

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO

DOUGLAS BIANCHI HARTZ

PROPOSTA DE MODELO DE PLANEJAMENTO, PROJETO E EXECUÇÃO PARA
APRIMORAR A CONSTRUÇÃO CIVIL COM APOIO DAS TECNOLOGIAS
DIGITAIS

São Leopoldo

2023

DOUGLAS BIANCHI HARTZ

**PROPOSTA DE MODELO DE PLANEJAMENTO, PROJETO E EXECUÇÃO PARA
APRIMORAR A CONSTRUÇÃO CIVIL COM APOIO DAS TECNOLOGIAS
DIGITAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof^a. Dra. Miriam Borchardt

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Jung

São Leopoldo

2023

H338p

Hartz, Douglas Bianchi.

Proposta de modelo de planejamento, projeto e execução para aprimorar a construção civil com apoio das tecnologias digitais / Douglas Bianchi Hartz. – 2023.

67 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2023.

“Orientador: Prof^a. Dra. Miriam Borchardt

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Jung.”

1. Tecnologias digitais. 2. Construção 4.0. 3. Fotogrametria. 4. Inteligência artificial. 5. Aprendizado de máquina. I. Título.

CDU 658.5

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro plano à Deus, o Grande Criador de todas as coisas, que nos momentos mais difíceis onde pensei até mesmo em desistir, me deu forças para continuar nesta jornada e me trouxe até aqui.

Agradeço à três pessoas importantíssimas que me acompanharam até aqui: inicialmente, me sinto muito agradecido ao Dr. Giancarlo Medeiros Pereira, que me orientou desde a primeira entrevista, antes mesmo de iniciar o mestrado. Dr. Giancarlo é uma pessoa espetacular e de um conhecimento gigantesco, e possui uma capacidade inigualável de ajudar e incentivar. Motivos alheios à minha vontade fizeram com que ele não pudesse continuar me acompanhando até o final deste processo, mas certamente se não fosse ele ter insistido comigo eu não teria chegado até aqui e talvez eu nem tivesse iniciado o mestrado. Quero agradecer também a Dra. Miriam Borchardt, que também me acompanha desde a primeira entrevista para ingressar no programa de mestrado, além de ter sido parte da banca de qualificação, onde pôde contribuir para o aprimoramento do meu projeto. Dra. Miriam assumiu brilhantemente a orientação de minha dissertação após a saída repentina do Dr. Giancarlo. Me sinto muito agradecido por ter aceitado o desafio de me orientar já com o processo bastante evoluído e com prazo exíguo. Muito, mas muito obrigado Dra. Miriam!! Por fim, mas não menos importante, quero agradecer profundamente a uma pessoa que acompanha minha vida acadêmica e profissional a mais de 20 anos! Um homem que sempre lutou para tudo estivesse justo e perfeito em ambos os aspectos. Me refiro a meu co-orientador Dr. Carlos Fernando Jung. Jung, como o chamo, foi meu mestre já na graduação e vem me dando direcionamento para minha vida acadêmica e profissional desde 2002. JUNG, muito obrigado por sempre apoiar a busca pelo conhecimento. Gratidão a todos vocês!

Agradeço também aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, além de meus colegas, por difundir seu conhecimento e suas experiências.

Agradeço também aos grandes responsáveis por eu ter chegado até aqui: minha mãe Eleane Hartz e meu pai Gilson Hartz, este que já não está mais entre nós no plano terreno, mas tenho certeza de que estaria muito orgulhoso deste momento. Estes dois, diante de tantas batalhas enfrentadas durante toda a vida, puderam ainda dar apoio incondicional para criar a mim e a minha irmã da melhor forma possível,

além de me apoiar com palavras e atitudes para que eu pudesse chegar até aqui. Quero agradecer também a minha irmã Bianca, que também sempre comemorou minhas conquistas e sempre me apoiou. Muito obrigado a vocês três! Amo vocês!

Sou muito grato também a toda minha família. Meus tios, tias, primos, primas, sogro, sogra, cunhada, cunhado, sobrinho e sobrinha. Quero deixar aqui um agradecimento especial a minha avó Ella Vetter (*in memoriam*), que sempre nos ajudou muito e sempre demonstrou muito orgulho por nossas conquistas.

Não posso deixar de agradecer também a Irmãos Kunst Construções, que sempre me apoiou e me deu condições para concluir minha graduação, especialização, MBA e Pós MBA. Agradeço a todos os colaboradores e colegas de trabalho, mas me sinto na obrigação de agradecer de forma especial algumas pessoas, as quais sempre me ensinaram muito e sempre me apoiaram, às quais cito aqui: Sr. Hugo Kunst, Sr. Ricardo Kunst, Leandro Kunst, Roberto Kunst, Gustavo Kunst, Victor Kunst e Rafael Nikolay. Agradeço a ilustre família Kunst, por me acolherem nesta grande empresa a 15 anos atrás e me oportunizaram a participação de grandes conquistas e a participar da gestão à frente do planejamento da empresa.

Por fim, quero agradecer a duas pessoas que amo muito e tem me apoiado sempre. Muitas vezes, as dificuldades enfrentadas por nós, só nós sabemos e, com a ajuda de Deus, as enfrentamos com união e sabedoria. As dificuldades e barreiras podem ser grandes, mas tenho certeza, Andresa Schüller e Luísa Schüller Hartz, que juntos, em família, atravessaremos qualquer dificuldade! Agradeço sempre a Deus por ter colocado a Andresa em minha vida lá em 2001 e por estarmos juntos desde então, sempre apoiando um ao outro e em 2016 fomos abençoadas com esta pessoinha linda que nos dá forças e motivos para seguirmos em frente, que é nossa filha Luísa! Muito obrigado a vocês duas! Amo vocês!

RESUMO

As falhas nos controles de custos e prazos na construção civil podem ocasionar atrasos na entrega de obras, gastos excedentes, além da insatisfação do cliente e até mesmo prejuízos financeiros incalculáveis. Parte destes problemas se dá a falta de dados históricos, falta de inserção de tecnologia nos processos, muitas vezes pela dificuldade de aceitação e adaptação de novas tecnologias e processo. O presente trabalho investigou as lacunas existentes para que o avanço da chamada Construção 4.0. A pesquisa utilizou o método de estudo qualitativo e investigatório, ocorrendo através de estudo teórico, pesquisa com profissionais da área, além de considerar o conhecimento prático do pesquisador. Os resultados contribuíram para que fosse possível identificar os modelos utilizados por outras construtoras, identificar as necessidades atuais, além de identificar as tecnologias digitais que podem ser inseridas nos processos a fim de resultar na proposta de um modelo de planejamento, projeto e execução para aprimorar a construção civil com o apoio das tecnologias digitais. Além disso, o resultado do presente estudo contribuiu para redução de desperdícios de obra, contribuindo desta forma para um menor impacto ambiental. A partir dos resultados apresentados, pesquisas futuras poderão identificar quais informações deverão ser armazenadas no BD e tratadas pela IA e ML, bem como trabalhos futuros poderão chegar em resultados de como captar e tratar imagens de evolução das obras através de drones. Outra pesquisa futura poderá tratar de como poderá ser identificada a evolução da obra nos ambientes internos das construções.

Palavras-chave: tecnologias digitais, Construção 4.0, fotogrametria, Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina.

ABSTRACT

Failures in cost and deadline controls in civil construction can cause delays in the delivery of works, excess expenses, in addition to customer dissatisfaction and even incalculable financial losses. Part of these problems is due to the lack of historical data, lack of insertion of technology into processes, often due to the difficulty in accepting and adapting new technologies and processes. This work investigated the existing gaps for the advancement of the so-called Construction 4.0. The research used the qualitative and investigative study method, occurring through theoretical study, research with professionals in the field, in addition to considering the researcher's practical knowledge. The results contributed to making it possible to identify the models used by other construction companies, identify current needs, in addition to identifying digital technologies that can be inserted into the processes in order to result in the proposal of a planning, design and execution model to improve the civil construction with the support of digital technologies. Furthermore, the result of this study contributed to reducing construction waste, thus contributing to a lower environmental impact.

Based on the results presented, future research will be able to identify which information should be stored in the DB and processed by AI and ML, as well as future work may arrive at results on how to capture and process images of the progress of works using drones. Other future research could address how the evolution of the work in the internal environments of buildings can be identified.

