

**UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP**

**ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES DO BIM  
(*BUILDING INFORMATION MODELING*)  
PARA A SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista –UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**ANDERSON FRANCISCO DE CAMPOS**

**SÃO PAULO**

**2023**

**ANDERSON FRANCISCO DE CAMPOS**

**ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES DO BIM (*BUILDING  
INFORMATION MODELING*) PARA A SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista –UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Irenilza de Alencar Nääs

Área de Conhecimento: Engenharia de Produção

Área de Concentração: Tecnologias da Construção Civil

Linha de Pesquisa: Redes de Empresas e Planejamento da Produção

Projeto de Pesquisa: Gestão da produção e inovação na agricultura, indústria e serviços

**ANDERSON FRANCISCO DE CAMPOS**

**SÃO PAULO**

**2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Campos, Anderson Francisco de.

Análise das contribuições do BIM (*Building Information Modeling*) para a sustentabilidade / Anderson Francisco de Campos. – 2023.

62 f. : il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2023.

Área de concentração: Tecnologias da Construção Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Irenilza de Alencar Nääs.

1. Modelagem 3D. 2. Sustentabilidade. 3. Construção civil.  
I. Nääs, Irenilza de Alencar (orientadora). II. Título.

**ANDERSON FRANCISCO DE CAMPOS**

**ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES DO BIM (*BUILDING  
INFORMATION MODELING*) PARA A SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Irenilza de Alencar Nääs - UNIP

---

Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves - UNIP

---

Profa. Dra. Thayla Morandi Carvalho-Curi - UNICAMP

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades e melhorias.

Dedico ao mundo por mudar as coisas, por nunca as fazer serem da mesma forma, pois assim não teríamos o que pesquisar, o que descobrir e o que fazer. Assim, consegui concluir a minha dissertação.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me conceder a vida da qual desfruto todos os dias. Aos meus pais por todo apoio, que foram fundamentais para essa conquista, e que estiveram diretamente envolvidos no crescimento pessoal e profissional desde o começo deste curso.

Agradeço a minha professora pela orientação do trabalho, pelo auxílio devotado a mim, todo suporte técnico, atenção e dedicação, durante todo o decorrer deste trabalho. Agradeço também aos meus professores que durante muito tempo me ensinaram e que me mostraram o quanto estudar é bom.

Sou grato a todos os professores que compuseram a banca avaliadora, estes que dispuseram de seu tempo para participarem do desfecho deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas que foram indescritíveis a convivência e o crescimento mútuo que tivemos durante o período. Muitos trabalhos, aprendizados e desenvolvimento de atividades que me proporcionaram um grande crescimento pessoal e profissional.

Aos meus familiares, que foram de extrema importância, proporcionando apoio, força e sustentação para seguir firme na caminhada até o final. Suportaram a carga imposta por esses longos anos de estudo e que agora vibram com a minha vitória.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Devemos julgar um homem mais pelas suas perguntas que pelas respostas”*

*Voltaire.*

## RESUMO

Os avanços tecnológicos que o setor industrial apresenta são resultados das revoluções industriais dos últimos três séculos, tais avanços serviram de impulso para globalização, onde não há limites para a produção em massa. A construção civil é um setor relevante na sociedade, além do seu lado social e econômico, destaca-se a questão ambiental. com muita ênfase aos impactos ambientais. Este setor no Brasil é considerado um segmento que mais descarta resíduos de forma incorreta ao meio ambiente, representando 31 milhões de toneladas de descarte por ano. Através de uma revisão da literatura científica de artigos acadêmicos, livros e periódicos, foram obtidas as informações para a fundamentação do trabalho em analisar o conceito BIM (*Building Information Modeling*) como uma forma em auxiliar o fortalecimento da sustentabilidade na construção civil no Brasil. Atualmente são desenvolvidas e adaptadas novas tecnologias, visando eliminação de erros, retrabalhos, desperdícios, redução de custos e redução de resíduos a serem descartados de forma incorreta. Sendo assim, o BIM é um conceito de alta relevância voltado para o setor, no qual foi pensado para dar apoio aos profissionais da área por todo o ciclo de vida útil da edificação, desde o esboço do projeto até a fase de desmobilização. A partir desse relevante conceito é possível ter mais construções inteligentes e fortalecer a sustentabilidade na construção civil. Para a elaboração deste trabalho utilizou-se da revisão bibliográfica para pesquisar o material científico sobre o tema BIM e a sustentabilidade na construção civil. Posteriormente, utilizou-se a matriz SWOT para identificar as fraquezas e ameaças no processo construtivo. A partir desta identificação, aplicou-se o conceito do diagrama de Ishikawa, para a identificar as causas que poderiam ser mitigadas para que o uso do BIM possa ser implementado como uma opção de construção sustentável no Brasil. Os resultados indicaram que a especialização dos profissionais nos vários níveis é uma causa importante a ser trabalhada. Outro ponto que se pode ressaltar é o alto custo da implementação do processo no país.

**Palavras-Chave:** Modelagem 3D. Sustentabilidade. Construção Civil.



## ABSTRACT

The technological advances that the industrial sector presents are the result of the industrial revolutions of the last three centuries, such advances served as an impetus for globalization, where there are no limits to mass production. Civil construction is a relevant sector in society, in addition to its social and economic side, environmental issues stand out. with great emphasis on environmental impacts. This sector in Brazil is considered a segment that discards the most waste incorrectly into the environment, representing 31 million tons of disposal per year. Through a review of the scientific literature of academic articles, books and periodicals, information was obtained for the justification for using the BIM concept to increase sustainability in Brazilian construction. New technologies are currently being developed and adapted, aiming to eliminate errors, rework, waste, reduce costs and reduce waste to be discarded incorrectly. Therefore, BIM (Building Information Modeling) is a highly relevant development aimed at this sector, this concept was designed to support professionals in the area throughout the entire life cycle of the building, from the project sketch to the of demobilization. Based on this relevant concept, it is possible to have more intelligent buildings and strengthen sustainability in civil construction. To prepare this work, a bibliographical review was used with the purpose of gathering scientific material on the topic of BIM and sustainability in construction. Subsequently, the SWOT matrix was used to identify weaknesses and threats in the construction process. Based on this identification, the concept of the Ishikawa diagram was applied to identify the causes that could be mitigated so that the use of BIM can be implemented as a sustainable construction option in Brazil. The results indicated that the specialization of professionals at various levels is an important cause to be worked on. Another point that can be highlighted is the high cost of implementing the process in the country.

**Keywords:** 3d modeling. Sustainability. Civil Construction

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIACÕES.....	13
CAPÍTULO I.....	14
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	14
1.1 Introdução .....	14
1.2 Justificativa .....	17
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo Geral .....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
1.4 Metodologia Resumida.....	18
1.5 Composição da Dissertação .....	19
CAPÍTULO II .....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	21
2.1. O uso do Conceito BIM Na construção civil .....	21
2.2. Construção e Sustentabilidade no Brasil.....	23
CAPÍTULO III.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
3.1. Artigo 1 .....	25
3.2. Artigo 2 .....	35
CAPÍTULO III.....	54
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
3.1 Conclusão .....	54
3.2 Sugestões de trabalhos futuros .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
ANEXOS.....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da configuração da dissertação ... ..	19
Figura 2 - Industry 4.0 enabling technologies.....	26
Figura 3 - Shows the development of the method ... ..	40
Figura 4 - The cause effect Ishikawa diagram negative factors .....	43
Figura 5 - The cause effect Ishikawa diagram positive factors ... ..	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Some of the Industry 4.0 technologies that can be implemented in Civil Construction .....	30
Tabela 2 - SWOT analysis using current literature .....	38
Tabela 3 - Root causes attributed to Ishikawa 1 branches .....	39
Tabela 4 - Root causes attributed to Ishikawa 2 branches .....	41

## **LISTA DE ABREVIações**

BIM - Building Information Modeling

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IOT - Internet das Coisas

IPEA - Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas

PDE - Plano de Desenvolvimento da Escola

PIB - Produto Interno Bruto

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

VANT's - Veículos aéreos não tripulados

TI – Tecnologia da Informação

## CAPÍTULO I

### 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

#### 1.1 Introdução

A indústria da construção civil é um dos setores econômicos mais importantes para a maioria dos países principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, pois, além de fomentar o desenvolvimento, é responsável por criar diversas rendas na qual é considerada de extrema importância para a transmutação da sociedade moderna, resultando em uma melhor infraestrutura. No entanto, também é responsável pelos impactos negativos que gera no meio ambiente, dados os processos que causam a poluição ambiental, o alto consumo de recursos naturais e o grande volume de resíduos produzidos por essa indústria (CARVALHO, 2012).

A Associação Ambiental Quercus (QUERCUS, 2018), apontou que os edifícios são os principais contribuintes para as alterações climáticas, uma vez que são responsáveis por um elevado consumo de energia, uma elevada taxa de produção de resíduos, **além** de estarem associados a alterações na ocupação do solo. Além de Quercus outras autoridades ambientais confessam e notam o valor da modernização de processos no setor da construção civil, Dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) indicam que acidentes com produtos químicos (óleo diesel, gasolina, ácido sulfúrico, entre outros) vem aumentando e ocorrem na hora de transportar esses produtos. Isto porque, dados do IPEA (Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas), estima que apenas no Brasil os resíduos gerados pela construção civil seja em torno de 31 milhões de toneladas por ano (SEVERIANO JUNIOR, 2021). Por isso, tornar seus processos mais sustentáveis é um dos maiores desafios do setor, e a aplicação de soluções integradas pode ser um fator relevante para essa mudança (CBIC, 2016).

Para mitigar essas externalidades, cada vez mais iniciativas sustentáveis têm sido buscadas nas atividades desenvolvidas, de forma a adequá-las aos padrões de

qualidade e cuidado com o meio ambiente solicitados pela sociedade e até mesmo pela sobrevivência da indústria.

Diante de tal fato e, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2015), pesquisas desenvolvidas pela empresa de consultoria em gestão Accenture, temas que antigamente não eram amplamente discutidos na construção civil vem ganhando atenção. Por exemplo, o crescente debate sobre sustentabilidade e a busca pelo equilíbrio entre o desenvolvimento econômico do setor e a preservação dos recursos naturais disponíveis à humanidade; o uso de energia renovável como alternativa à redução do consumo de energia proveniente de fontes hídricas e caloríficas, por meio da introdução de painéis solares nas edificações, tanto durante a execução da obra quanto no usufruto da infraestrutura.

Entre outros pontos importantes estão a constante pesquisa por novos materiais de construção civil, com características mais eficientes e com baixo custo de extração, como também de métodos construtivos mais eficazes e racionais (SATO, 2011). A adoção de tecnologias para automatizar as construções, utilizando a realidade aumentada para projetar as estruturas e visualizá-las antes do início da execução (FIRJAN, 2016). A impressão 3D para, dentre outras funcionalidades, criar modelos e fôrmas, facilitando e padronizando a etapa de execução e o uso de softwares em geral, que estão cada vez mais completos, compilando, em apenas um arquivo, todas as informações necessárias a todos os envolvidos na execução da obra, como por exemplo o BIM (*Building Information Modeling*), reduzindo consideravelmente o tempo despendido na execução dos projetos (CE-BIM, 2018).

O BIM é um conceito que engloba um software específico para construções civis, que auxilia na gestão e manutenção de edifícios ao longo do tempo (FERRER e ARROYO, 2019). É uma abordagem que integra uma representação digital abrangente das informações do edifício ao longo das diferentes fases do ciclo de vida do projeto (GU et al., 2008). A tecnologia BIM permite a construção de um modelo virtual preciso de um edifício, contendo geometria precisa e dados relevantes para apoiar as atividades de construção (VOZZOLA, CANGIALOSI e TURCO, 2009). Por outro lado, o processo BIM envolve também a criação e manutenção de um banco de dados digital de informações relacionadas a um edifício (LEON, 2012).

