashidi *et al.* (2021) revelaram que a realidade virtual pode ser utilizada como uma ferramenta de aprimoramento do processo de planejamento de obras. Antecipação de conflitos, colaboração do projeto entre as partes interessadas, treinamento e educação em gerenciamento de segurança são aspectos do planejamento de obras que também poderiam melhorar significativamente a partir da adoção dessa tecnologia inovadora (RASHIDI, 2021).

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação do BIM 4D no planejamento e controle de obras, foi identificada através de uma análise bibliométrica. A partir deste exposto, afere-se que a adoção da revisão sistemática da literatura como metodologia foi eficiente para investigar o impacto do BIM 4D no processo de planejamento e controle de obras entre os anos de 2020 e 2022, e atender aos seguintes objetivos específicos:

- Análise bibliométrica dos estudos realizados sobre BIM 4D e o planejamento e controle de obras.
- Identificar quais os estudos publicados abordando a utilização do BIM 4D no planejamento e controle de obras entre os anos de 2020 e 2022.
- Avaliar as aplicações do BIM 4D junto ao planejamento e controle de obras, identificando suas vantagens e desvantagens.

Através da revisão bibliométrica, observou-se um maior número de trabalhos desenvolvidos pela China, seguido dos Estados Unidos. Entre os 29 estudos identificados e analisados, pode-se notar que as temáticas mais exploradas foram relacionadas a gestão da inovação e gestão da produção.

Entre os principais resultados, tem-se: melhoria em relação à segurança no ambiente de trabalho; melhor compreensão das informações de logística; eficiência no planejamento da disposição do layout do canteiro; redução de prazos e custos; aprimoramento da gestão de recursos; otimização e esclarecimento do processo construtivo; mapeamento e mitigação de riscos; incremento na colaboração e comunicação das equipes.

As principais desvantagens e desafios mapeados foram: a falta de proficiência entre os profissionais para desenvolvimento e entendimento da metodologia; a necessidade de melhora no quesito da interoperabilidade, de forma que a troca de informações entre diferentes modelos não ocorre de forma tão fluida quanto deveria. Outro ponto importante que merece destaque é a falta de leis e apoio governamental regularizando a aplicação da tecnologia BIM dentro dos países.

Por fim, salienta-se que o mundo está em constante mudança e avanços tecnológicos, sobretudo nos últimos anos. Dessa forma, é essencial o reconhecimento do BIM como um dos caminhos para o desenvolvimento sustentável da indústria AEC.



## REFERÊNCIAS

AFZAL, Muneeb; SHAFIQ, Muhammad. Evaluating 4D BIM and VR for effective safety communication and training: A case study of multilingual construction job-site crew. **Buildings**, United Arab Emirates, 2021.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI. Vem ai: 2ª edição da pesquisa sobre adoção da metodologia BIM no setor de AEC. 2022. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/vem-ai-2a-edicao-da-pesquisa-sobre-adocao-da-metodologia-bim-no-setor-de-aec>> Acesso: 20 de janeiro de 2023.

AHMADI, Pedram; ARASHPOUR, Mehrdad. An analysis of 4D BIM construction planning: Advantages, risks and challenges. **37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020)**, Australia, 2020.

ALZARRAD, M. A. et al. 4D BIM simulation guideline for construction visualization and analysis of renovation projects: A case study. **Frontiers in Built Environment**, United States, 2021.

AYMAN, Hassan; MAHFOUZ, Sameh; ALHADY, Ahmed. Integrated EDM and 4D BIM based decision support system for construction projects control. **Buildings**, Egypt, 2022.

AZEVEDO, O. J. M. Metodologia BIM – Building Information Modeling na direção técnica de obras. 2009 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Reabilitação, Sustentabilidade e Materiais de Construção). Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2009.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>>. Acesso em: Junho 2022.

BRASIL. Decreto nº 9.983. **Diário Oficial da União, Seção 1**, 23 Agosto 2019. 2.

CALDART, Caroline; SCHEER, Sérgio. Construction site design planning using 4D BIM modeling. **Gestão e Produção**, Brasil, 2021.

CALVERT, N. 2013. Why we care about BIM. Disponível em: <<http://www.directionsmag.com/entry/why-we-care-about-bim/368436>>. Acesso em: 22 de fev. 2023.

CHAREF, Rabia. The use of building information modeling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D). *Cleaner Engineering and Technology* 7, n. 100414, 2022.

CHARLESRAJ, V. P.; TALAPANENI, Dinesh. Status of 4D BIM implementation in indian construction. **37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020)**, United Kingdom, 2020.

CHEN, Jingjing; WU, Juan; QU, Yan. Monitoring construction progress based on 4D BIM technology. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, China, 2020.

CLARKE, Mike; HORTON, Richard. Bringing it all together: Lancet-Cochrane collaborate on systematic reviews. **The Lancet**, 2001.

CORR, D J. et al. Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 1007–1012, 2004.

CORREA, Leonardo et al. Ontology and interoperability in planning automation with 4D BIM: A systematic review. **Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, Brasil, 2021.

DIAS, Raul. Planejamento BIM 4D e simulação construtiva em silos metálicos planos. **Universidade Tecnológica Federal do Pará**, Brasil, 2021.

EASTMAN, Chuck et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**.