Key-words: digital technologies, Construction 4.0, photogrammetry, Artificial Intelligence, Machine Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do processo de desenvolvimento do trabalho.....	19
Figura 2 – Estruturação da proposta de modelo	21
Figura 3 – Etapas do processo de desenvolvimento de produtos.....	34
Figura 4 – Etapas do método de trabalho adotado pelas construtoras	34
Figura 5 – Proposta de modelo de planejamento, projeto e execução.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Perfil dos entrevistados	20
Quadro 2 – Síntese da fase de identificação das necessidades	36
Quadro 3 – Síntese da fase de projetos.....	38
Quadro 4 – Síntese da fase de orçamentação	40
Quadro 5 – Síntese da fase de planejamento	43
Quadro 6 – Síntese da fase de acompanhamento	45

LISTA DE SIGLAS

AI	<i>Artificial intelligence</i>
BD	Banco de dados
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
C40	Construção 4.0
EAC	Estrutura Analítica de Custos
EAP	Estrutura Analítica de Projetos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IA	Inteligência Artificial
IOT	<i>Internet Of Things</i>
LBMS	<i>Location- Based Management System</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
PIB	Produto Interno Bruto
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
VANT	Veículo aéreo não tripulável

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CENÁRIO DO ESTUDO.....	12
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.3 OBJETIVOS	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	17
2.1 PROJETO DE PESQUISA	17
2.2 DEFINIÇÃO DO MÉTODO.....	17
2.3 MÉTODO DE TRABALHO	17
2.4 SELEÇÃO DE CASOS E COLETA DE DADOS.....	19
2.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTA DE MODELO PARA APRIMORAR PLANEJAMENTO, PROJETO E EXECUÇÃO	21
3 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
3.1 PROBLEMAS SETORIAIS	22
3.2 POSSÍVEIS MITIGADORES	23
3.3 PLANEJAMENTO LEAN	24
3.4 TECNOLOGIAS DIGITAIS	25
3.4.1 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	25
3.4.2 GÊMEO DIGITAL	26
3.4.3 VISÃO COMPUTACIONAL	27
3.4.4 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS.....	28
3.4.5 IOT	29
3.4.6 BIG DATA.....	29
3.4.7 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E <i>MACHINE LEARNING</i>	30
3.5 ANÁLISE DA LITERATURA.....	31
4 RESULTADOS DA PROSPECÇÃO INICIAL	33
4.1 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	33
4.1.1 IDENTIFICAÇÃO DE NECESSIDADES.....	35
4.1.2 PROJETO	36
4.1.3 ORÇAMENTO	38
4.1.5 ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO	43
5 PROPOSTA DO MODELO	46

5.1 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES	48
5.1.1 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DE PROJETO E MERCADO	48
5.1.2 NORMAS TÉCNICAS E NORMAS REGULAMENTARES REGIONAIS	49
5.2 PROJETO	50
5.3 ORÇAMENTAÇÃO.....	51
5.4 PLANEJAMENTO	52
5.5 ACOMPANHAMENTO	53
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cenário do estudo

A urbanização se constitui num importante indicador do desenvolvimento econômico-social (WANG *et al.*, 2019). Essa urbanização alavanca o setor da construção civil. Dentre os negócios do setor se citem a construção de casas, prédios (residenciais e comerciais), aeroportos, estádios, portos, rodovias, escolas, hospitais, dentre outros. O setor gera anualmente US\$ 10 trilhões de dólares em receita, o que corresponde a 13% do PIB mundial (BARBOSA; WOETZEL; MISCHKE; RIBEIRINHO; SRIDHAR; PARSONS; BERTRAM; BROWN, 2017). Para tanto, o setor emprega 7% da população em idade produtiva ao redor do mundo (McKINSEY & COMPANY, 2017). No Brasil, um total de 248.000 novos empregos foram gerados na construção civil entre agosto de 2021 até agosto de 2022 (LAMEIRAS; HECKSHER, 2022).

Apesar de sua importância, o setor apresenta alguns problemas. Dentre esses problemas estão a baixa produtividade (MUNOZ- LA RIVERA *et al.*, 2021), a deficiente comunicação entre as partes interessadas (TALLGREN, M. V.; ROUPÉ, M.; JOHANSSON, M.; BOSCH-SIJTSEMA, P., 2020), a falta de mão de obra qualificada (MACHADO, 2020), a falta de recursos para modernização de equipamentos utilizados no processo produtivo (MUNOZ- LA RIVERA *et al.*, 2021), e a incorreta quantificação ou apuração de informações ao longo do ciclo do projeto (AKANBI; TEMITOPE; ZHANG; JIANSONG, 2021; FITZSIMMONS, J. P.; LU, R.; HONG, Y.; BRILAKIS, I., 2022).

A mitigação dos problemas listados demanda atenção à gestão do escopo, custo e prazo do projeto (WOETZEL *et al.*, 2017; TEICHOLZ, 2013). A avaliação do desempenho e a previsão de entrega de projetos demanda informações confiáveis acerca da construção (ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A., 2022). Uma maior colaboração entre as diversas partes interessadas no projeto também pode mitigar os problemas listados. Essa mitigação requer a criação, fluxo e transformação de dados. Também é preciso armazenar esses dados de forma segura durante todos os processos do projeto (KARMAKAR, A.; DELHI, V. S. K., 2021).

A Indústria 4.0 está se expandindo para outras áreas produtivas. A expansão na construção está na gênese da Construção 4.0 (C40) (BOYES *et al.*, 2018). Baseada nas novas tecnologias (JAHANGER, Q. K.; LOUIS, J.; PESTANA, C.; TREJO, D., 2021), a C40 pode ser considerada uma adaptação da automação e digitização na indústria da arquitetura e construção (CRAVEIRO *et al.*, 2019). Essa adaptação objetiva aprimorar o desempenho dos projetos e dos processos produtivos (BEGIĆ, H.; GALIĆ, M.; DOLAČEK-ALDUK, Z., 2022; PERRIER, N.; BLED, A.; BOURGAULT, M.; COUSIN, N.; DANJOU, C.; PELLERIN, R.; ROLAND, T., 2020) ou o monitoramento automatizado das atividades (RAO; ARAVINDA, S. *et al.*, 2022).

1.2 Problema de pesquisa

A construção civil ainda está distante de ter seu canteiro de obras totalmente automatizado (MELENBRINK *et al.*, 2020).

O setor da construção civil ainda apresenta falhas em seu processo de controle de custos e de prazo (EKANAYAKE; BIYANKA *et al.*, 2021). A estimativa de custos de uma obra se constitui num problema relevante. A falta de dados históricos ou até mesmo dados pouco confiáveis acarretam na impossibilidade de haver melhoria contínua na implementação de processos que eliminem falhas de planejamento, considerando que, quando menciona-se planejamento, estamos falando de todos os processos interligados, desde projeto, planejamento e execução, visto que para que haja um processo robusto e confiável de planejamento, deve-se considerar a retroalimentação do sistema. Esta retroalimentação consiste em uma melhor e mais confiável coleta de informações no processo de execução, sendo possível assim, termos dados reais para serem utilizados no processo de planejamento e projetos.

Em todo o mundo pode-se observar o atraso de entrega de obras (SALLING & LELEUR, 2015; VICK & BRILAKIS, 2018), trazendo insatisfação aos participantes de projeto (ALI, B.; ZAHOOR, H.; AIBINU, A.; NASIR, A. R.; TARIQ, A.; IMRAN, U.; KHAN, R. M., 2021). Pode-se observar diversas causas para o atraso de obras. Uma das principais causas é o tempo previsto para a execução da tarefa ser divergente da realidade (ALWI & HAMPSON, 2003). Isso se deve aos dados imprecisos ou inexistentes para a elaboração de cronogramas, que baseiam-se em estimativas de

tempo imprecisas ou na experiência dos profissionais das construtoras (FITZSIMMONS, J. P.; LU, R.; HONG, Y.; BRILAKIS, I., 2022) e não em dados coletados e armazenados com base em obras realizadas, o que poderia ser resolvido com a inserção de novas tecnologias que possam integrar processos de projeto, planejamento e execução, a fim de obter e utilizar estes dados para o sucesso dos empreendimentos.

O processo de aceitação e adaptação de novas tecnologias e processos de inovação é tido lento quando se considera a evolução da Indústria 4.0 (ZABIDIN; BELAYUTHAM; IBRAHIM, 2020). Algumas lacunas impedem um maior avanço da C40. Essas lacunas são analisadas a seguir.

A coleta de dados e a análise dos potenciais impactos positivos da digitalização das informações precisa ser aprimorada (JAHANGER, Q. K.; LOUIS, J.; PESTANA, C.; TREJO, D., 2021). Também é preciso criar condições para um melhor monitoramento do progresso da construção interna por meio da digitalização (BEGIĆ, H.; GALIĆ, M.; DOLAČEK-ALDUK, Z., 2022).

A “representação digital compartilhada de um ativo construído” (BIM) pode ser atualizada por meio da fotogrametria (HELLMUTH, R., 2022). As imagens geradas podem ajudar a avaliar atrasos ao longo da construção. Contudo, novos estudos acerca da documentação e análise desses atrasos se fazem necessários (ALI, B; ZAHOOR, H.; AIBINU, A.; NASIR, A. R.; TARIQ, A.; IMRAN, U.; KHAN, R. M., 2021). O desenvolvimento de uma ferramenta que possibilitasse a identificação automática de processos com baixa produtividade seria algo muito útil na gestão de obra (BHOKARE, S.; GOYAL, L.; REN, R.; ZHANG, J., 2022).