Tal processo influencia na redução dos resíduos que eventualmente ocorrem nos projetos que não utilizam o BIM. A literatura sugere que BIM tem o potencial de contribuir para práticas de construção sustentáveis. Rajendran, Seow e Chen (2012) destacam que o BIM pode auxiliar na gestão da construção sustentável, melhorando o desempenho e facilitando a colaboração entre as partes interessadas. Soltani (2016) enfatiza que o BIM pode contribuir para a sustentabilidade através de suas dimensões ambientais, econômicas e sociais. Schamne et al. (2022) discute a aplicação do BIM na avaliação de sustentabilidade de edifícios, indicando que o processo pode ajudar a atender aos requisitos de sustentabilidade, particularmente nos aspectos de materiais e recursos. Zulkefli; Mohd-Rahim e Zainon (2020) explora o potencial do BIM na ecologização de edifícios existentes, destacando a sua capacidade de apoiar diversas análises de sustentabilidade, tais como energia, emissões de carbono e gestão de resíduos. Nesse contexto, o conceito BIM pode desempenhar um papel significativo na promoção da sustentabilidade da construção, melhorando a colaboração, melhorando o desempenho e facilitando avaliações de sustentabilidade.

Para acompanhar as mudanças que ocorrem na indústria da construção civil é necessário observar o que a tecnologia tem revelado ao setor, adequar informações, ferramentas e métodos aos processos construtivos e, acima de tudo, adaptar-se com flexibilidade às transformações que ocorrem no setor. Essa é uma das áreas que mais se beneficiará com inovações que ajudem a reduzir custos por meio da automação de processos (CE-BIM, 2018).

No entanto, a construção civil é um tema muito diverso, podendo ser encontrado desde a reforma de pequenas casas, bem como até a grandes obras de arte, como construção de pontes, viadutos, aeroportos, prédios, shopping centers, portanto o uso de tecnologias depende do tipo de construção, as tecnologias devido aos seus custos em treinamento de profissionais, bem como aquisição de softwares e implantação das tecnologias. Essa dissertação estuda construção de grande porte, como prédios de alto padrão.

O BIM é um conceito transformador que está revolucionando as indústrias de construção e engenharia. Ao integrar sensores e dispositivos IoT em modelos BIM, pode-se criar edifícios inteligentes que são mais eficientes, sustentáveis e que respondem às necessidades dos usuários (TANG et al., 2019). Embora o mercado



brasileiro possa ser considerado como potencial, as iniciativas ainda são poucas, limitando-se ao desenvolvimento de projetos da construção civil de grande porte, como prédios de alto padrão (FIRJAN, 2016).

## 1.2 Justificativa

O desenvolvimento e o crescimento de uma sociedade baseiam-se nos conhecimentos e experiências, tanto positivas como negativas, que ela vivencia ao longo do tempo.

A indústria da construção no Brasil não tem conseguido acompanhar o crescimento tecnológico e digital que o mundo viveu nas últimas duas décadas, **atualmente existem poucas usinas de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos gerados pela construção civil**, dessa forma, o processo construtivo no país ainda gera muito resíduo e por muitas vezes o descarte incorreto ao meio ambiente, assim impactando na sustentabilidade da construção civil.

Este estudo avaliou como o uso de ferramenta tecnológica BIM pode interferir no processo construtivo para melhorar a sustentabilidade. A pesquisa tentou atender ao ODS 9 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da agenda 2030) da ONU, no tocante a apoiar o desenvolvimento tecnológico e ao ODS 11, no sentido de reduzir o impacto ambiental negativo *per capita* das cidades, inclusive prestando especial atenção à redução de resíduos municipais.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar o uso do conceito BIM para aumentar a sustentabilidade na construção civil brasileira.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar como as principais tecnologias digitais utilizadas na

Construção Civil impactam a produtividade, qualidade e eficiência dos processos da construção civil que podem facilitar a implementação da sustentabilidade;

- Identificar os fatores que impactam na sustentabilidade da construção civil no Brasil e como o BIM pode auxiliar na mitigação desse impacto.

#### **1.4 Metodologia Resumida**

Para a construção dessa dissertação foi feita uma revisão da literatura científica a fim de coletar dados para maiores esclarecimentos ao uso da plataforma BIM no aumento da sustentabilidade da construção civil no Brasil.

Segundo Gil (2008) as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver e modificar conceitos e ideias, visando a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.

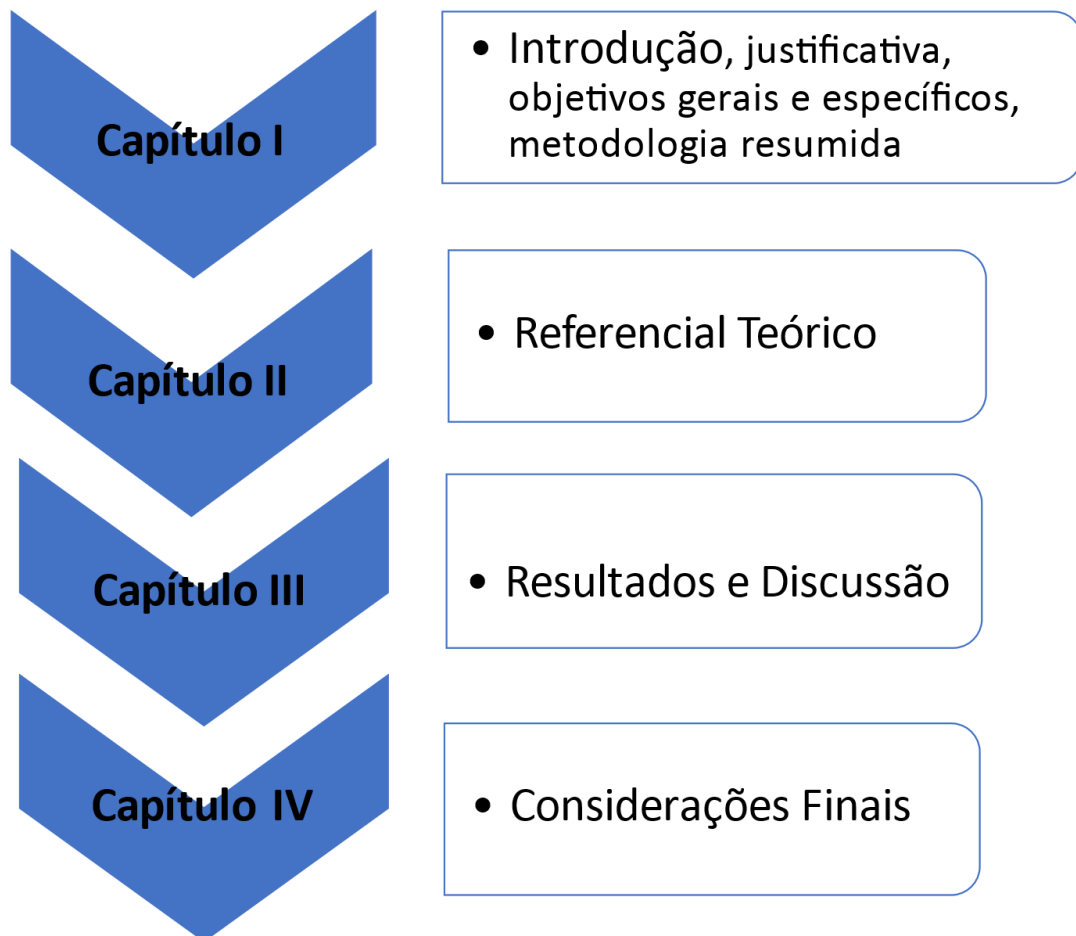
No primeiro artigo de congresso, foi realizada busca nas bases de dados Scopus, Google Scholar e Scielo, a partir do refinamento dos resultados dos artigos científicos, livros e periódicos, foram obtidas as informações para a fundamentação teórica., no sentido de identificar as tecnologias que podem auxiliar na melhoria da sustentabilidade na construção civil.

No segundo artigo, submetido a um periódico internacional, utilizou-se a revisão de literatura para implementar a análise da matriz SWOT e identificar os pontos fortes e fracos, as oportunidades e ameaças com foco no uso do BIM como proposta para melhorar a sustentabilidade da construção civil no Brasil. Entendido como fatores negativos, foram atribuídas as causas que eventualmente poderiam interferir no sucesso da aplicação do BIM no processo construtivo e foram estimados os pesos destes utilizando a escala adaptado de Likert, desenvolvida por Rensis Likert em 1.930 essa escala tem como finalidade a pesquisa quantitativa (DOS SANTOS; DAMIAN, 2018). Posteriormente, o diagrama de Ishikawa foi aplicado utilizando as fraquezas e ameaças encontradas, em uma segunda análise dentro do mesmo conceito, utilizando as forças e oportunidades, entendido como fatores positivos, foram atribuídas as causas que eventualmente mantem a sustentabilidade com o uso do BIM na construção civil.

## **1.5 Composição da Dissertação**

Este estudo está apresentado em capítulos, conforme indica a Figura 1

Figura 1. Esquema da configuração da dissertação.



- Capítulo I: Inclui a introdução do tema, justificativa, objetivos gerais e específicos, metodologia resumida;
- Capítulo II: Trata do Referencial teórico;
- Capítulo III: São apresentados os resultados e a Discussão; e
- Capítulo IV: São apresentadas as considerações finais bem, como são deixadas as sugestões para os trabalhos futuros com base aos estudos feitos nessa dissertação.

## CAPÍTULO II

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste Capítulo apresenta-se um breve referencial teórico sobre os temas estudados nessa dissertação.

A construção civil tem grande importância econômica para diversos países, principalmente países em desenvolvimento como o Brasil. O setor da construção se dedica a diversas atividades e apresenta uma taxa média de crescimento de 3% ao ano, representando 6% do PIB do Brasil e gerando 24% do total de empregos formais (BRANCHER; GONÇALVES, 2016). Desde a Primeira Revolução Industrial, ocorreram avanços significativos no setor da construção, principalmente na utilização do carvão mineral como fonte de energia que possibilitou a produção em escala industrial. Foi possível fabricar peças de ferro com melhor qualidade e agilidade por meio de descarbonização, laminação, jatos de ar quente e martelos a vapor, proporcionando oportunidades de incorporação do ferro na indústria da construção (RÖCKER, 2021).

#### 2.1. O uso do Conceito BIM Na construção civil

O BIM é definido como um conceito criado para gerenciar informações em um projeto de construção em todo seu ciclo de vida, o conceito detém de uma família de *softwares* que mantem interoperabilidade entre si, sendo fundamentado por três pilares, AI) tecnologia, AII) processo e AIII) pessoas. Parte integrante do conceito estão as dimensões BIM, BI) 3D BIM - modelo, BII) 4D BIM - planejamento, BIII) 5D BIM - custos, BIV) 6D BIM - sustentabilidade. BV) 7D BIM - gestão da manutenção (SACKS et al., 2021).

Trabalhando em uma metodologia BIM, é possível identificar ferramentas que permitem vincular umas com as outras informações do projeto, como, acústica, térmica, ergonomia, acessibilidade, sustentabilidade, etc. (HOUSTON, 2017). O BIM auxilia a limitação de práticas que causam grandes desperdícios de material, com o conceito, é possível prever a quantidade de resíduos gerados na construção e então

é possível já planejar as separações de reciclagem de matérias de resíduos. Com o uso do conceito BIM, é possível fortalecer a sustentabilidade nos seus três pilares, i) sociais, ii) ambientais e iii) econômicos (MATTANA e LIBRELOTTO, 2017). Embora a questão da sustentabilidade seja importante, muitas construtoras ainda não adotaram essa prática para encontrar soluções para os problemas decorrentes de suas atividades (PELOSOF, 2016).