FREEMAN, R. E.; EVAN, W. Corporate Governance: **A stakeholder interpretation**. *Journal Behavioral Economics*, 19(4), p. 337-359, 1990.

GUERRA, Beatriz; LEITE, Fernanda; FAUST, Kasey. 4D BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. **Waste Management**, United States, 2020.

HEIDARY, Mohammad et al. Semi-automatic construction hazard identification method using 4D BIM. **38th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2021)**, Iran, 2021.

HOSSEINI, Omid; MAGHREBI, Mojtaba. Risk of fire emergency evacuation in complex construction sites: Integration of 4D BIM, social force modeling, and fire quantitative risk assessment. **Advanced Engineering Informatics**, Iran, 2021.

HUANG, Xin-yao; LEE, Kun-Fa. Research on 4D visual BIM technology in dynamic decoration building site construction. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, China, 2020.

ISO 16739-1. **International Organization for Standardization**, 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/70303.html>>. Acesso em: 05 Julho 2022.

JONYUSHKOV, Vladimir et al. Application of 4D BIM modeling in planning and construction of zero cycle works. **E3S Web of Conferences**, Russia, 2020.

KHATAEI, S.; AKCAMETE, A.; SONMEZ, R. 4D BIM integrated productivity estimation of construction projects. **6th International Project and Construction Management Conference (IPCMC2020)**, Turkey, 2020.

KOO, Bosang; FISCHER, Martin. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. **CIFE Technical Report**, August 1998.

KOUTAMANIS, Alexander. Dimensionality in BIM: why BIM cannot have more than four dimensions? **Automation in Construction**, Netherlands, v. 114, Junho 2020. ISSN 103153.

KOUTAMANIS, Alexander. Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? **Automation in Construction 114, 103153**, 2020.

KUBBA, Sam. Handbook of Green Building Design and Construction. [S.l.]: LEED AP, 2012.

LESTER, Eur I. A. **Project Management, Planning and Control (Sixth Edition)**.

LIU, Alyssa; ELLUL, Claire; SWIDERSKA, Monika. Decision making in the 4th dimension - Exploring use cases and technical options for the integration of 4D BIM and GIS during construction. **Geo Information**, England, 2021.

MAJEED, Hamsa; HATEM, Wadhah; JASIM, Nidal. Design engineering using 4D BIM model in documentation of construction projects as case study in Iraq. **Design Engineering**, Iraq, 2021.

MATTOS, Aldo D. **Planejamento e controle de obras**.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **National Building Information Modeling Standard**.

PHAM, Kieu-Trang et al. 4D BIM based workspace planning for temporary safety facilities in construction SMEs. **Environmental Research and Public Health**, Korea, 2020.

PMI. **Guia PMBOK®**: Um Guia para o Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos. 7ª. ed.

RANDOLPH, Justus. A Guide to Writing the Dissertation Literature Review. **Practical Assessment, Research, and Evaluation**, 2009.

RASHIDI, Ali et al. Experimental study on construction planning through 4D BIM based virtual reality for light steel framing project. **21st International Conference on Construction Applications of Virtual Reality**, Australia, 2021.

RUBIU, Giulia et al. BIM based workflow for 4D construction planning. **2022 European Conference on Computing in Construction**, Italy, 2022.

SUCCAR, Bilal. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Elsevier**, University of Newcastle, Australia, 2008.

SUCCAR, Bilal. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **CBIC**, 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/2018-o-ano-da-implantacao-mundial-do-bim/>>.

TAK, Ala et al. BIM based 4D mobile crane simulation and onsite operation management. **Automation in Construction**, United States, 2021.

TOAN, Nguyen Q.; DUNG, Nguyen T. T.; HANH, Nguyen T. M. 3D BIM and 4D BIM models in construction safety management. **E3S Web of Conferences**, Vietnam, 2021.

TRAN, Ngoc; PHAM, Hong. 4D BIM workspace conflict detection for occupational management: A case study for basement construction using bottom up method. **ICEBT'20: Proceedings of the 2020 The 4th International Conference on E-Education, E-Business and E-Technology**, Vietnam, 2020.

TRAN, Si et al. A framework for camera planning in construction site using 4D BIM and VPL. **37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020)**, South Korea, 2020.

TRAN, Si et al. Generative planning for construction safety surveillance camera installation in 4D BIM environment. **Automation in Construction**, United States, 2021.

UCM/ABDI. Plataforma BIM BR, 2022. Disponível em: <<https://plataformabimbr.abdi.com.br/bimBr/#!/conteudo/437>>. Acesso em: 04 Julho 2022.

UCM/ABDI. Plataforma BIM BR, 2022. Disponível em: <<https://plataformabimbr.abdi.com.br/bimBr/#!/conteudo/437>>. Acesso em: 4 Julho 2022.

WANG, Chen; LIU, Xiangsheng; ZHANG, Kechao. Research on 4D simulation technology of reconstruction engineering construction organization based on BIM. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, China, 2020.

WHITLOCK, Kane et al. 4D BIM for construction logistics management. **Civil Eng**, 2021.

XIN-YAO, Huang; SHU-FEN, Yang; KUN-FA, Lee. Research on 4D visualized dynamic construction of BIM building decoration. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, China, 2020.

YASHAR, M. et al. Building Information Modeling (BIM) workflows for construction sequencing and 4D planning of 3D printed ISRU surface habitats. **17th Biennial International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments**, United States, 2021.