O tratamento das informações coletadas também é uma lacuna. Novos estudos precisam aprimorar os algoritmos de aprendizado de máquina, a fim de reconhecer as atividades de construção, de forma a garantir segurança e confiabilidade na construção automatizada (HARICHANDRAN, A.; RAPHAEL, B.; MUKHERJEE, A., 2021). Para tanto, novas pesquisas devem analisar os requisitos a serem observados na implementação de um sistema digital de gerenciamento de informações (JAHANGER, Q. K.; LOUIS, J.; PESTANA, C.; TREJO, D., 2021).

A análise das lacunas indicadas permitiu a proposição da seguinte questão de pesquisa: “Como aprimorar o planejamento, o projeto e a execução na construção civil com o apoio de tecnologias digitais?”

A resposta à essa questão de pesquisa pode desvelar um conjunto de práticas que contribuam para aprimorar o planejamento, projeto e execução e, concomitantemente, incrementar o desempenho das construtoras.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Propor um modelo de processo para aprimorar o planejamento, o projeto e a execução de obras civis com o apoio de tecnologias digitais.

Objetivos Específicos

- a) Identificar as necessidades atuais que possam ser supridas a fim de melhorar o processo de planejamento na construção civil;
- b) Identificar tecnologias digitais que possam apoiar a gestão e execução do planejamento, projeto e execução de obras.

1.4 Justificativa

O setor da construção civil convive com constantes atrasos na entrega das obras (TALLGREN, M. V.; ROUPÉ, M.; JOHANSSON, M.; BOSCH-SIJTSEMA, P., 2020; PIDGEON, A.; DAWOOD, N., 2021) e problemas na apuração de custos (EKANAYAKE; BIYANKA et al., 2021; AKANBI; TEMITOPE; ZHANG; JIANSONG, 2021). Com efeito, o não cumprimento do cronograma da obra compromete o andamento físico previsto, gerando insatisfação do contratante (SOUSA, 2020).

No plano empresarial, a viabilização dos objetivos do presente estudo pode contribuir para aprimorar os processos de planejamento, além de possibilitar o desenvolvimento de um modelo capaz de ser implementado na indústria da construção civil, considerando todos os processos construtivos e suas

particularidades. Esse aprimoramento, por sua vez, pode incrementar a produtividade, reduzir custos e evitar desperdícios nos canteiros de obras. No plano acadêmico, a viabilização dos objetivos do presente estudo pode contribuir para melhor compreensão de conceitos e funcionamento das tecnologias digitais na gestão de obras da construção civil. Ademais, o conhecimento gerado também pode vir a alavancar a elaboração de novos projetos para pesquisadores de diferentes áreas (da engenharia de produção, engenharia civil, engenharia de computação etc.).

2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

2.1 Projeto de pesquisa

Para início da pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura. Essa revisão contribuiu para um maior rigor metodológico, revelando lacunas de pesquisas acerca dos assuntos envolvidos (ARKSEY; O'MALLEY, 2005; BRINER; DENYER 2012). A pesquisa teve maior foco nas ferramentas utilizadas atualmente para gestão de obras, concentrando-se no processo de planejamento. A revisão, na sua maioria, foi realizada em *journals* em inglês. Como base de dados, foram utilizadas *Scopus* e *Web of Science*, devido à grande abrangência no assunto em estudo. Não foi feita restrição com relação ao país de origem.

Foram selecionados trabalhos publicados recentemente, para que fosse possível identificar lacunas atuais para enriquecer a pesquisa com assuntos relevantes para o meio acadêmico e empresarial.

2.2 Definição do método

A investigação dos objetivos da pesquisa foi feita por meio de um estudo qualitativo e exploratório. A literatura indica que esse método permite a investigação de questões de pesquisa do tipo “Como” ou “Por que” (YIN, 2013), sendo adequado para focalizar ambientes definidos por uma ou poucas organizações (ROESCH, 2007). A investigação de diversas organizações é considerada mais convincente e robusta porque permite, além da análise individual, a análise cruzada entre essas organizações. A literatura indica que, enquanto as análises individuais consolidam as informações de cada caso, as análises entre os casos identificam padrões, fornecendo elementos para a construção de hipóteses e o desenvolvimento de teorias (EISENHARDT, 1989; YIN, 2013).

2.3 Método de trabalho

Inicialmente, na primeira etapa da pesquisa, foi realizado um estudo teórico acerca da indústria da construção civil, abordando o processo de desenvolvimento de produto, problemas do setor, planejamento e tecnologias digitais, algumas já utilizadas

no setor e outras que podem ser utilizadas para agregar valor ao processo e ao produto, bem como na melhoria dos resultados.

Posterior à primeira etapa da pesquisa, houve a definição das construtoras para a entrevista de caráter inicial, para que fosse possível a identificação de necessidades e lacunas no processo de planejamento, projeto e execução de obras, além da elaboração do questionário a ser aplicado. Foram selecionadas para a pesquisa construtoras de fora do estado do Rio Grande do Sul, participantes do Ranking da INTEC, que é promovido pela INTEC Brasil, a qual escolhe todos os anos as 100 maiores construtoras do Brasil, com base na metodologia de metragem construída. Além destas empresas, foram entrevistados profissionais inseridos na região do Vale do Paranhana, no Rio Grande do Sul.

Logo após, realizou-se a pesquisa com as construtoras escolhidas e a elaboração da tabulação das respostas a fim de ter insumos para a elaboração da proposta do modelo, que se seguiu na etapa seguinte.

A pesquisa teve caráter inicial sendo que a base para a construção do modelo proposto também teve apoio da pesquisa teórica abordando o mercado da construção civil, suas dificuldades e seus pontos fortes, além da pesquisa de ferramentas que pudessem ser incorporados ao método, tanto ferramentas da engenharia quanto ferramentas de tecnologia da informação.

A figura 1 mostra um resumo do processo acima descrito.

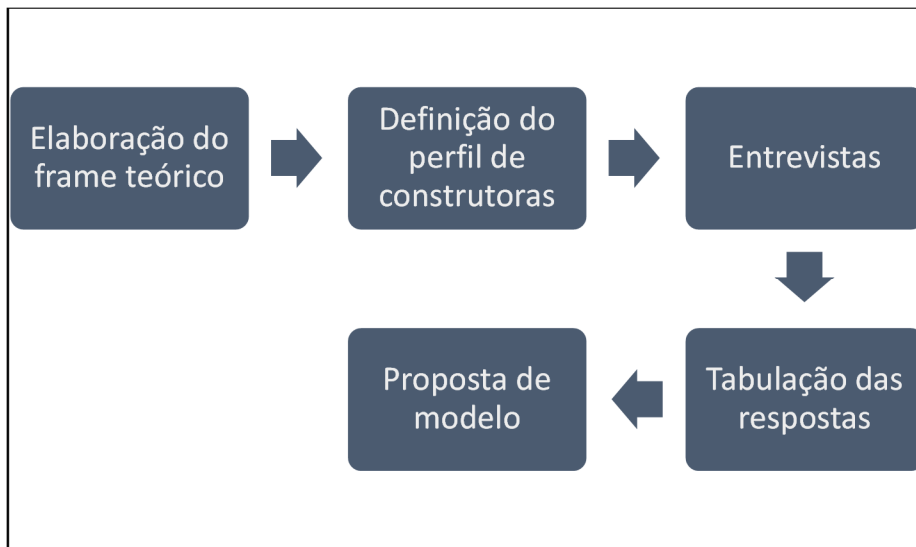


Figura 1 – Etapas do processo de desenvolvimento do trabalho (elaborado pelo autor).

2.4 Seleção de casos e coleta de dados

Estudos qualitativos demandam a combinação de uma variedade de fontes. Tais fontes incluem entrevistas que são uma das fontes mais importantes de fatos e opiniões, análise de documentos, questionários e registros de arquivos quantitativos (YIN, 2017). Para elaboração do presente estudo, foram realizadas entrevistas de caráter inicial com construtoras selecionadas, a fim de dar apoio à base deste estudo, que foi realizado através de uma estrutura teórica. A análise qualitativa se deu através de conclusões confrontadas com a literatura, de formas a se desvelar as contribuições da pesquisa.

As atividades associadas à coleta de dados tiveram início na definição do perfil das empresas a serem investigadas e na seleção delas. Foram estudadas, através de entrevistas de caráter inicial, empresas construtoras e incorporadoras que possuem obras diferenciadas, ou seja, obras com projetos não padronizados. De posse da lista de empresas, o pesquisador convidou Diretores e Gestores de Planejamento profissionais dessas organizações a participarem do estudo. Os profissionais que se dispuseram a colaborar e que podem contribuir acerca dos objetivos do estudo foram então incluídos no estudo (Quadro 1). Esse processo permitiu a seleção de

profissionais capacitados, enriquecendo assim os resultados (YIN, 2013). Aos profissionais das construtoras foram propostas as questões abaixo, as quais foram realizadas através de reuniões em plataformas on-line e posteriormente transcritas:

1. Quais os principais problemas que sua empresa enfrenta no planejamento da execução de obra?
2. Como sua empresa faz para aprimorar o planejamento de obra?
3. Que informações podem ajudar a aprimorar a estimativa de tempo de execução?
4. Na sua visão, alguma atividade da obra tem maior dificuldade para ser planejada? Qual seria a dificuldade?
5. Você acredita que a tecnologia existente no mercado é suficiente para atender à demanda de planejamento ou é deficitária? O que falta no mercado em termos de tecnologia para esta área?