Além das vantagens anteriormente citadas, o BIM influi em todo o ciclo de vida da construção, desde o esboço até a conclusão, trespassando até a entrega da construção para o administrador do condomínio e chegando ao proprietário ou morador, que fará o monitoramento e controle das manutenções de prevenção, bem como as modificações ou incrementações, e que deverá dar continuidade ao abastecimento e manutenção das informações ao conceito BIM (EASTMAN et al., 2011).

Estima-se que num futuro próximo será possível automatizar o canteiro de obras, com ferramentas como BIM, drones e novos materiais, máquinas no lugar do trabalho manual, software no lugar de anotações e soluções tecnológicas robustas para substituir ferramentas pesadas. Além disso, o controle de todas as etapas da obra será feito por meio de aplicativos com interface simples baseada em realidade aumentada (RAMOS; RODRIGUES e MELLO, 2018).

Porém, sem a internet das coisas (IoT), os canteiros de obras automatizados se tornarão um conceito muito longínquo da rotina dos engenheiros civis (CHEN; SOTO e ADEY, 2018). É uma IoT que fornece comunicação e gerenciamento de dados entre objetos, com eles, os dispositivos se conectam à internet e trocam dados entre si, eliminando, entre outras etapas, operações manuais para controlar as etapas do trabalho (MENDES e RIBEIRO, 2016). Além disso, as informações do projeto são armazenadas na nuvem, reduzindo significativamente o uso de papel e aproximando-se da inteligência artificial. (AGARWAL; CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)

Com a automação do canteiro de obras, e a digitalização das informações em mãos, é importante atentar-se para a necessidade de capacitar os profissionais, é válido um estudo de viabilidade para uma comparação de custos para o reaproveitamento dos profissionais a serem capacitados, com a demissão e contratação de profissionais já com a experiência de operações das novas tecnologias, pois o tempo de treinamento e capacitação dos profissionais existentes, podem resultar na perda de eficiência

(ZUCHETTO e LANTEME, 2020).

## **2.2. Construção e Sustentabilidade no Brasil**

Nos países em desenvolvimento, inclusive no Brasil, a construção civil ainda é reconhecida pela baixa produtividade, baixo controle de qualidade de seus produtos e qualificação insuficiente de sua mão de obra (OCHIENG et al., 2014). A indústria da construção tem um impacto ambiental significativo, tanto em termos de utilização de recursos como de geração de resíduos. Produz uma grande variedade de resíduos no local, cuja quantidade e tipo varia dependendo da fase de construção, do tipo de trabalho a ser executado, das alterações de projeto solicitadas pelas partes interessadas e das práticas seguidas ao longo do ciclo de vida do projeto (LIU et al., 2011). As evidências sugerem que a integração de princípios sustentáveis em projetos de construção leva a uma construção sustentável bem-sucedida (OCHIENG et al., 2014).

No entanto, é essencial desenvolver um quadro para gerir a execução sustentável de projetos com base em princípios sustentáveis. No âmbito da Quarta Revolução Industrial, o avanço da tecnologia da informação permitiu o desenvolvimento de ferramentas de software para melhorar o planejamento de projetos e reduzir desperdícios. Pesquisas anteriores sugerem que as técnicas de Building Information Modeling (BIM) podem contribuir para práticas de construção sustentáveis. Jayasinghe e Waldmann (2020) propõem um sistema baseado em BIM que viabiliza a economia circular gerenciando de forma eficaz a reciclagem de materiais e a reutilização de componentes na construção.

As aplicações BIM em edifícios pré-fabricados são utilizadas principalmente nas fases de construção e produção. Os conceitos de construção pré-fabricada estão relacionados a um tipo de construção e a uma disciplina complexa de engenharia de sistemas que requer técnicas e conceitos de engenharia de sistemas para abordar questões práticas (XIAO e BHOLA, 2022).

Estudos anteriores mostram a aplicação do BIM na construção sustentável. Liu et al. (2011) exploram a aplicação potencial do BIM para eliminar desperdícios e

melhorar o desempenho da construção sustentável. Rui (2021) destaca a importância da tecnologia BIM na concepção e construção de edifícios verdes e inteligentes para o desenvolvimento sustentável. Estas descobertas indicam que as técnicas BIM podem ajudar a minimizar o desperdício de construção e promover práticas sustentáveis na indústria da construção civil.



## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados e a discussão se encontram sob a forma de artigos científicos.

#### **3.1. Artigo 1**

Esse artigo foi organizado com base em uma revisão da literatura, teve como objetivo contribuir com o estudo de algumas das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que colaboram em fortalecer a sustentabilidade na Construção.

O artigo foi submetido na 12<sup>o</sup> Edição do Congresso 12<sup>o</sup> edição International Workshop on Advances In Cleaner Production, que ocorrerá em 23 e 24 de Novembro de 2023 na África do Sul, onde o artigo citado foi apresentado. A leitura das bibliografias do referido artigo, auxiliaram para o desenvolvimento dessa dissertação.

O artigo foi aceito para publicação nos anais do evento (Anexo 1).

Stellenbosch  
South Africa  
November  
23th and 24th, 2023



“Ways forward to promote  
resources equity:  
The role of cleaner production  
and circular economy  
as moderator.  
Action or Reaction  
to Save the Planet”

---

INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

---

## THE CONTRIBUTION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES TO THE SUSTAINABILITY OF CIVIL CONSTRUCTION:

### A LITERATURE REVIEW

CAMPOS , Anderson Francisco de., SILVA , Marcia Terra da

*UNIP - Universidade Paulista, São Paulo*

*\*Anderson Francisco de Campos, afc.unip@gmail.com*

---

**Abstract:** This article aims to analyze Industry 4.0 (I4.0) technologies, which can be used in civil construction to reduce the negative impact on the environment and society. For this, the scientific literature review method was used, through a search in the Scopus, Google Scholar and Scielo databases, using the keywords "Environment" or "Sustainability" and "Construction 4.0" or "Industry 4.0 technologies in construction". As a result, it was found that some technologies are important to reduce the aggression to the environment, such as the 3D printer that allows reducing the disposal of waste, BIM, which can reduce design errors that would result in rework and waste disposal, and the drones performing dangerous activities, in this case allowing greater safety for the worker.

*Keywords: Sustainability; Construction; Technologies of Industry 4.0.*

---

### 1. INTRODUCTION

With the arrival of the Fourth Industrial Revolution, better known as Industry 4.0 (I4.0), which holds several technologies, some such as Artificial Intelligence, Robotics, Internet of Things, Cloud Computing (CARVALHO et al., 2022). With Civil Construction it was no different, with the increase and adaptation of I4.0 technologies to this sector, new execution methods and more qualifications of labor will emerge. (LEKAN; CLINTON; OWOLABI, 2021).

Seeking to offer an alternative to align sustainable development goals with digital transformation, I4.0 is an option that is being inserted in manufacturing. "Smart factories" are

---

“WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET?”

---

Stellenbosch - South Africa - November 23 and 24 , 2023

considered highly efficient in the use of resources, quickly adapting to demand and economic scenarios, and can be implemented in Civil Construction (SIMÃO *et al.*, 2019). I4.0 can support flexibility, efficiency and production through technologies that need further study and understanding of their connection to environmental sustainability challenges. In this way, contributions aimed at economic, ecological and social conquests are expected. (SOARES; GOHR, 2021)

This article aims to carry out a literature review on the contributions of Industry 4.0-enabling technologies used in civil construction and their impacts on sustainability.

## 2. THEORETICAL FRAMEWORK

### 2.1 The Technologies of Industry 4.0

Civil construction has increasingly mirrored industry 4.0, adapting the use of technologies to its business model. (CAVALCANTI *et al.*, 2018). Such technologies are, as explained in Figure 1:

**Fig.1 - Industry 4.0 enabling technologies**



Source: (NETO, 2022)

Industry 4.0 can be described as a complex system, which includes many interactive agents that exhibit organized, non-ordinary behavior (CARVALHO *et al.*, 2022). It is a characterized system, which due to its technological advances is capable of uniform production and high performance. (CUENOT; QUENEDEY, 2016).

Artificial intelligence is a technology that, through combinations of algorithms and computing data, can intelligently learn and imitate human intelligence, making it possible to complete actions and decision-making. (CARVALHO *et al.*, 2022)

---

“ WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET? ”

Stellenbosch – South Africa – November 23 and 24 , 2023

The Internet of Things (IoT) is a concept that takes into account the prevalence of a lot of technological equipment, being able to make digital connections of equipment, with transfer of technologies and information. Big Data and Cloud Computing are concepts in the pillar of Industry 4.0, Big Data can be a solution for storage and solutions for big data information, since Cloud Computing allows data to be shared by all devices of the project and with that can provide more agility in the civil construction process and offer better decision-making.

### 3. SUSTAINABILITY

It is believed that Industry 4.0 can produce positive results for better sustainability in the production process. In this interaction, several points can be examined, for example process safety, efficiency in resource consumption, and the development of more flexible and intelligent processes that deal with impacts at the level of sustainability. (KAYIKEI, 2018)

When civil construction uses the resources offered by industry 4.0, it helps to minimize environmental impacts, such as: better use and use of resources such as the water system, electrical system and waste disposal system (ROQUE; PIERRE, 2019). The water system can become more sustainable if decisions are taken during the construction project. For example, the use of a draining ecological floor and its layers of filters, which can receive rainwater, filter it and, through drains, take this water to a reservoir allows to reuse it for other purposes, saving drinking water for a more noble use.

Energy efficiency is another example that helps to minimize environmental impacts through the installation of solar panels for the production and storage of electrical energy.

And finally, the waste disposal system, in the constructive system, which uses recyclable waste, with the correct disposal certificate through tracking technology, indicating the disposal site and its recycling, would make the system less aggressive to the environment environment. According to Lara; Kempter; Penteado (2021, p.41) " Thus, the transition to a circular economy (CE) is seen as an alternative to reduce environmental impacts and contribute to economic growth, constituting a new system that promotes the valuation of materials throughout the life cycle and minimizes waste "

The examples above point out that the tendency of Civil Construction towards sustainability begins in its planning and design, where one should already think about sustainable means.

### 4. METHOD

The article presents a literature review on the technologies of Industry 4.0, Sustainability and the Applications of Technologies to Civil Construction, the article seeks to identify

---

" WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET? "

Sustainability with the increments of Technologies that address the relationship between the themes, Technologies of Industry 4.0 applied to Construction Sustainable Civil.

According to Koller; Couto; Hohendorff (2014, p.39), the best way to prepare a literature review is to research academic scientific articles already published, select articles related to the defined line of research, read the articles, and with that elaborate in a clear and succinct way the understandings obtained.

For the construction of this article, a search was made for scientific articles, books and periodicals, in the databases of Scopus, Google Scholar and Scielo, search made using the keywords "Environment" or "Sustainability" and "Construction 4.0" or "Industry 4.0 technologies in construction", with the presented results of 4,525 works, were refined through the selection of publications of articles from the years 2013 to 2023, and works of free access, with direction to the area of the subject, with this it was reached the result of 542 scientific articles, and with a reading of the abstracts of the selected articles, it was possible to extract only the articles that adhered to the objective of the research, which were read in full, and the critical analysis led to the narrative review presented in the results and discussions.

The results outline the final portfolio, and arguments related to this proposal for a literature review that are presented in this article.

## 5. RESULTS AND DISCUSSIONS

Human resources and natural resources, with the implementation of Industry 4.0 Technologies in civil construction, taking into account the major impacts, it should be noted the advantages of productivity, quality, efficiency without waste, the use of certified products and inputs, ecologically correct, thus achieving an improvement in sustainability (NETO, 2022).

According to Reis (2021), with the arrival of Industry 4.0, it was possible to automate production intelligently, being able to unite the real environment with the artificial one and with the proper use of Industry 4.0 technologies, it is possible to sustainably reduce consumption of energy, for Gregori et al. (2017) it is noticeable that industries that allow technologically and socially sustainable production methods improve social working conditions. As for NETO (2022, p. 36) "The adoption of Industry 4.0 components would have a great impact on the entire civil construction chain. In addition to the advantages generated by the increase in productivity, efficiency, quality and collaboration, the adoption of these components can increase safety and sustainability, improving the performance of the sector".