Quadro 1 – Perfil dos entrevistados

ENTREVISTADO	PERFIL	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	TEMPO DE EXPERIÊNCIA
Construtora e incorporadora	Empresa de Barueri/SP fundada em 2011. Com 48 obras em andamento. 8ª colocada no ranking INTEC 2023.	Engenheiro Civil	Diretor Técnico	22 anos.
Empreiteira de Parobé/RS	Empresa fundada em 2010. Atualmente presta serviços para as principais construtoras da serra gaúcha. Possui 65 funcionários.	Ensino médio	Sócio proprietário	30 anos.
Escritório de arquitetura e engenharia Rolante/RS	Possui experiência de 18 anos em gestão de projetos, com carteira de	Mestrado / doutorando	Sócio proprietário	18 anos.

	mais de 3000 projetos.			
Construtora e incorporadora de Joinvile/SC	Empresa fundada em 2006. Atualmente está na 37ª posição no ranking INTEC.	Eng. Civil	Gestor de planejamento	10 anos.
Construtora e incorporadora de João Pessoa/PB	Empresa fundada em 2006. Em 2021 ocupava 63ª posição no ranking INTEC.	Eng. Civil	Diretor de obras	17 anos.

2.5 Análise dos resultados e proposta de modelo para aprimorar planejamento, projeto e execução

Após as entrevistas, todas as respostas foram tabuladas e classificadas por tipos de problemas, além de apontar possíveis soluções, assim como o que é preciso saber para aplicar a possível solução e, por fim, de que forma a tecnologia poderia ser incorporada para auxiliar nesta resolução. As necessidades e apontamentos feitos pelos entrevistados foram analisados em conjunto com a pesquisa teórica, o conhecimento do autor do presente estudo e lacunas atuais, o que resultou no modelo proposto, conforme demonstrado na Figura 2.

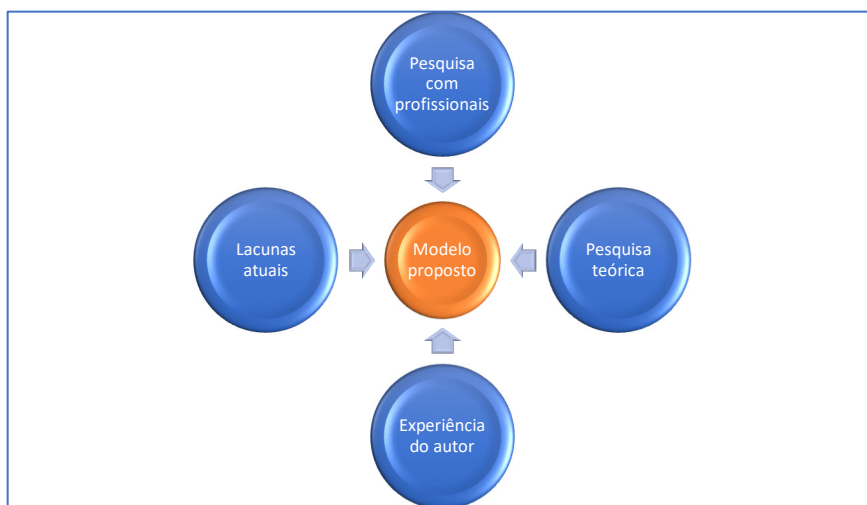


Figura 2 – Estruturação da proposta de modelo.

3 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 Problemas setoriais

A produtividade da construção evoluiu menos que noutros setores (HALTTULA, H.; HAAPASALO, H.; SILVOLA, R., 2020; RAO; ARAVINDA, S. et. al., 2022). Alguns dados reforçam essa constatação. Enquanto a indústria da construção apresentou um fraco avanço da produtividade nas últimas quatro décadas, indústrias de outros setores incrementaram em até 200% sua produtividade desde 1964 (EASTMAN et al., 2011, PEKURI et al., 2011). Diferentes fatores podem explicar a baixa produtividade. Um desses fatores é a necessidade de especialização dos operários. Essa especialização fragmenta as atividades e processos. Falta de comunicação ou comunicação ineficiente entre as partes interessadas também parecem ser fatores relevantes (TALLGREN, M. V.; ROUPÉ, M.; JOHANSSON, M.; BOSCH-SIJTSEMA, P., 2020).

O setor também convive com problemas relacionados ao controle de custos e atraso no cronograma (EKANAYAKE; BIYANKA et al., 2021). A estimativa de custos de uma obra se constitui num problema relevante. Dados imprecisos podem comprometer a quantificação dos elementos do projeto, a coleta de dados reais ao longo da obra, e a atribuição de elementos de construção a itens de trabalho ou custo. Problemas nos dados podem resultar da entrada manual de valores. (AKANBI, T.; ZHANG, J., 2021).

Obras atrasam no mundo todo (SALLING & LELEUR, 2015; VICK & BRILAKIS, 2018), frustrando as partes interessadas (ALI, B.; ZAHOOR, H.; AIBINU, A.; NASIR, A. R.; TARIQ, A.; IMRAN, U.; KHAN, R. M., 2021). No Reino Unido, 50% dos projetos de construção apresentaram atrasos na última década (GLENIGAN, 2015). Nesse contexto, o atendimento dos prazos se constitui num grande desafio dos gerentes de projeto (MISHRA & BHANDARI, 2018). Diferentes fatores podem gerar atrasos. Tarefas que demandam mais tempo que o previsto, dificuldades financeiras, atraso na entrega de material, alterações no projeto podem atrasar uma obra (ALWI & HAMPSON, 2003), dificuldade de implantar mudanças, baixa produtividade (MUNOZ-LA RIVERA et al., 2021), complexidade dos empreendimentos (PIDGEON, A.;

DAWOOD, N., 2021). ou tipo e origem dos dados. Dados imprecisos comprometem a qualidade dos cronogramas. Esses cronogramas atualmente se baseiam em estimativas de tempo imprecisas ou na experiência dos profissionais das construtoras (FITZSIMMONS, J. P.; LU, R.; HONG, Y.; BRILAKIS, I., 2022). Complexidade dos empreendimentos, grande quantidade de informações e falta de tempo também afetam a precisão dos cronogramas (TALLGREN, M. V.; ROUPÉ, M.; JOHANSSON, M.; BOSCH-SIJTSEMA, P., 2020).

3.2 Possíveis mitigadores

O planejamento da alocação de recursos contribui para que o projeto seja executado de forma satisfatória, bem como, orienta as ações corretivas (ROSENAU; GITHENS, 2011). O planejamento e o controle de obra contribuem para reduzir o desperdício das construtoras (SANTOS; SANTOS, 2017). Um bom planejamento deve aprimorar o encadeamento das operações de produção e ao mesmo tempo reduzir a ocorrência de imprevistos. Um bom controle das obras abarca a definição de um cronograma de etapas e suprimentos que viabilize a conclusão da obra no prazo acordado, reduza custos e viabilize o lucro pretendido (LEONI, 2017). A qualidade e integridade do planejamento inicial são determinantes para o bom andamento do projeto (ELZOMOR et al., 2018).

O monitoramento do progresso da obra pode aprimorar a apuração de custos e a qualidade dos futuros cronogramas. Além disso, a comparação das diferenças entre a situação planejada e o executado pode disparar ações corretivas em tempo hábil (GOLPARVAR-FARD; BOHN; TEIZER; SAVARESE; PENA-MORA, 2011). Contudo, esse monitoramento também apresenta problemas advindos da inserção manual de dados. Essa modalidade de inserção pode apresentar erros ou ser muito demorada (J. TEIZER, 2015). A situação setorial se torna mais preocupante à medida que se considera a escassez de profissionais qualificados na construção civil (A. BULAT; G. TZIMIROPOULOS, 2017). O cronograma do projeto pode se basear no método de caminho crítico (J.D. HEON; K. EL-RAYES, 2011; E. C. MARKOU; G.K. KOULINAS; A.P. VAVATSIKOS, 2017). A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) é uma ferramenta para estimar tempo e custo de um empreendimento por meio da fragmentação do projeto em pacotes de trabalho gerenciáveis (K. JONES; K.

GREGORY; A. MISLICK; A. DANIEL, 2016). Soluções como o EAP e a Estrutura Analítica de Custos (EAC) podem aprimorar a análise de custos (M. POLONSKI, 2015).

3.3 Planejamento Lean

A *Lean Construction* indica que o controle, a programação e a gestão de obras devem ser observadas no planejamento de obras. Dentre as metodologias utilizadas no Planejamento *Lean*, está o *Last Planner System*. Trata-se de um sistema de planejamento capaz de reduzir a incerteza nas operações, de modo a minimizar as variações no fluxo de atividades, utilizando ações simples, como o planejamento de trabalho semanal e acompanhamento contínuo de etapas (ADAMU; HOWEL; ABDUL, 2012). O planejamento *Lean* também requer o aprimoramento do processo produtivo a partir da redução de estoques e da entrega de produtos e serviços na hora certa (AL-AOMAR, 2012; BELAY, 2012). Para tanto o *Lean* busca relacionar a capacidade real dos recursos produtivos e suas regras operacionais, ferramentas, mão de obra e suprimentos por meio do *Planning and Scheduling* (SIEFFERT; HUYGEN; DAUDON, 2014). O Planejamento *Lean* também abarca o *Six Sigma*. O *Six Sigma* objetiva promover melhorias da qualidade dos *outputs* de processos. Essas melhorias têm início na identificação e na remoção da causa de defeitos, de forma a reduzir a variabilidade nos processos (SARHAN et al., 2017; OYEDOLAPO, 2014).

O *Lean* considera ainda que a análise detalhada de um projeto ajuda a desvelar problemas, bem como, a aprimorar as definições dos objetivos e insumos necessários. Essa análise constitui o *Detailed Briefing* (MOHAMMADI et al., 2020; HOSSAIN; WU; POON, 2017) e enfoca as práticas e seus efeitos. Noutra vertente tem-se o *Location-Based Management System (LBMS)*, o qual objetiva quebrar a fragmentação percebida no *Detailed Briefing* propondo processos que valorizem suas fases de iniciação, organização, preparação, execução e encerramento de forma integrada (MOHAMMADI et al., 2020; HOSSAIN; WU; POON, 2017). É nessa linha que se destacam práticas como o *Integrated Project Delivery*, a qual busca promover discussões entre os profissionais capazes de aprimorar os resultados (BELAY, 2012). Na mesma vertente surge a adoção do *Virtual Design Construction*, ferramenta na

qual o formato virtual proporciona melhoria do trabalho colaborativo, redução de tempo e custos e possibilidade de tomada de decisões mais ágil (GETULI et al., 2020).

Conforme visto, a construção civil enfrenta desafios relacionados a perdas de produtividade, à gestão de custos, e à ocorrência de atrasos. Esses problemas podem ser mitigados por um melhor planejamento e monitoramento da evolução das obras. Contudo, esse monitoramento enfrenta problemas advindos da grande quantidade de informações e da dificuldade de se coletar dados precisos. Considerando que a digitização pode ser aplicada em diferentes etapas da construção (SHAH et al., 2017), a próxima seção analisa a literatura acerca das tecnologias disponíveis no mercado.

3.4 Tecnologias digitais

3.4.1 Building Information Modeling (BIM)

A ISO 19650-1:2018 define o BIM como 'uma representação digital compartilhada de um ativo construído. Essa representação facilita os processos de projeto, construção e operação por meio da disponibilização de uma base confiável para a tomada de decisões' (BSI, 2018). Trata-se de uma maquete virtual parametrizável que pode ser compartilhado. Tais parâmetros podem ser úteis na elaboração de orçamentos ou na etapa de planejamento (NIKNAM, M.; JALAEI, F.; KARSHENAS, S., 2019). O desenvolvimento de modelos digitais de construção tornou possível o compartilhamento de conhecimento entre todos os envolvidos nas diferentes fases da construção (VAN BERLO und KRIJNEN, 2014), dando início a um processo de utilização de novas tecnologias na construção civil (BLINN, N.; ISSA, R. R. A., 2022).

O BIM permite a modelagem, análise e otimização de construções (FELLOWS & LIU, 2012), bem como a realização de simulações por meio da parametrização do comportamento de objetos (METERELLYÖZ, M. Ü.; ÖNDER, O., 2022). Para tanto, o BIM pode utilizar informações digitalizadas durante todo o ciclo de vida do projeto (BORRMANN et al. 2018). Dentre essas informações se citem as causas dos atrasos nas obras (ALI, B.; ZAHOOR, H.; AIBINU, A.; NASIR, A. R.; TARIQ, A.; IMRAN, U.; KHAN, R. M., 2021), as quais permitem simular e analisar a situação física das várias

disciplinas de projeto dos prédios. Os resultados dessas análises podem revelar possíveis problemas ainda na fase de projeto (NIK-BAKHT, M.; LEE, J.; DEHKORDI, S. H., 2021), aprimorar a aprendizagem acerca dos complexos sistemas construtivos (METERELLYÖZ, M. Ü.; ÖNDER, O., 2022), ou alavancar a construção de edifícios sustentáveis (CHANG, Y-T.; HSIEH, S-H., 2020).

Porém, nem sempre o BIM é bem utilizado. Por um lado, um melhor detalhamento do projeto poderia reduzir os conflitos entre as especificações arquitetônicas, estrutural, elétrica, hidráulica, etc. Por outro lado, nem todos os projetistas fazem uso da ferramenta. Outros projetistas podem não utilizar corretamente todos os recursos do BIM (PIDGEON, 2021). Além disso, a necessidade de se coletar diversas informações durante a execução do projeto é vista como um desperdício de processo (HALTTULA, H.; HAAPASALO, H.; SILVOLA, R., 2020). O uso da visão computacional poderia mitigar parte desses problemas. Contudo, o uso desse recurso esbarra na falta de modelos BIM que permitam identificar variações nos objetos. Essa limitação impossibilita o tratamento da variação do sequenciamento das atividades (PANERU, SUMAN; JEELANI, IDRIS, 2021). A literatura apresenta um *check list* para a contratação de projetos em BIM. Esse *check list* pode ajudar na elaboração de contratos considerando um maior número de variáveis de projeto (ERPAY, M. Y.; SERTYESILISIK, B., 2021).

3.4.2 Gêmeo digital

Gêmeos digitais são a representação virtual de um elemento físico. Trata-se de uma representação de um elemento real que reproduz fielmente este elemento (Q. LU; X. XIE; J. HEATON; A.K. PARLIKAD; J. SCHOOLING, 2020). Essa representação permite a coleta e distribuição de dados em tempo real, de forma a atualizar o modelo virtual (MADUBUIKE, O. C.; ANUMBA, C. J.; KHALLAF, R, 2022). Para tanto, os gêmeos digitais incluem dados físicos e funcionais acerca de um produto (BOSCHERT & ROSEN, 2016). Essa inclusão de dados permite o espelhamento de informações (GRIEVES, 2005) e o espelhamento automático das mudanças da obra no modelo virtual (MADUBUIKE, O. C.; ANUMBA, C. J.; KHALLAF, R, 2022). Além disso, as informações absorvidas acerca das operações da obra ou do estágio de andamento podem ser otimizadas ao longo do tempo. Com o gêmeo digital é possível

ainda verificar possibilidades em diferentes fases: desde o projeto até a manutenção (MADUBUIKE, O. C.; ANUMBA, C. J.; KHALLAF, R, 2022).

Conforme visto, o BIM e os gêmeos digitais demandam informações acerca da evolução a obra. Contudo, a obtenção dessas informações apresenta desafios operacionais. Esses desafios podem ser mitigados por meio da visão computacional. Detalhes a seguir.

3.4.3 Visão computacional

O monitoramento nos locais de trabalho tem sido feito com câmeras nos últimos anos (CHEN, XINYANG *et. al*, 2021). A visão computacional aplicada a um ambiente de construção objetiva capturar informações por meio de imagens e vídeos. A visão computacional tem sido mais utilizada nos processos de gestão da segurança e no monitoramento da produtividade e qualidade (PANERU, SUMAN; JEELANI, IDRIS, 2021).

O acompanhamento da construção pode se basear na visão computacional (REJA, VARUN KUMAR; VARGHESE, KOSHY, 2022). As imagens e vídeos coletados durante a obra podem ser convertidas em informações que possam ser utilizadas no processo de monitoramento e gerenciamento da construção (PANERU, SUMAN; JEELANI, IDRIS, 2021). A visão computacional pode atualizar automaticamente o cronograma, ajudando a aumentar a produtividade e a taxa de projetos entregues no prazo (BHOKARE, S.; GOYAL, L.; REN, R.; ZHANG, J., 2022) ou ajudar a identificar as causas de possíveis atrasos (BHOKARE, S.; GOYAL, L.; REN, R.; ZHANG, J., 2022). Para que os sistemas de visão computacional operem eficientemente, é necessário que haja dados de entrada de qualidade (PANERU, SUMAN; JEELANI, IDRIS, 2021). Contudo, a literatura apresenta um menor número de estudos acerca do monitoramento de áreas internas. Essa limitação restringe uma maior evolução das tecnologias baseadas em visão computacional aplicadas ao monitoramento do progresso das obras (EKANAYAKE, BIYANKA *et. al.*, 2021).

Um maior uso da visão computacional pressupõe o tratamento das informações coletadas. A análise das imagens pode se dar por meio de algoritmos de aprendizado.