For Carvalho et al (2022, p. 8) "Industry 4.0 aims to increase the flexibility of the evolution of production processes in a more sustainable context". In addition to being integrated with sustainability and the environment, it is essential that all this technology can serve all classes of

---

"WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET?"



civil construction. The demand to deploy and implement must be a complex and costly process that can impact entrepreneurs in obtaining a tangible price for the majority of the population.

As for Ribeiro (2019, p. 50) "The monitoring and inspection of the work, previously done in person, is now done through devices attached to the drone and allows access to places of difficult access such as dams, bridges, buildings, towers, churches, among others. This methodology was applied in the pre-project phase of the site survey".

Therefore, among the advantages of deploying and implementing Industry 4.0 technologies in companies in the civil construction sector, it aims at changing to be less aggressive towards sustainability, reducing failures in the design phase of projects, in construction production, offering more quality, speed of execution and less waste of inputs, generating less disposal waste. The main contribution of this article is to analyze the benefits generated in the interoperability process in the management of technologies, and to obtain greater sustainability in civil construction.

Unmanned equipment for observation and manipulation of difficult-to-access places, being a useful tool for Civil Construction, for example: in a 30-meter-high building that has cracks on the outside on the top floor, instead of carrying out inspection in a traditional way that uses rappelling strategies involving the safety of the professional, you can use a Drone that is an Unmanned Aerial Vehicle (UAV), it is safer and offers greater agility for inspection, thus making response faster decisions (NERY, PIMENTA, BRAGA, 2021).

3D printers have the function of making solid objects quickly, through additive manufacturing with smaller particles, and with the elimination of customized production tools, the 3D printer has a cost reduction, avoids unnecessary waste collaborating with Environmental Sustainability, has greater production time agility, since the traditional construction process demands a lot of time, and production failures may occur during the construction process. Taking into account that the 3D Printer technology can be used, with the Civil Construction waste inputs, properly mixed with the appropriate aggregates, and thus avoiding the incorrect disposal of waste, obtaining an improvement in sustainable production. (PAIM, ALMEIDA, 2018)

The Autonomous or Robotized machines, through close commands interconnected to cables, or even through remote commands through data exchange between Cloud Computing, are used to perform human activities, where you can obtain the total security of the professional operator, achieve a faster production with more quality, avoiding waste with errors, or excess of materials. (ARAÚJO *et al.*, 2013).

Large buildings are increasingly using technology, due to the huge volume of data they can use in their cycle, Cloud Computing supports Big Data which in turn stores large volumes of data, with Computing in the Cloud, it is possible to remotely access the data of the civil construction project from any device that connects to the internet, in addition to offering greater

---

" WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET?"

security to the project information, it can make the process more agile and reduce the chances of error during execution of construction. (SIMÃO *et al.*, 2019).

The use of augmented reality collaborates with the development of the project by the architects, making it possible to mix physical and virtual environments with the use of appropriate software and associated artificial intelligence applications. The main attraction of using this technology is having the ability to project reality without being in the physical environment of the building, making it safer, and providing convenience and comfort to the user. With this technology, it is possible to have efficiency, speed in production, and high agility in finding divergences and correcting them quickly (GABRIEL, AMARAL, CAMPOS, 2018).

**Table 1 - Some of the Industry 4.0 technologies that can be implemented in Civil Construction**

Technology	Utility in construction
Drone (NERY, PEPPER, BRAGA, 2021)	Known and called UAVs, (unmanned aerial vehicles). In civil construction, it can assist in collecting aerial images, helping with inspections in works, deliveries of inputs, it is an economical technology and can offer more security during the project process.
3D printers (PAIM, ALMEIDA, 2018)	In civil construction, it is a machine that can produce projects, three-dimensional models quickly with quality and without waste.
Autonomous or Robotized Machines (ARAÚJO <i>et al.</i> , 2013)	Autonomous machines and robots can be operated autonomously, without the need for a person inside the machine. Autonomous machines and robots can produce with previously programmed commands, without the need for manual guidance.
Cloud computing (NETO, 2022)	In civil construction, cloud computing helps to access any information, consult projects in real time, obtain the solution remotely from any device connected to the internet .
Augmented Reality (GABRIEL; AMARAL; CAMPOS, 2018)	Augmented reality technology can be coupled to the BIM concept and help a lot in the project, they propose a better view of what will be built, and even virtual tours of what is being built.
Artificial intelligence (GABRIEL; AMARAL; CAMPOS, 2018)	The artificial intelligence that mimics human intelligence, allows that through stored data, make decisions using patterns and algorithms, in civil construction artificial intelligence can help various phases of a construction process, from planning, as well as maintenance and project management.

## 6. FINAL CONSIDERATIONS

The fourth industrial revolution has become a reality. This concept is implemented in the production methods. When considering the benefits, global efforts are underway to implement these innovations through national action programs. Main technologies currently on the market, and under development: drones, 3D printing, autonomous machines, BIM concept and etc.

According to Ribeiro (2019), the BIM platform is a technology with great potential, widely accepted in the market and already being implemented. Drones offer labor savings, digitization and information gathering, mobility for inspections and field studies and are available at comparatively affordable prices. They can be applied from the field survey phase to post-work. It is noticed that technologies based on the fourth industrial revolution are constantly developing and adapting to needs.

For Barducco and Constâncio (2019) "the adoption of technologies to automate constructions, using augmented reality to design structures and visualize them before the start of execution, 3D printing to, among other functionalities, create models and shapes, facilitating and standardizing the execution stage and the use of software in general, which are increasingly complete, compiling in just one file all the information necessary for all those involved in the execution of the work".

To improve aspects of sustainability, many companies in the civil construction segment have been using several sustainable alternatives in their projects, such as the construction of intelligent buildings that can control water and energy resources, avoiding unnecessary waste, implementing automation technologies that control air conditioning machines controlling the building's internal temperature and humidity, automation to identify natural sunlight and control the building's internal luminosity, dimming light fixtures and saving electricity, installing solar panels to capture and store electricity that can be used for self-efficiency and thus reducing environmental and economic impacts. Civil construction companies come in time in search of achieving sustainable certificates through the intelligent and technological means of the projects to be built, from the beginning to the delivery of the property. (JUNIOR, ROMANEL, 2013)

Thus, the aim of this article was to review the literature of edited studies on the contribution of Industry 4.0 technologies to Civil Construction and its integration with sustainability. After application of the search method and literature review. The in-depth analysis examined the triple perspective of sustainability, economic, social and environmental. Aiming that in the midst of commercial and financial competition, companies in the civil construction segment must adapt to technologies in order to offer more quality in delivery, reducing execution times and reducing disposable waste, avoiding impacts on the environment, and offering means and

---

" WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET?"



sustainable products, in the current scenario, the company that is not advanced in technologies, suitable to offer smart and technological properties and that are sustainable, will have less chances of participating and winning bids, even being placed outside the competitive market.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

REIS, José Salvador da Motta. Proposta de framework para superar os desafios e explorar oportunidades da sustentabilidade por meio da indústria 4.0. 2021.

KAYIKCI, Yasanur. Sustainability impact of digitization in logistics. **Procedia manufacturing**, v. 21, p. 782-789, 2018.

BARDUCCO, Ana Paula Santos; CONSTÂNCIO, Beatriz Marques. Indústria 4.0: tecnologias emergentes no cenário da construção civil e suas aplicabilidades. **Engenharia Civil-Pedra Branca**, 2019.

BAPTISTA JUNIOR, Joel Vieira; ROMANEL, Celso. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, p. 27-37, 2013.

LARA, Beatriz Leão Evangelista de; DEZEN-KEMPTER, Eloísa; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Economia Circular Aplicada aos Resíduos da Construção Civil: revisão de literatura. 2021.

CARVALHO, A. de P.; ZARELLI, P. R.; VIEIRA, A. M.; DALAROSA, B. M. A relação da indústria 4.0 com a sustentabilidade: uma revisão. E-THEC. Florianópolis. 2022

CUENOT, P. V.; QUENEDEY, C. Industry 4.0: can the fourth industrial revolution save French industry? Wavestone, 2016. Disponível em: <https://www.wavestone.com/en/insight/industry-4-0-can-the-fourth-industrialrevolution-save-french-industry/>. Acesso em: 19 de jan. 2023.

GREGORI, Fabio et al. Digital manufacturing systems: a framework to improve social sustainability of a production site. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 436-442, 2017.

RIBEIRO, D. A. C. Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implantação no Brasil. UFOP. Ouro Preto. 2019.

SOARES, S. M. N.; GOHR, C. F. INDÚSTRIA 4.0 NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE: revisão sistemática da literatura e proposta de agenda de pesquisa. XXIII ENGEMA. Universidade Federal da Paraíba. 2021.

DOS SANTOS SIMÃO, Alessandra et al. Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20130-20145, 2019.

---

<sup>44</sup> WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET?

LEKAN, Amusan; CLINTON, Aigbavboa; OWOLABI, James. The disruptive adaptations of construction 4.0 and industry 4.0 as a pathway to a sustainable innovation and inclusive industrial technological development. **Buildings**, v. 11, n. 3, p. 79, 2021.

DE LIMA CAVALCANTI, Vladyr Yuri Soares et al. Indústria 4.0: desafios e perspectivas na construção civil. **Revista Campo do Saber**, v. 4, n. 4, 2018.

TUMA NETO, Alberto Antonio et al. Modelo de maturidade de tecnologias da indústria 4.0 para a construção civil. 2022.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, society and development**, v. 8, n. 2, p. e3482703-e3482703, 2019.

DA COSTA NERY, Lucas Mateus; PIMENTA, Jones Silva Amanajás; BRAGA, Jerffeson Steve Silva. O uso de veículos aéreos não tripulados na construção civil e suas contribuições no Brasil. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA**, v. 3, p. 558-565, 2021.

PAIM, Fabiane Gomes; DE ALMEIDA, Márcia Rego Sampaio. Estudo prospectivo sobre a utilização da impressora 3D na área da construção civil. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, p. 463-463, 2018.

DE ARAÚJO, Thais Gama Lins et al. Análise das tendências da aplicação da robótica e automação na indústria da construção brasileira. **Cadernos de Prospecção**, v. 6, n. 2, p. 219-219, 2013.

GABRIEL, João Carlos; AMARAL, M. A.; CAMPOS, G. M. Automação e robótica na construção civil. In: **Brazilian Technology Symposium, São Paulo-SP**. 2018. p. 1-7.

KOLLER, Sílvia H.; DE PAULA COUTO, Maria Clara P.; VON HOHENDORFF, Jean. **Manual de produção científica**. Penso Editora, 2014.

---

<sup>41</sup> WAYS TO PROMOTE EQUITY OF RESOURCES: THE ROLE OF CLEANER PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY AS A MODERATOR. ACTION OR REACTION TO SAVE THE PLANET?

### **3.2. Artigo 2**

Este artigo foi submetido ao Engineering Research Journal, com o título “Analysis of the factors impacting the sustainability of civil construction in Brazil”.

O artigo avalia as dificuldades da implantação da sustentabilidade da construção no país e aponta o BIM como uma possibilidade. O presente estudo utilizou a revisão de literatura para implementar a análise da matriz SWOT para identificar os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças deste estudo, assim aproveitando as oportunidades, definindo e mantendo as forças, prevenindo das ameaças, e trabalhando as fraquezas. Posteriormente, o diagrama de Ishikawa foi aplicado utilizando as fraquezas, ameaças, oportunidades e forças encontradas.