Contudo, novos algoritmos precisam ser desenvolvidos para detectar defeitos nas imagens coletadas (KANG CHOW; JUN *et. al*, 2021). A resolução de problemas de construção por meio da utilização da grande quantidade de dados e aprendizado de máquina também se constitui uma grande oportunidade no setor (KHALLAF, RANA; KHALLAF, MOHAMED, 2021). Quatro níveis de monitoramento do progresso da construção são apresentados na literatura: aquisição de dados, reconstrução 3DB, modelagem *as-built* e avaliação de progresso (REJA, VARUN KUMAR; VARGHESE, KOSHY, 2022). Um melhor entendimento desses níveis pode alavancar o uso da visão computacional na gestão de obras.

A coleta de informações acerca da construção por meio de imagens demanda atualização constante. Essa atualização pode ser facilitada caso se usem veículos aéreos não tripulados. Detalhes acerca desses veículos são apresentados a seguir.

3.4.4 Veículos aéreos não tripulados

Veículos aéreos não tripulados (VANT) são sistemas aéreos sem piloto, controlados por meio de estações de controle (HALLERMANN & MORGENTHAL, 2014). Esses veículos apresentam custo acessível e demandam pouco envolvimento humano para sua operação (ZHOU AND GHEISARI, 2018). Também conhecido como drones, são plataformas aéreas pilotadas de forma remota que podem ser equipadas com sensores (HASSANALIAN & ABDELKEFI 2017).

A utilização de veículos aéreos não tripulados tem impactado significativamente a indústria da construção civil, especialmente nos processos de inspeção e monitoramento de progresso de obras de edifícios e pontes (ALBEAINO, G.; GHEISARI, M.; FRANZ, B. W., 2019). Drones têm sido usados no acompanhamento e verificação de processos nos canteiros de obra (HILFERT E KÖNIG, 2016) ou na inspeção de obras localizadas em áreas de difícil acesso. Dentre os indutores desse uso, se citem o baixo custo, a agilidade na operação, e a confiabilidade das informações coletadas. Além disso, o uso de drones é mais seguro para os profissionais envolvidos na operação (NOORALISHAHI, P.; IBARRA-CASTANEDO, C.; DEANE, S.; LÓPEZ, F.; PANT, S.; GENEST, M.; AVDELIDIS, N.P.; MALDAGUE, X.P.V., 2021). Apesar desse uso, a literatura indica que ainda há muito a se estudar

acerca de como a construção está utilizando drones ou acerca de quais são as dificuldades para a inclusão desta ferramenta nos processos (ALBEAINO, G.; GHEISARI, M., 2021).

3.4.5 IoT

A internet das coisas (*IoT*) – do termo em inglês *Internet of Things* – conecta dados, equipamentos, processos e pessoas para produzir informações que melhoram a tomada de decisão (JAGTAP; RAHIMIFARD, 2019). A *IoT* faz uso de sensores, que são dispositivos usados para coletar dados (ZHANG et al., 2018). A *IoT* foi usada para determinar o status do conteúdo dentro de uma geladeira e para notificar o usuário sobre a condição e a quantidade dos alimentos por meio de serviços de mensagem (SMS) ou *e-mail* (NASIR et al., 2018). Outros estudos sobre o tema enfocaram a melhoria da coleta de resíduos (GUTIERREZ et al., 2015) e as contribuições da *IoT* para a sustentabilidade nas cadeias de abastecimento (MANAVALAN; JAYAKRISHNA, 2019). A Internet das Coisas (*IoT*) e os dispositivos com sensores são ferramentas capazes de extrair e compartilhar informações importantes (J.K.W. WONG; J. GE; S.X. HE, 2018). A sustentabilidade ambiental pode ser gerenciada através de monitoramento em tempo real com a utilização de sensoriamento remoto e *IoT* (F. SARTIPI, 2020).

3.4.6 Big Data

O *Big Data Analytics* (BDA) pode auxiliar nas tomadas de decisões ou na interpretação dos dados armazenados (MAHESHWARI; GAUTAM; JAGGI, 2020; (IQBAL et al., 2020). Esta análise pode apoiar futuras tomadas de decisão (MANITA et al., 2020). A governança dos dados também é importante. Essa governança aprimora a qualidade, consistência, usabilidade, segurança e disponibilidade das informações (COHEN, 2006). O aprimoramento do gerenciamento de dados requer que os dados sejam armazenados num único repositório. Esse repositório deve estar disponível a todas as partes interessadas no projeto (HALTTULA, H.; HAAPASALO, H.; SILVOLA, R., 2020). A tecnologia pode ajudar na gestão dos dados. Um sistema móvel para coleta de dados com câmera 360° e um sistema de detecção digital pode proporcionar flexibilidade na aquisição de dados enquanto usuários andam por

ambientes internos (KANG CHOW; JUN et. Al, 2021). Um maior uso da visão computacional esbarra na falta de dados organizados em grandes bancos de dados, impossibilitando assim a utilização de inteligência artificial, já que não há dados suficientemente organizados que possibilitem o treinamento de sistemas baseados em IA (PANERU, SUMAN; JEELANI, IDRIS, 2021). Os dados coletados precisam estar em um único local, onde todas as partes interessadas possam ter acesso (HALTTULA, H.; HAAPASALO, H.; SILVOLA, R, 2020). A literatura também investigou o uso de *Big Data* para avaliar os benefícios proporcionados pelo software ERP (ZHANG et al., 2017).

A despeito da importância da coleta e gestão dos dados, os projetos da construção civil parecem ser menos evoluídos que os projetos de outros setores empresariais. Essa lacuna parece mais relevante em termos de gerenciamento de dados (HALTTULA, H.; HAAPASALO, H.; SILVOLA, R., 2020).

3.4.7 Inteligência artificial e *Machine Learning*

Ao lidar com grandes volumes de informações, as organizações podem fazer uso da inteligência artificial (IA). Alguns autores postulam que a IA pode substituir a inteligência humana em atividades repetitivas ou apoiar a tomada de decisão (MANITA et al., 2020). A IA tem sido usada na análise e implementação de várias iniciativas de energia renovável (JHA et al., 2017), para calcular o risco de um portfólio de produtos (GOLI et al., 2020), para analisar ações de comercialização nos mercados de energia (MORENO, 2009) e para alavancar o uso de tecnologias na manufatura (GERSHWIN, 2018). A Inteligência Artificial (IA) pode simular comportamentos, de forma a auxiliar na análise e resolução de situações complexas (SYAM; SHARMA, 2018; FITZSIMMONS, J. P.; LU, R.; HONG, Y.; BRILAKIS, I., 2022.). *Machine Learning* (ML) e IA podem ser usados na análise de um grande conjunto de dados e variáveis em tempo real (AL OJAIL, 2020).

Os dados coletados podem ser analisados pelo *Machine Learning* (ML), de formas a revelar padrões (JORDAN; MITCHELL, 2015; PRIORE et al., 2019). A tecnologia *Machine Learning* (ML) – denominado aprendizado de máquina – usa informações para tomar decisões em tempo real; por exemplo, para a identificação de

padrões em grandes volumes de dados, para o alinhamento da demanda com a oferta, etc. (ZHANG et al., 2018). A tecnologia de ML tem sido usada para medir a sustentabilidade (NILASHI et al., 2019), na previsão ou gestão de vendas (SYAM, SHARMA, 2018), para melhorar a prestação de serviços industriais (KAMP; OCHOA; DIAZ, 2017), e para melhorar a digitalização do varejo (SIMCHI-LEVI; WU, 2018).

Em suma: a combinação da IA e da ML pode apoiar a tomada de decisão com menos envolvimento humano (GUTIERREZ et al., 2015; JHA et al., 2017). No setor da construção, a literatura apresenta uma abordagem orientada a dados. Essa abordagem objetiva prever classes de módulos e requisitos preliminares de recursos. Apoiado em dados históricos de recursos de módulos semelhantes, a abordagem usa o aprendizado de máquina semissupervisionado para categorizar os módulos de construção em um nível micro (com base nos principais elementos de design extraídos de modelos 3D com baixo nível de detalhes). A abordagem resume os requisitos de recursos para cada classe de módulo, conectando modelos 3D preliminares aos requisitos históricos de recursos e aprimorando o planejamento preliminar de recursos na ausência de informações detalhadas do projeto. O método pode incorporar informações de projeto atualizadas à medida que se tornam disponíveis, garantindo que os resultados da abordagem permaneçam atualizados. (WU, L. et al. (2021).

3.5 Análise da literatura

A literatura indica que o setor da construção civil enfrenta problemas como pouca produtividade, deficiência na apuração de custos, e atrasos nos cronogramas. As soluções tradicionais indicadas na literatura enfocam o aprimoramento do planejamento, do monitoramento das obras, e da *Lean Construction*. Apesar da importância dessas alternativas, os problemas listados ainda persistem. Os recursos digitais podem ajudar a aprimorar a previsibilidade dos problemas ou a falta de compatibilização dos diversos itens utilizados nas construções. Dentre esses recursos digitais, se citem BIM, Gêmeos Digitais, Visão Computacional, Veículos Aéreos Não-tripulados (VANTs), IoT, *Big Data*, Inteligência Artificial e Machine Learning. A revisão da literatura indica que cada um desses recursos possui um papel específico. Por exemplo, BIM e Gêmeos Digitais podem aprimorar o projeto, o planejamento e o acompanhamento das obras. Contudo, esse aprimoramento demanda dados. Dados

esses que podem ser coletados por meio de Visão Computacional, VANTs ou IoT. Uma vez coletadas, essas informações poderiam ser tratadas por meio de BigData, AI e ML.