Os resultados indicaram que os principais problemas que interferem na falta de sustentabilidade na construção civil no Brasil se devem à quantidade de desperdício durante o processo. Entre as questões que afetam o sucesso da construção sustentável estão a falta de educação e treinamento adequados dos trabalhadores, o custo de software e hardware e a falta de gestores treinados em BIM para aplicar adequadamente os métodos durante todo o processo de construção.

## **ANALYSIS OF FACTORS THAT IMPACT THE SUSTAINABILITY OF CIVIL CONSTRUCTION IN BRAZIL**

### **Abstract**

Civil construction in Brazil is the fastest growing part of the business, contributing to Brazil's economic sustainability, representing 6.2% of Brazilian GDP, generating 24% of total formal jobs, thus contributing to a portion of social sustainability. The present study used a literature review to implement a SWOT matrix analysis to identify this study's strengths, weaknesses, opportunities, and threats to strengthen environmental sustainability and achieve firm consistency in the three pillars of sustainability. Subsequently, the Ishikawa diagram was applied using the weaknesses and threats found. The results indicated that the main problems that interfere with the lack of sustainability in civil construction in Brazil are due to the amount of waste during the process. Among the issues that affect the success of sustainable construction are the lack of adequate education and training of workers, the cost of software and hardware, and the lack of managers trained in BIM to properly apply the methods throughout the construction process.

**Keywords:** civil construction; sustainable construction; worker training.

### **1. INTRODUCTION**

Civil construction has great economic importance for several countries, especially developing countries like Brazil. The construction sector is dedicated to various activities and has an average growth rate of 3% per year, representing 6% of Brazil's GDP and generating 24% of total formal jobs (BRANCHER; GONÇALVES, 2016). Since the First Industrial Revolution, there have been significant advances in the construction sector, mainly in using mineral coal as an energy source that enabled production on an industrial scale. It was possible to manufacture iron parts with better quality and agility through decarbonization, lamination, hot air jets, and steam hammers, providing opportunities to incorporate iron into the construction industry (RÖCKER, 2021). During the Second Revolution, scientific knowledge and research laboratories began to be incorporated by industry. Steel quickly replaced iron in the most diverse applications after the invention of the Bessemer process and the Siemens-Martin furnace (DATHEIN, 2003), which finally gave rise to reinforced concrete with the function of resisting, respectively, compression and tension stresses. The development of internal combustion engines led to improved means of transport, making them more efficient and faster (ISAIA *et al.*, 2017). Since then, concrete construction techniques have been widely used in different geographic areas, such as places and human groups (SANTOS, 2006).

Previous literature highlights the links between sustainability and construction engineering. Zavadskas *et al.* (2018) emphasize the multidimensional nature of sustainable construction, covering areas such as sustainable architecture, construction materials, economics, infrastructure planning, and project risk assessment. Ochieng *et al.* (2014) explore integrating sustainability principles into construction projects, supporting the positive impact on project performance. Sustainable project planning is a critical practice for integrating sustainability into construction engineering projects, and Yu *et al.* (2018) highlight the dimensions of management control, risk response, and consensus at work. Francis and Thomas (2020) suggest expanding the boundaries of lean construction to include the operational phase of projects to achieve broader environmental benefits to improve efficiency and reduce waste.

In developing countries, civil construction is still recognized for low productivity, low quality control of its products, and insufficient qualifications of its workforce (OCHIENG *et al.*, 2014). The construction industry has a significant environmental impact, both in terms of resource use and waste generation. It produces a wide variety of waste on-site, the quantity and type of which varies depending on the construction phase, the type of work to be performed, design changes requested by interested parties, and the practices followed throughout the project life cycle (LIU *et al.*, 2011). Evidence suggests that integrating sustainable principles into construction projects leads to successful sustainable construction (OCHIENG *et al.*, 2014). However, it is essential to develop a framework to manage the sustainable execution of projects based on sustainable principles. Within the scope of the Fourth Industrial Revolution, the advancement of information technology allowed the development of software tools to improve project planning and reduce waste. Previous research suggests that Building Information Modeling (BIM) techniques can contribute to sustainable construction practices. Jayasinghe and Waldmann (2020) propose a BIM-based system that enables the circular economy by effectively managing the recycling of materials and the reuse of components in construction.

BIM applications in prefabricated buildings are mainly used in the construction and production phases. Prefabricated construction concepts are related to a type of construction and a complex discipline of systems engineering that requires systems engineering techniques and concepts to address practical issues (XIAO; BHOLA, 2022). Previous studies show the application of BIM in sustainable construction. Liu *et al.* (2011) explore the potential application of BIM to eliminate waste and improve sustainable construction performance. Rui (2021) highlights the importance of BIM

technology in designing and constructing green and smart buildings for sustainable development. These findings indicate that BIM techniques can help minimize construction waste and promote sustainable practices in the construction industry.

Therefore, the present study aims to identify the negative and positive factors that may compromise the full adoption of sustainable construction in Brazil and evaluate the use of BIM to increase the chances of success in achieving sustainable civil construction.

## **2. METHODS**

This exploratory study was carried out in three stages. First, we identified the factors related to adopting sustainable construction in Brazil through a SWOT analysis. Secondly, we evaluate the use of BIM techniques to achieve sustainability in construction, adopting the weaknesses and threats in the Ishikawa diagram. Third, we adopt the strengths and opportunities in the Ishikawa diagram, emphasizing the positive points for sustainability.

### **2.1. SWOT Analysis**

We reviewed the current literature and identified the causes that could harm sustainability and the points that favor sustainability in the construction sector in the SWOT analysis. For this study, we defined a root cause as any identifiable process explicitly stated as likely to result, as much as possible, in data abstracted from the cited studies.

Next, the SWOT matrix analysis model created at Harvard Business School was used. The Swot matrix comes from the English words Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (Fernandes, 2012). By identifying the weaknesses and threats of the SWOT matrix analysis of this research, it is possible to identify the factors that prevent the BIM concept from promoting sustainability in construction (DE SOUZA CASTRO *et al.*, 2008).

According to Wright *et al.* (2000), through strengths and opportunities, it is possible to identify solutions that promote and strengthen construction sustainability through the BIM concept. Table 1 presents the SWOT matrix using current literature to identify Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats.

Table 1. SWOT analysis using current literature.

FORCES (+)	WEAKNESSES (-)
Error reduction (Langner et al., 2019) Reduction in project time (Langner et al., 2019) Increased productivity (Langner et al., 2019) Strengthening sustainability (Ingryd et al., 2022)	Investments in software (Eastman et al., 2011) Investments in robust high-tech computers (Wierzbicki et al., 2011) Investments in employee training (Crespo & Ruschel, 2007) Changing Processes and adapting business culture (Coutinho, 2015; Eastman et al., 2011)
OPPORTUNITIES (+)	THREATS (-)
Reduction in construction costs (Wong & Fan, 2013) Speed in approving projects (Wong & Fan, 2013) Reducing input waste (Araújo et al., 2022) Reduction of discarded waste (Araújo et al., 2022)	Lack of qualified professionals (Hippert & Araújo, 2010) Partner incompatibility (Lauden et al., 2020)

Source: adapted by the authors

## 2.2. Ishikawa diagram analysis of negative factors

The next step was to analyze the root causes of negative data factors, mapping them into leading causes and subcategories. For the main categories, we apply four categories of the Ishikawa diagram structure:

- Labor – everything related to worker knowledge and education to achieve sustainability (mainly related to waste reduction);
- Material – includes raw materials and rework;
- Method – processes carried out in manufacturing (from design);
- Management – everything related to leadership and correct execution of the project.

The Ishikawa diagram serves as a valuable tool for identifying and resolving cause-and-effect problems by visually representing the contributing factors within a process. This method operates on the fundamental principle that every problem can be traced to an underlying cause, something wrong in the process. Determining the origins of the actions responsible for configuring the problem is essential. The Ishikawa diagram is valuable in several areas of research (ABDUL-RAHMAN *et al.*, 2011; GÜNDÜZ *et al.*, 2013; LEŚNIAK *et al.*, 2021).

We reviewed the current literature and identified the causes that could harm sustainability in the construction sector in the SWOT analysis (weaknesses and threats). For this study, we defined a root cause as any identifiable process explicitly stated as likely to result in data extracted from the cited studies (Table 2).

Each root cause was independently assigned to one and only one branch of the Ishikawa diagram by two reviewers. We used an adapted Likert scale (3=high probability of interfering, 2=no interference, and 1=high probability of not interfering) to weigh root causes (BRESSER-PEREIRA, 2008; FERNANDES, 2019). The Likert scale is the most used verification scale in research on people's opinions (SANTINO, 2018). To construct Table 2, the Likert scale adapted by root causes was used, considering the degree of relevance of the weight factor for adequate treatment in the Ishikawa diagram.

Table 2. Root causes attributed to Ishikawa 1 branches.

Because Ishigawa	Root cause number	Root cause name	References	Weigh (adapted Likert scale)
workers	1	Lack of education	Eastman <i>et al.</i> , (2011) and Sabongi <i>et al.</i> , (2009)	3
	2	Bad training	Checucci (2014)	3
	3	Lack of project assertiveness	Coutinho (2015); Eastman <i>et al.</i> , (2011)	2
Material	4	Software application	Lino <i>et al.</i> , (2012); Jacobsk (2003)	2
	5	Hardware availability	Barreto <i>et al.</i> , (2016); Eastman <i>et al.</i> , (2011)	3
Method	6	Inconsistent information	Eastman <i>et al.</i> , (2011); Borges <i>et al.</i> , (2015)	2
	7	Lack of accessible software	Jacobsk (2003)	2
Management	8	Lack of leadership	Eastman <i>et al.</i> (2011)	2
	9	Compliance with standards and regulations	Checucci (2014) Borges <i>et al.</i> , (2015)	2
	10	Transparency and responsibility:	Eastman <i>et al.</i> , (2011); Degasperi (2017); Coutinho (2015)	1

### 2.3. Strategy for data analysis



Data mapping consisted of extracting relevant information to study the root causes of the proposed problem: the application of BIM as a source of increased sustainability in the construction sector.

Figure 1 shows the development of the method.

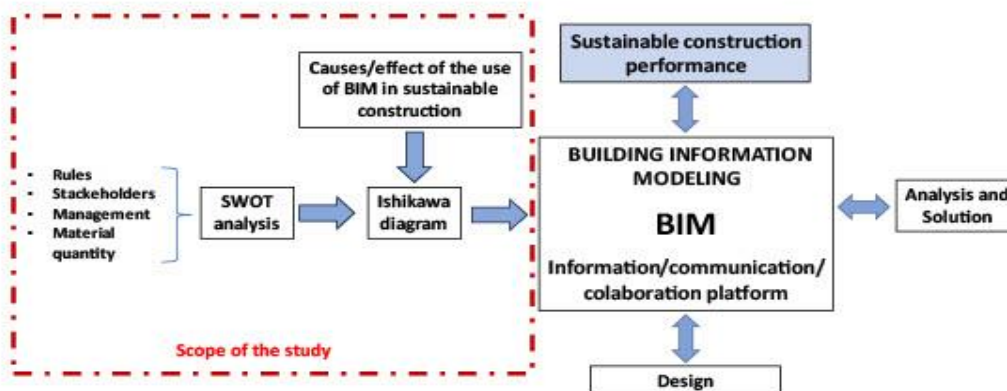


Figure 1. Development of a method to achieve sustainable civil construction using BIM.

The strategy for the scope of this research is developed based on the factors found in the Swot matrix analysis (weaknesses and threats), going through the Ishikawa diagram so that the root causes can be addressed. With the results obtained, it will be possible to work effectively and adequately to solve the problem and thus achieve sustainability in construction (CARVALHO, 2002).

#### 2.4. Ishikawa diagram analysis of positive factors

The next step is to analyze the root causes of positive data factors, mapping them into leading causes and subcategories. For the main categories, we apply four categories of the Ishikawa diagram structure:

- Labor – everything related to project production;
- Material – quantification of inputs (reduction of waste of inputs and reduction of disposal waste);
- Method – agility in approvals and decision-making

Table 3. Root causes attributed to Ishikawa's 2 branches.

Because Ishigawa	Root cause number	Root cause name	References	Weight (adapted Likert scale)
Workers	1	Reduction of working time on projects.	Langner <i>et al.</i> , (2019); Shen and Issa (2010)	3
	2	Reduction of labor errors.	Langner <i>et al.</i> , (2019); Shen and Issa (2010)	3
Material	3	Budget accuracy of costs.	Eastman <i>et al.</i> , (2011); Vitásek and Matějka (2017)	2
	4	Waste reduction.	Vitásek and Matějka (2017) ; Thurairajah and Gruchor (2013)	2
	5	Reduction of waste.	Vitásek and Matějka (2017) ; Thurairajah and Gruchor (2013)	3
Method	6	Interoperability between software.	Lauden <i>et al.</i> , (2020); Eastman <i>et al.</i> , (2011)	2
	7	Supplier parameterization.	WU <i>et al.</i> , (2017); Eastman <i>et al.</i> , (2011)	2

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 SWOT Analysis

Given the current context, we have the Swot matrix as an integral part of the solution for this research, a relevant element for obtaining the partial results of the research. Through the Swot matrix, it is possible to identify the points (strengths, weaknesses, opportunities, and threats), turning their weak points and threats into root causes to better address the problem that represents the negative factors which, by implication in this research, is sustainability in construction, in a second analysis, turning positive factors, strengths and opportunities into root causes, maintaining the strengthening of sustainability in construction. (DIAS; FERREIRA; 2009) Within the weaknesses of the Swot matrix, Eastman *et al.* (2011) observe the need for investments in software, robust computers, and training of new employees in the same way (WIERZBICKI *et al.*, 2011) point out in a chronology study of BIM, the high investment in software, computers, and training, which must be made to be successful within the BIM concept (CRESPO; RUSCHEL, 2007) agree that the BIM concept requires robust systems with high technology in the data structure and high investment in technical training. To implement the BIM concept changes in processes and adaptations to business cultures are necessary (EASTMAN *et al.*, 2011; COUTINHO, 2015).

In the context of threats, Hippert and Araújo (2010) determined that more qualified professionals are needed only in a BIM concept tool to increase productivity. In another view, Lauden *et al.* (2020) observed the difficulty and resistance of construction companies and design offices in implementing the BIM concept due to the traditional culture, the high investment in robust software and computers, and the incompatibility between partners due to the interoperability between software.

Within the strengths of the Swot matrix, Langner *et al.* (2019) observe the advantages of the BIM methodology. Due to the compatibility between platforms, during the compatibility of projects, it is possible to create a virtual simulation environment, thus reducing the working time of project production and with the advantage of eliminating errors beforehand. Same execution, obtaining an economic gain in production, in the same way (ARAÚJO *et al.*, 2022) point out that BIM enables waste control, allowing control of the final cost of construction. Within the different levels of interoperability, the BIM concept enables the parameterization of suppliers and partners, resulting in better equalization of inputs and costs, resulting in agility, reduced errors, and assertiveness in purchasing (EASTMAN *et al.*, 2011; MANZIONE, 2013).

In the scope of opportunities, Wong and Fan (2013) state that the BIM concept is inherent in that it is possible within economic sustainability to reduce construction costs, agility, and speed in approvals and decision-making. Araújo *et al.* (2022) agree that the BIM concept, with trained professionals and an adept culture, is possible within the processes and flows to reduce waste and waste.

### **3.2. Ishikawa Analysis**

The Ishikawa diagram aims to analyze the operations of production processes, highlighting the causes that lead to specific errors. Therefore, it aims to eliminate all possible root causes (DANIELEWICZ, 2006; GONZÁLEZ, 2023). Once the root causes have been found and distributed in the Ishikawa Diagram, the whys are subsequently used to clarify and eliminate all possibilities that cause the problem, thus eliminating the root causes, as shown in Figures 2 and 3:

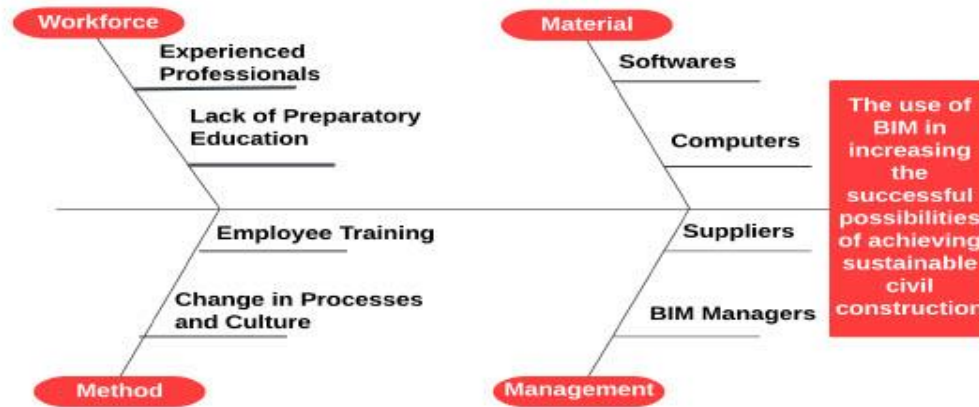


Figure 2. Ishikawa cause-effect diagram to analyze the use of BIM to achieve sustainable civil construction in Brazil.

**Effect:** The use of BIM increases the chances of success in sustainable civil construction.

**Causes :** Material; workers; Method; Management

(1) **Material:** Investments in software – As it belongs to the BIM concept and is interoperable with each other, the software has a high acquisition value (JACOSKI, 2003; LINO *et al.*, 2012;). Investments in computers - As BIM family software is heavy, requiring a complex interface, it is necessary to use appropriate computers, robust and high-performance computers, and these hardware have a high purchase price in the market (BARRETO *et al.*, 2016; EASTMAN *et al.*, 2011).

(2) **Labor:** Lack of experienced professionals – With the lack of teaching materials, lack of prepared teachers, and lack of teaching platforms focused on the BIM concept, the supply is small compared to the demand, making the training of a professional for BIM concepts (CHECCUCCI, 2014).

(3) **Method:** Investment in employee training – According to Eastman *et al.* (2011), due to the high investment in software and computers, it would not be very different from the training of professionals, which requires high investment and focus on the part of Higher Education Institutions (HEIs).

(4) **Management:** Partner Incompatibility – For Eastman *et al.* (2011), compatibility between all team parts is essential to achieve results and avoid conflicts of interest. For Borges *et al.* (2015), there

is an incompatibility to generate waste of time and production, thus causing additional costs and possible rework (COUTINHO, 2015) – lack of managers trained in the BIM concept. Due to the lack of BIM education for professional Engineers and Architects, we have professionals who cannot integrate with other employees and do not know how to deal with the BIM concept. Therefore, managers must have full knowledge of the functionality of the BIM concept (EASTMAN *et al.*, 2011; COUTINHO, 2015; DEGASPERI, 2017).

Regarding material inference, previous literature (CLEVENGER *et al.*, 2010) indicated that incentives for educational institutions are essential to offer training in the BIM concept with greater demands. Investment in processes and adjustments to business cultures – With the implementation of the BIM concept, employees who are already used to the processes that existed before the arrival of BIM may have difficulty adapting to new work concepts, thus needing to review ways to help with its adaptation (EASTMAN *et al.*, 2011; DEGASPERI, 2017). According to Conceição and Miranda (2022), when companies implement the BIM concept, they must rethink their cultures and processes and invest more in training and technologies.

Concerning labor, an interconnection was found with the need for trained personnel described in the methods. There is a lack of qualified professionals in the market (SABONGI *et al.*, 2009; EASTMAN *et al.*, 2011). With the low demand for the BIM concept by construction companies, the consequent lack of motivation from Higher Education Institutions (HEIs) to create new courses that enable the BIM concept, and, as a cycle, the lack of implementation in the teaching curriculum. Regarding the lack of preparatory training for professionals for the BIM concept. With the low demand for the BIM concept by construction companies, the consequent lack of motivation from Higher Education Institutions (HEIs) to create new courses that enable the BIM concept, and, as a cycle, the lack of implementation in the teaching curriculum. Such a lack of adequate staff is also reported in previous studies (SABONGI *et al.*, 2009; EASTMAN *et al.*, 2011). According to Eastman *et al.* (2011) and Clevenger *et al.* (2010), due to the high investment in software and computers, it would not be much different with the training of professionals, which requires high investment and focus on the part of Higher Education Institutions (HEIs).

Civil construction in Brazil is the largest generator of discarded waste that occurs uncontrolled. 10% is waste, which maintains its characteristics during the decomposition process, and 90% belongs to class A, which has properties such as biodegradability or solubility in water, with the mortar being the material with the greatest potential for waste (OLIVEIRA *et al.*, 2020). The BIM concept applied



to civil construction can strengthen the three pillars of sustainability through the vertical insertion of sustainability. It is possible to make construction costs economically viable in the long term, prepare the feasibility study already providing contracting estimates, predict the quantities of waste generated, and solve natural means of reusing rainwater and solar capture for better energy efficiency (MOTTA; AGUILAR, 2009).

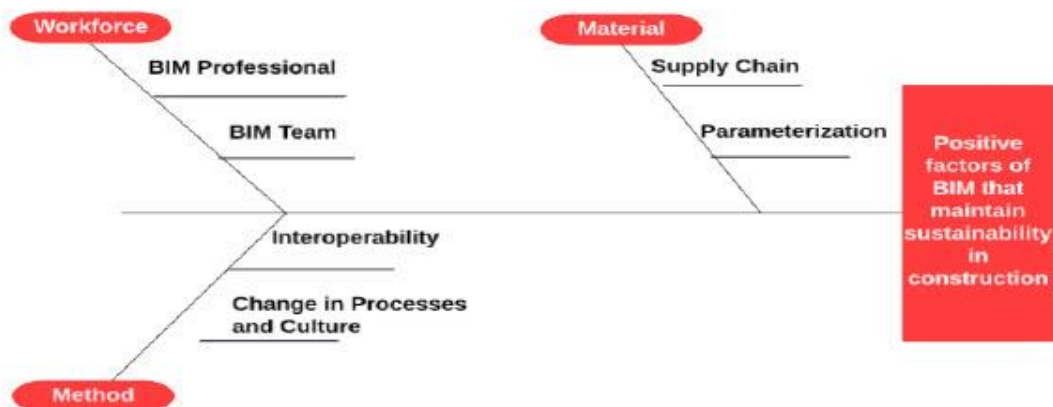


Figure 3. Ishikawa's cause-effect diagram and the positive factors of BIM to maintain sustainability in construction in Brazil.

**Effect:** Positive factors of BIM that maintain sustainability in construction.

**Causes:** Material; workers; Method

(5) **Material:** Supplier parameterization – For Shen and Issa (2010), the detailed survey of construction project costs is an activity that demands much time and is highly prone to error. According to Thurairajah and Gruchor (2013), the BIM concept offers agility and reliability through automatic survey and quantification through digital technology that eliminates errors. Vitásek and Matějka (2017) agree that BIM is a revolutionary concept that will help many partners and labor suppliers achieve speed to meet budget demand. BIM technology increases budget reliability; with this, the supplier is parameterized, can compress deadlines, rigorously eliminate errors, and guarantees construction deadlines and costs.

(6) **Labor:** Training of internal multipliers – A BIM professional within the company can multiply his knowledge with other employees, and a trained and qualified professional can multiply his knowledge in the company and train new professionals. The multiplier professional means expanding

knowledge to develop other professionals in the company (BORGES, 2019). To form a BIM team, the objectives must be clear to everyone, and the BIM concept involves a family of software with specific methodologies. The BIM team must receive adequate training to obtain skills, and a well-trained team can result in more efficiency, cost reduction, more significant budget, project precision, and excellent collaboration between stakeholders (OLIVEIRA, 2022).