A análise da literatura revisada sugeriu uma linha de ações para a presente pesquisa. Primeiro foram investigadas as construtoras. Essa análise objetivou entender os métodos em uso por essas empresas e os problemas verificados nesses métodos ou etapas. Depois, foram analisadas as possibilidades de se mitigar esses problemas por meio das tecnologias. Essa análise se baseou em profissionais da área de tecnologias digitais.

4 RESULTADOS DA PROSPECÇÃO INICIAL

4.1 Desenvolvimento do produto na construção civil

Rozenfeld et al. (2006) afirmam que o Processo de Desenvolvimento de Produto possui a divisão em diversas etapas ou fases, para que a compreensão e o controle do processo possam ser mais facilmente entendidos. A conclusão de cada fase é identificada pela conclusão de um resultado ou um conjunto de resultados importantes ao projeto. O autor afirma ainda que o processo de desenvolvimento do produto é compreendido por entrada, processamento e saída do processo.

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o processo de desenvolvimento do produto, pode ser representado de acordo com a Figura 3 e compreende as seguintes etapas:

- 1) Pré-desenvolvimento: é nesta fase que ocorre o planejamento do produto, ou seja, onde é definido o que será desenvolvido. Também é nesta fase que acontece a avaliação econômica do projeto, além dos riscos e elaboração do plano de negócios;
- 2) Desenvolvimento: nesta fase do processo ocorrem atividades que estão divididas em quatro etapas. Na etapa de Projeto Informacional são levantadas as necessidades do cliente para interpretação posterior. Depois, ocorre a etapa de Projeto Conceitual, onde, de posse das informações coletadas com o cliente, é apresentado o conceito do produto. Após, acontece a etapa de Projeto Preliminar, onde são definidos materiais, formas, componentes e processos de fabricação. Ao final, ocorre a etapa de Projeto Detalhado, que é a fase final do projeto, onde a forma e dimensões finais do projeto são definidas. Ao final desta etapa, o produto já pode ser lançado oficialmente;
- 3) Pós-desenvolvimento: é nesta fase que acontece a decisão de como o produto será acompanhado e retirado do mercado. Define-se de que forma serão tratadas as alterações de engenharia para tratar de possíveis

correções ou até mesmo melhorias e/ou mudanças solicitadas pelos clientes.

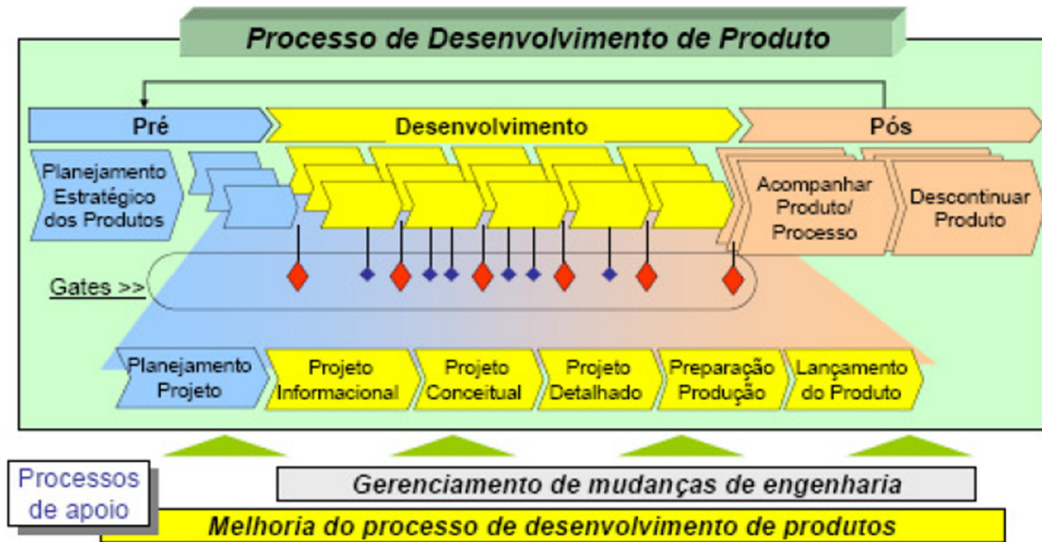


Figura 3 – Etapas do processo de desenvolvimento de produtos (ROZENFELD et. al., 2006).

Na construção civil também se segue um processo semelhante ao processo descrito por Rozenfeld et al. (2006). Este processo pode ser exemplificado na figura 4.

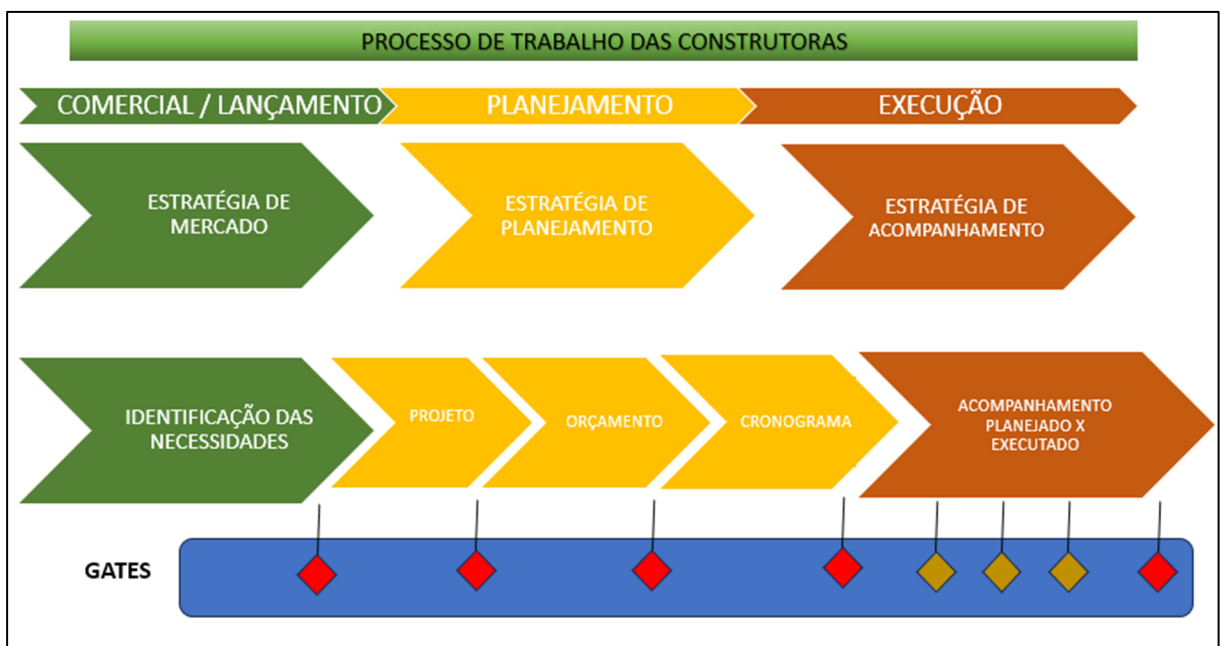


Figura 4 – Etapas do processo de trabalho adotado pelas construtoras

A primeira dessas etapas é a análise das necessidades de cada obra. De posse dessas necessidades é então elaborado o projeto da obra. Na sequência é elaborado o orçamento e planejada a execução da obra. Esse planejamento é acompanhado até a entrega final ao cliente. A seguir, são detalhadas essas etapas.

4.1.1 Identificação de necessidades

A identificação das necessidades e da finalidade de uso da edificação orientam a elaboração do projeto, bem como a definição de acabamentos, particularidades, padrão construtivo, público-alvo e demais fatores importantes para definição da construção. Para o bom andamento dessa análise são consideradas informações advindas de pesquisas de mercado, código de obras da região, além das normas técnicas vigentes. Exemplos de informações acerca das particularidades incluem: customizações, uso de energias sustentáveis e até mesmo serviços agregados ao condomínio, como lavanderia coletiva por exemplo.

No tocante às pesquisas de mercado, as construtoras podem se ressentir da falta de informações acerca dos tipos de imóveis mais procurados pelos clientes nos sites das imobiliárias locais. A existência de uma central de informações poderia mitigar esse problema. Essa central poderia conter informações sobre soluções anteriores considerando códigos e normas locais, número máximo de pavimentos que podem ser construídos, além de limitações de horários de trabalho para cada região. Todas essas informações seriam úteis no aprimoramento do planejamento de obra, especialmente quando da definição de um calendário de execução que considere as regras vigentes na localidade da obra. Apesar da importância de uma plataforma como a descrita, tal ferramenta ainda não se encontra disponível.