**(7) Method:** The interoperability of processes and cultures of the BIM concept – According to Lauden *et al.* (2020), interoperability is essential in the BIM concept. Different systems and organizations can work together in such a way as to ensure that people, organizations, and computer systems interact with each other to exchange information effectively and efficiently. For the BIM concept to be practical, culture and traditional business processes must adapt to the new concept, which requires a lot of interoperability, parameterization, agility, and communication between interested parties (EASTMAN *et al.*, 2011; WU *et al.*, 2017).

Due to the interoperability of systems, the BIM concept makes it possible for disciplines to communicate with each other, providing high performance in production, eliminating errors, and reducing waste. Due to the processes of the BIM concept, culture change is inevitable. The culture to be adapted to the BIM concept must be based on three primary factors: Technology, people, and processes, and these factors are linked coherently in procedures, standards, and good practices (SILVA *et al.*, 2022).

#### 4. CONCLUSIONS

Regarding the first analysis, it is clear that the main obstacle to sustainable civil construction in Brazil is the high waste generated during construction. It was considered that the use of BIM led to a reduction in waste generated in construction. It was found that factors that hinder the success of sustainable construction include the lack of adequate worker training, the high cost of software and hardware, and the scarcity of managers trained in BIM who can adequately implement BIM methods throughout the construction process.

Sustainability is notable in its three pillars in the factors studied, the BIM concept due to the interoperability of systems, makes it possible for disciplines to communicate with each other, providing high performance in production, elimination of errors, reduction of waste, due to the processes of the BIM concept, the change in culture is inevitable, the culture to be adapted to the BIM concept must be based on three primary factors: Technology, people and processes, these factors are

linked in a coherent way in procedures, standards and good practices, BIM enables an increase in productivity, the automated generation of quantities, this tool makes it unnecessary for professionals to prepare manually, thus increasing precision and reliability, with interoperability, several professionals will collaborate on several projects, and with integration into the BIM concept eliminating conflicts and maximizing the success of the work as a whole, with the linking of information, several professionals, partners and suppliers will be able to change the parametric relationships, each in their field of discipline, with this it will be possible to achieve better measurement of the production time of the project construction, this way it is possible to immediately detect conflicts and reduce rework throughout the entire project phase.

## REFERENCES

ARAÚJO, I. P. de; ARAÚJO, I. P. de; MORIOKA, S. N. Benefícios da utilização do bim para sustentabilidade na construção civil. **Proceedings...XXIV ENGEMA**, 2022.

ABDUL-RAHMAN, H., WANG, C.; JACKSON, C. CTM 4 model using Ishikawa diagram for quality management in design-and-build projects. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 25, p. 5442-5456, 2011.

BORGES, C. *et al.* Formação de agentes multiplicadores baseado na gestão do conhecimento: um estudo aplicado à Avianca Brasil. 2019.

BARRETO, B. V. *et al.* O BIM no cenário de arquitetura e construção civil brasileiro. **CONSTRUINDO**, 2016.

BRANCHER, M.; GONÇALVES, R. O que esperar da construção até 2025. **Conjuntura da Construção**, v. 14, n. 4, p. 8-9, 2016.

BORGES, A. V. G. *et al.* Estado de adoção do Building Information Modeling (BIM) em empresas de arquitetura, engenharia e construção de Fortaleza/CE. 2015.

BRESSER-PEREIRA, LC Globalização e Estado-nação. 2008.

COUTINHO, R. R. de S. **O papel das construtoras e incorporadoras na adoção da tecnologia BIM na indústria da construção no Brasil: um estudo prospectivo**. 2015.



CHECCUCCI, É. de S. Ensino-aprendizagem de BIM nos cursos de graduação em engenharia civil e o papel da expressão gráfica neste contexto. 2014.

CLEVENGER, C. M. *et al.* Integrating BIM into construction management education. In: **EcoBuild Proceedings of the BIM-Related Academic Workshop**. 2010. p. 1-8.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. **Proceedings... Encontro de Tecnologia de Informação e comunicação na construção civil**, v. 3, 2007.

CARVALHO, A.B. Metodologia de planejamento estratégico aplicável a órgãos de apoio interno a uma empresa. Trabalho de final do Curso de Especialização em Gestão Empresarial. Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2002.

DA CONCEIÇÃO, N. P.; DE MIRANDA, T. V. **Processos da Tecnologia BIM e seus Impactos na Construção Civil**. Epitaya E-books, v. 1, n. 2, p. 82-110, 2022.

DEGASPERI, A. B. *et al.* Estudo da Tecnologia BIM e os Desafios para sua Implantação. **Revista Espaço Acadêmico**. Serra, v. 7, n. 2, p. 81-93, 2017.

DIAS, R. de O. G. G.; FERREIRA, A. C. S. A matriz SWOT como ferramenta de gestão estratégica: o caso do Centro de Operações da Área Financeira Petrobras. **Proceedings... Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, 2009.

DE SOUZA CASTRO, G. *et al.* O uso da Contabilidade Estratégica nas organizações: um modelo de análise estratégica para o departamento de contabilidade. **Proceedings... Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2008.

DANIELEWICZ, M. **Procedimentos para rastreabilidade das não-conformidades no processo produtivo**. Florianópolis, 2006. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **Publicações DECON Textos Didáticos**, v. 2, p. 2003, 2003.

EASTMAN, C. M. *et al.* **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

FRANCIS, A.; THOMAS, A. Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. **Journal of cleaner production**, v. 252, p. 119913, 2020.

FERNANDES, R.O. *et al.* Gestão de resíduos grupo D: recuperação de plásticos recicláveis em um hospital público da cidade de São Paulo. 2019.

FERNANDES, D. R.. Uma visão sobre a análise da Matriz SWOT como ferramenta para elaboração da estratégia. **Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais**, v. 13, n. 2, 2012.

GONZÁLEZ-CANCELAS, N. *et al.* Assessing Port Sustainability in Ecuador Using an Ishikawa Diagram. **World Scientific News**, v. 186, p. 12-26, 2023.

GÜNDÜZ, M.; NIELSEN, Y.; ÖZDEMİR, M. Quantification of delay factors using the relative importance index method for construction projects in Turkey. **Journal of management in engineering**, v. 29, n. 2, p. 133-139, 2013.

HIPPERT, M. A. S.; ARAÚJO, T. T. A contribuição do BIM para a representação do ambiente construído. **Proceedings... Encontro Nacional da Associação Nacional De Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, v. 1, 2010.

ISAIA, G.C. *et al.* **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3ªEd. V.I, Vol. II. Ed.: IBRACON. pp.1726, 2017.

JAYASINGHE, L.B.; WALDMANN, D. Development of a BIM-based web tool as a material and component bank for a sustainable construction industry. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1766, 2020.

JACOSKI, C. A. *et al.* **Integração e Interoperabilidade em projetos de edificações: uma implementação com IFC/XML**. 2003.

LEŚNIAK, A; GÓRKA, M.; SKRZYPCZAK, I. Barriers to BIM implementation in architecture, construction, and engineering projects—The polish study. **Energies**, v. 14, n. 8, p. 2090, 2021.

LAUDIEN, A. P. *et al.* ESTUDO DA VIABILIDADE DO CONCEITO BIM (Building Information Modeling) NO GERENCIAMENTO DE OBRAS. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, v. 14, n. 1, p. 73-97, 2020.

LANGNER, C.; HERMANN, L. R.; RADÜNS, C. D. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCEITO BIM NA ÁREA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Salão do Conhecimento**, 2019.

LINO, J. C.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas. **Proceedings... BE2012-Encontro Nacional Betão Estrutural**, p. 2-3, 2012.

LIU, Z. *et al.* **The potential use of BIM to aid construction waste minimalisation . Semantic Study.** Available at: [https://repository.lboro.ac.uk/articles/conference\\_contribution/The\\_potential\\_use\\_of\\_BIM\\_to\\_aid\\_construction\\_waste\\_minimalisation/9427652](https://repository.lboro.ac.uk/articles/conference_contribution/The_potential_use_of_BIM_to_aid_construction_waste_minimalisation/9427652). 2011.

MANZIONE, L. Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM. **São Paulo**, v. 371, 2013.

MOTTA, S. F.R.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 1, p. 88-123, 2009.

OLIVEIRA, M. F. Roteiro para implementação BIM (Building Information Modeling) com foco em modelos de maturidade. 2022.

OLIVEIRA, F. de A. *et al.* Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 157-176, 2020.

OCHIENG, E. G. *et al.* Integration of sustainability principles into construction project delivery. **Architectural Engineering Technology**, v. 3, p. 1, 2014.

RÖCKER, A. A. L. A. **O Setor da Construção Civil e a Quarta Revolução Industrial : Entraves e Oportunidades**. UFPR. Curitiba, 2021.

RUI W., QIANYI, Z. Application analysis of BIM technology in green intelligent building design. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012154.

SILVA, R. F. T. *et al.* Recomendações para a implementação da interoperabilidade entre SINAPI e normas da série NBR 15965. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 213-233, 2022.

SANTINO, C.N. Metodologia para mapeamento das perdas em um processo de fundição, com aplicação da Escala Likert e da Lógica fuzzy. 2018.

SHEN, Z.; ISSA, R.A. Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates. 2010.

SABONGI, F. *et al.* The Integration of BIM in the Undergraduate Curriculum: an analysis of undergraduate courses. **Proceedings...** In: **Proceedings of the 45th ASC Annual Conference**. The Associated Schools of Construction, 2009. p. 1-4.

Santos, M. *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. Ed 2, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2006.

THURAIRAJAH, N.; MUCHENA, J.; XIAO, H. Challenges to embedding Social Value Act 2012 in the strategic and operational processes of public sector construction projects. 2019.

VITÁSEK, S.; MATĚJKA, P. Utilization of BIM for automation of quantity takeoffs and cost estimation in transport infrastructure construction projects in the Czech Republic. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2017. p. 012110.

WU, C. *et al.* Overview of BIM maturity measurement tools. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 22, n. 3, p. 34-62, 2017.

WONG, K.-D.; FAN, Q. Building information modelling (BIM) for sustainable building design. **Facilities**, v. 31, n. 3/4, p. 138-157, 2013.

WIERZBICKI, M.; DE SILVA, C.W.; KRUG, D. H. BIM–history and trends. In: **11th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality**. Bauhaus-Universität, Weimar, Germany. 2011. p. 3-4.

WRIGTH, P. L.; KROLL, M.; PARNELL, J. *Administração estratégica: conceitos*. 2000.

XIAO, Y.; BHOLA, J. Design and optimization of prefabricated building system based on BIM technology. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 13, n. Suppl 1, p. 111-120, 2022.

YU, M. *et al.* Integrating sustainability into construction engineering projects: Perspective of sustainable project planning. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 784, 2018.

ZAVADSKAS, E.K.; ŠAPARAUSKAS, J.; ANTUCHEVICIENE, J. Sustentabilidade na engenharia de construção. **Sustentability**, v.10, pág. 2236, 2018.



## CAPÍTULO III

### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização e integração de novas tecnologias habilitadoras na construção pode resultar em melhorias significantes na eficiência, redução de custos, produtividade e competitividade das empresas. A utilização destas tecnologias contudo, acarretagrandes desafios e investimentos significativos, se faz necessário um esforço colaborativo entre as partes da cadeia produtiva industrial, governos e instituições de ensino para superar esses obstáculos.

Um dos maiores desafios da construção civil para a adoção das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 é a falta de preparação, competências e conhecimentos necessários entre os assalariados da construção. Trata-se de um alto investimento com programas de treinamento e iniciativas educacionais que proporcionem aos funcionários as aptidões e conhecimentos necessários para usar e manter tecnologia avançada.

Em países como o Brasil, os desafios de implementação são maiores e a maioria das empresas acabam acolhendo esses benefícios, para ter maior chance de competitividade no mercado, por outro lado é possível observar a necessidade de maior oferta de treinamentos para qualificar os profissionais que estão ingressando ao mercado de trabalho, é válido cobrar as autoridades competentes para alocar recursos públicos para transmutar os cursos técnicos profissionalizantes clássicos para as votadas a quarta revolução industrial que tem a oferecer obviamente das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

#### 3.1 Conclusão

Os resultados desta dissertação mostram que, embora as ferramentas BIM permitam, até certo ponto, o planejamento e a modelagem da sustentabilidade financeira dos edifícios, ela tem limitações importantes no Brasil. Estas limitações se referem principalmente à falta de treinamento de pessoal qualificado em vários níveis das construtoras e ao alto custo de operacionalização da plataforma (hardware e software).

A principal contribuição do BIM é a obtenção de informações sobre a viabilidade econômica e os custos de construção/manutenção/operação de uma edificação. A tecnologia BIM não tem contribuição direta para o fortalecimento da economia local ou dos padrões econômicos da construtora projetista, conseqüentemente, é importante verificar a compatibilidade entre os modelos antes de elaborar um orçamento ou orçamento baseado em um modelo BIM. Globalmente, a tecnologia pode dar uma contribuição importante, reduzindo o tempo necessário para obter informações e a complexidade da extração de dados.

### **3.2 Sugestões de trabalhos futuros**

A 4ª revolução Industrial está prestes a ter efeitos significantes na forma como se produz a construção Civil, como o aumento da eficiência na utilização dos recursos disponíveis, alterações na forma como os dados são recolhidos e na forma como os processos são realizados, com uma introdução significativa de máquinas com inteligência artificial em ações atualmente realizadas por pessoas. Haverá também uma grande mudança na gestão empresarial, nomeadamente no que diz respeito à estratégia de implementação de novas tecnologias, o que exigirá a cooperação entre todas as áreas do negócio, mas principalmente entre as áreas da tecnologia da informação (TI) e de implementação na implementação comercial (aquelas nos canteiros de obras).

Os progressos tecnológicos estão levando a um ambiente de negócios cada vez mais dinâmico e acelerando as mudanças. Para se manter competitivas no mercado as empresas precisam assalariar um gerenciamento de projetos eficaz. Para isso estão emergindo tecnologias que atingem todos os grupos de processos de gerenciamento de projetos, sendo de grande importância para auxiliar na execução das tarefas do ciclo de vida do projeto conforme mencionado no presente trabalho, que cumpriu seu objetivo, ao apresentar alguns das ferramentas que ajudarão a aumentar a eficiência, eficácia e efetividade dos projetos realizados pela indústria da construção civil nos próximos anos.

Como sugestão de continuidade para trabalhos futuros, pode-se citar brevemente que o paradigma educacional trazido pelas universidades deve ser

quebrado e o perfil dos profissionais que atuarão no setor da construção no futuro deve ser alterado de acordo com as lições trazidas pela Indústria 4.0. Hoje, ele precisa deixar de ser um especialista com foco nos conhecimentos adquiridos em sua formação para adotar um perfil multidisciplinar.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M. (2016). **Imagining construction's digital future**. McKinsey&Company. Singapura.

BRANCHER, M.; GONÇALVES, R. O que esperar da construção até 2025. **Conjuntura da Construção**, v. 14, n. 4, p. 8-9, 2016.

CARVALHO, M. T. M. (2012). **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto**. 241p. (Doutorado). Departamento de engenharia civil, Unversidade de Brasília, Brasília.

CBIC. (2016). **Catálogo de Inovação na Construção Civil**, Brasília.

CE-BIM, C. E. D. B.-. BIM BR: construção inteligente. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. [S.I.]. 2018.

CHEN, Q.; DE SOTO, B. G.; ADEY, BRYAN T. (2018). Automação de construção: áreas de pesquisa, preocupações da indústria e sugestões para avanço. **Automação na construção**, v. 94, p. 22-38.

DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **Publicações DECON Textos Didáticos**, v. 2, p. 2003, 2003.

DOS SANTOS, Beatriz Rosa Pinheiro; DAMIAN, Ieda Pelógia Martins. O mapeamento do conhecimento por meio da análise SWOT: estudo em uma organização pública de saúde. **Em questão**, v. 24, n. 3, p. 253-274, 2018.

EASTMAN, C. M. (2011), **Manual BIM: Um guia para modelagem de informações de construção para proprietários, gerentes, projetistas, engenheiros e empreiteiros**. John Wiley e Filhos.

FERRER, R. R.; ARROYO, J. P. (2019). Building Information Modeling (BIM). **Architecture and Design**. Management Association (Ed.), Architecture and Design: Breakthroughs in Research and Practice. IGI Global, pp. 365-389.

FIRJAN, (2016). Panorama da Inovação; DA INOVAÇÃO, Panorama. Indústria 4.0. **Publicações FIRJAN: Cadernos SENAI de Inovação**.

GIL, A. C. (2008). **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. Editora Atlas SA.

GU, N., SINGH, V., LONDON, K.A., BRANKOVIC, L., TAYLOR, C. (2018). BIM: expectations and a reality check. **International Conference on Industrial Technology**.

HOUSTON, F. B. et al. (2017). **Reinventing construction: a 58usta to higher productivity**. McKinsey Global Institute. [S.l.].

ISAIA, G.C. *et al.* **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3ªEd. V.I, Vol. II. Ed.: IBRACON. pp.1726, 2017.

JAYASINGHE, L.B.; WALDMANN, D. **Development of a BIM-based web tool as a material and component bank for a sustainable construction industry**. *Sustainability*, v. 12, n. 5, p. 1766, 2020.

LEON, A. Sustain BIM. (2012). *Computer Science*, v.4, p.1-18.

LIU, Z. *et al.* **The potential use of BIM to aid construction waste minimalisation . Semantic Study**. Available at: [https://repository.lboro.ac.uk/articles/conference\\_contribution/The\\_potential\\_use\\_of\\_BIM\\_to\\_aid\\_construction\\_waste\\_minimalisation/9427652.2011](https://repository.lboro.ac.uk/articles/conference_contribution/The_potential_use_of_BIM_to_aid_construction_waste_minimalisation/9427652.2011).

MATTANA, L; LIBRELOTTO, L. I. (2017). Contribuição do BIM para a sustentabilidade econômica de edificações. **Mix Sustentável**. Edição Especial 06/V3. N2.

MENDES, R. B. (2016). **A internet das coisas e a construção civil: oportunidades, desafios e aprendizados**.

OCHIENG, E. G. *et al.* Integration of sustainability principles into construction project delivery. **Architectural Engineering Technology**, v. 3, p. 1, 2014.

PELOSOF, T. S. (2016). **Práticas de Sustentabilidade na Construção Civil: Estudo de caso sobre o Jardim das Perdizes**. São Paulo.

QUERCUS. **A Verdadeira Circularidade na Construção só vai acontecer quando diminuirmos os Materiais Virgens de Origem Fóssil e apostarmos na Reutilização e nos Reciclados**. (2018). Disponível em <https://quercus.pt/2021/03/03/a-verdadeira-circularidade-na-construcao-so-vai-acontecer-quando-diminuirmos-os-materiais-virgens-de-origem-fossil-e-apostarmos-na-reutilizacao-e-nos-reciclados/>.

RÖCKER, A. A. L. A. **O Setor da Construção Civil e a Quarta Revolução Industrial : Entraves e Oportunidades**. UFPR. Curitiba, 2021.

RUI W., QIANYI, Z. Application analysis of BIM technology in green intelligent building design. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012154.

RAJENDRAN, P, SEOW T. W., S., CHEN, G. K. **Application Of Bim For Managing Sustainable Construction**. (2012). Proceedings International Conference of Technology Management, Business and Entrepreneurship2012 (ICTMBE2012), Renaissance Hotel, Melaka, Malaysia. Disponível em <https://core.ac.uk/reader/12008280>.

RAMOS, C. E. Da S; RODRIGUES, L. F. P; MELLO, L. C. B. De B. (2018). Aplicações da Indústria 4.0 na Construção Civil – Uma Revisão Narrativa. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. Ponta Grossa, PR.

SACKS, Rafael et al. (2021). **Manual de BIM-: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção Para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Bookman Editora,

SATO, L. (2011). **A evolução das técnicas construtivas em São Paulo: residências unifamiliares de alto padrão**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SCHAMNE, N.; NAGALLI, A.; SOEIRO, A; VIEIRA, A. A. (2022). Building information modelling and Sustainability assessment: a review. **Frontiers in Engineering and Built Environment**, v. 2, n. 1, p. 22-33.

SEVERIANO JUNIOR, W. O. (2021). Construção Verde: Emprego De Recursos Renováveis Na Construção Civil. *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, 7(7), 792–807. Disponível em: <<https://doi.org/10.51891/rease.v7i7.1719>>. Acesso em 12 de set. 2023.

SOLTANI, S. (2016). The Contributions of Building Information Modelling to Sustainable Construction. *World Journal of Engineering and Technology* , v.4 No.2, May 2016. <http://dx.doi.org/10.4236/wjet.2016.42018>

Santos, M. A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção . Ed 2, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2006.

TANG, S. et al. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, v. 101, p. 127-139.

VOZZOLA, M., CANGIALOSI, G., TURCO, M. L. (2009). BIM use in the construction process. In: *International Conference on Management and Service Science, IEEE.*, p. 1-4).

ZUCHETTO, A. C.; (2020). LANTEME, Elvira Maria Vieira. AUTOMAÇÃO NO CANTEIRO DE OBRAS: UM ESTUDO BASEADO NA EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, n. 1, p. 1-3.

ZULKEFLI, N. S.; MOHD-RAHIM, F. A. ZAINON, N. (2020). Integrating building information modelling (Bim) and sustainability to greening existing building: Potentials in malaysian construction industry. **International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology**, v. 11, n. 3, p. 76-83.

XIAO, Y.; BHOLA, J. Design and optimization of prefabricated building system based on BIM technology. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 13, n. Suppl 1, p. 111-120, 2022.

# ANEXOS

## ANEXO 1.

[www.advancesincleanerproduction.net](http://www.advancesincleanerproduction.net)

INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN  
CLEANER PRODUCTION

  
Advances in Cleaner Production Network  
Spreading Knowledge | Challenge Quality | Sustainability

**12<sup>th</sup>**  
**IWACP**

We Certify that

**Anderson Campos**

*has attended the 12th International Workshop | Advances in Cleaner Production, held in Stellenbosch, South Africa, November 23<sup>rd</sup> and 24<sup>th</sup>, 2023.*

  
Dr. Imke de Koch  
Conference Chair

realization by

  
Dr. Elagio F. Giannetti  
General Chair and Founder

 Stellenbosch  
UNIVERSITY  
IVUNIVERSITEIT  
UNIVERSITEIT

 UNIP  
UNIVERSITEIT  
UNIVERSITEIT

Graduation Program on  
Production Engineering  
Master and Doctorate Levels

“Ways forward to promote resource equity: The role of cleaner production and circular economy as moderator. Action or reaction to save the planet?”

## **ANEXO 2**

Manuscript ID: ERJ-2311-1045

Manuscript Title: **ANALYSIS OF THE FACTORS IMPACTING THE SUSTAINABILITY OF CIVIL CONSTRUCTION IN BRAZIL**

Authors: Anderson Francisco Campos, Irenilza de Alencar Naas

Dear Prof. Irenilza de Alencar Naas

I wish to acknowledge receiving the of the above mentioned manuscript.

It should be noted that the manuscript will be reviewed for possible publication in the Scientific Journals Management System.

Please be sure that the submitted manuscript has not been published previously and will not be submitted elsewhere prior to our decision.

Our editorial decision will be brought to your attention once the paper has been reviewed due the referees consideration.

I wish to take this opportunity to thank you for sharing your work with us.

Truly yours,

Executive managing Editor of **Engineering Research Journal**