Existem oportunidades para a digitização da fase de identificação de necessidades, uma vez coletadas as informações indicadas, as tecnologias digitais poderiam processar as mesmas. Um BD poderia armazenar e apresentar as informações acerca dos projetos já executados na referida região. Uma melhor análise dessas informações poderia ser feita por meio de AI e ML.

O Quadro 2 apresenta uma síntese das possibilidades de uso de tecnologia para esta etapa do processo.

Quadro 2 – Síntese da fase de identificação das necessidades

Codificação	Síntese da fase de identificação das necessidades
Atividades	Coleta e análise das informações sobre pesquisas de mercado, código de obras da região e normas técnicas.
Lacunas	Inexistência de uma plataforma que centralize as informações necessárias ou que indique os elementos a serem observados pelos projetistas.
Digitização	O BD poderia concentrar as informações sobre pesquisas de mercado, código de obras da região e normas técnicas. AI e ML poderiam analisar essas informações e propor ações ou parâmetros a serem observados pelos profissionais de projeto.

4.1.2 Projeto

Na fase de projeto são processadas as informações coletadas na fase anterior, de identificação de necessidades. Esse processamento objetiva adaptar as informações disponíveis no formato de texto para a forma gráfica (ex.: dimensões dos desenhos técnicos). A adaptação do projeto também objetiva documentar as metas do empreendimento, além da adequação às normas técnicas, regionais ou municipais a serem observadas. Dentre essas informações, se citem: tipo de pavimentação existente na rua, orientação solar do local, medidas do terreno, tipo de cercamento, tipo de acabamentos, vegetação existente a ser aproveitada e a ser suprimida, construções vizinhas, por exemplo.

A fase de projeto pode ser realizada por diversas ferramentas disponíveis no mercado, como plataforma BIM por exemplo. Atualmente, a plataforma BIM é bastante difundida entre os profissionais da área de engenharia e arquitetura. Uma análise da literatura indicou que o BIM permite modelar graficamente uma construção (FELLOWS & LIU, 2012). Contudo, alguns projetistas não a utilizam ou não utilizam todos os recursos de forma correta (PIDGEON, 2021). Apesar de sua

funcionalidade, o BIM parece enfrentar problemas. O uso de tal recurso por parte das construtoras está aquém das potencialidades do BIM. Trata-se de um problema relevante que acaba por gerar problemas nas próximas etapas da construção.

O BIM, combinado com outras soluções, poderia fornecer diversas informações úteis à etapa de orçamentação (ex.: quantidades de materiais a serem utilizados) ou no planejamento (ex.: momento de compra e execução de obra). A centralização das informações de projeto no BIM poderia incrementar o seu uso. Essa centralização permitiria simular a construtibilidade, interferências entre as atividades e possíveis problemas que possam surgir durante a execução. Dentre esses problemas, se cite a incompatibilidade do projeto. Exemplos de incompatibilidade incluem: erros de graficação, conflitos entre projetos de diferentes tipos (ex.: conflitos entre projeto estrutural e arquitetônico ou entre projeto arquitetônico e projeto hidrossanitário). Parte desses problemas poderia ser mitigada por meio de do uso de AI e ML nas análises do BIM. AI e ML poderiam ainda simular a construção, propondo medidas corretivas aos projetistas.

O Quadro 3 apresenta uma síntese das possibilidades de uso da tecnologia nesta fase.

Quadro 3 – Síntese da fase de Projetos

Codificação	Síntese da fase de projetos
Atividades	Análise das informações coletadas na fase de identificação de necessidades e sua transposição para a forma gráfica (ex.: dimensões dos desenhos técnicos).
Lacunas	<p>O baixo uso das funcionalidades do BIM ou até mesmo o fornecimento tardio das informações disponibilizadas pelo BIM gera problemas nas próximas etapas da construção.</p> <p>Um maior uso do BIM depende da constatação que a ferramenta efetivamente traz benefícios às construtoras e aos projetistas.</p> <p>Simulações da construtibilidade, de interferências entre as atividades e a identificação de possíveis problemas durante a execução podem antecipar problemas, justificando um maior uso do BIM.</p>
Digitalização	AI e ML poderiam ser usados para analisar o resultado dessas simulações, propondo medidas corretivas aos projetistas.

4.1.3 Orçamento

A fase de elaboração do orçamento ocorre após finalizado o projeto. O processo de orçamento de obras é um conjunto de atividades que visam apurar os custos e despesas necessários para realização de uma obra. Orçamentos bem elaborados ajudam a garantir a viabilidade financeira do projeto, evitando prejuízos durante sua execução. Análises dos documentos indicam que um processo de orçamentação passa pelas seguintes etapas:

- a) Levantamento de informações: nesta etapa, são coletadas informações sobre as características do projeto, como localização, tipo de obra, materiais e equipamentos necessários, mão de obra, prazos, entre outros. Essas informações são obtidas por meio de documentos técnicos, como projetos arquitetônicos e estruturais, especificações técnicas, entre outros.
- b) Quantificação dos serviços: com base nas informações levantadas na etapa anterior, é feita a quantificação dos serviços que serão realizados na obra. Isso inclui o levantamento de quantidades de materiais, equipamentos e mão de obra necessários para a execução dos serviços.

- c) Composição de preços unitários: nesta etapa, são estabelecidos os preços unitários dos serviços, ou seja, o custo de cada unidade de medida de serviço. Isso é feito levando em conta os custos diretos (materiais, equipamentos e mão de obra) e os custos indiretos (impostos, encargos sociais, lucro, entre outros).
- d) Cálculo dos custos diretos e indiretos: com os preços unitários estabelecidos, é possível calcular os custos diretos e indiretos da obra. Os custos diretos são os relacionados aos materiais, equipamentos e mão de obra, enquanto os custos indiretos incluem impostos, encargos sociais, despesas administrativas, entre outros.
- e) Adição dos custos financeiros: nesta etapa, são adicionados os custos financeiros, como juros e taxas bancárias, que serão incorridos durante a execução da obra.
- f) Estabelecimento do preço de venda: por fim, com base nos custos calculados nas etapas anteriores, é estabelecido o preço de venda da obra, que deve ser suficiente para cobrir todos os custos e ainda gerar lucro para a empresa.

A precisão de um orçamento depende da acuracidade das informações coletadas nas etapas de identificação das necessidades e de projetos. Contudo, diferentes fatores comprometem a qualidade das informações coletadas. Primeiro, as informações disponíveis podem ser imprecisas ou insuficientes. Além disso, alguns processos podem demandar um maior detalhamento. Por exemplo, a mesma área física pode demandar operações adicionais. Essa variação está relacionada à geometria do projeto. A desconsideração das especificidades geométricas compromete a precisão do orçamento. Soluções computacionais incompletas também comprometem a qualidade dos orçamentos, como o uso inadequado ou uso parcial do BIM, por exemplo. Uma análise de documental e de sites da internet revela que existem boas ferramentas para a realização de orçamentos. Porém, essas soluções demandam a alimentação manual dos dados. A alimentação manual de informações se constitui noutra fonte de erros. A inexistência de uma plataforma que centralize e repasse dados confiáveis ao BIM é outro problema relevante.

O aprimoramento dessas previsões poderia se basear nas informações sobre atividades, prazos e custos de obras semelhantes já executadas. Para tanto, o BD poderia armazenar e apresentar tais informações. AI e ML poderiam ser usados no

processo de elaboração do orçamento. Esse uso se daria por meio da análise, tratamento e depuração dos valores estimados.

O Quadro 4 apresenta uma síntese do uso de tecnologia no processo de orçamentação.

Quadro 4 – Síntese da fase de orçamentação.

Codificação	Síntese da fase de orçamentação
Atividades	Apuração dos custos e despesas considerando informações de projeto, serviços e materiais. Com base nessas informações são apurados os custos unitários e quantitativos. O resultado permite que se calcule os custos diretos e indiretos. A este valor são acrescidos os custos financeiros. Por fim, é definido o preço de venda.
Lacunas	As informações disponíveis são imprecisas, insuficientes ou pouco detalhadas. Soluções computacionais que demandam a alimentação manual dos dados. Há uma lacuna na falta de utilização dos dados gerados pelo BIM nas plataformas de orçamentação ou até mesmo a geração tardia destas informações. Uma plataforma que faça o link entre BIM e orçamento poderia ser uma solução para esta lacuna.
Digitalização	O BD poderia armazenar e apresentar informações sobre atividades, especificidades, prazos e custos de obras semelhantes já executadas. O AI e ML poderiam ser usados análise, tratamento e depuração dos valores estimados.

4.1.4 Planejamento

Os dados resultantes do orçamento da obra, combinados ao sequenciamento das atividades e a produtividade de cada uma delas são subsídios para a elaboração de um cronograma inicial, que pode ocorrer mesmo antes da efetiva decisão da execução da obra. O planejamento de obras é um conjunto de atividades que visam estabelecer os objetivos, metas, prazos, recursos e estratégias necessárias para a realização de um projeto de construção. Esse processo é fundamental para garantir a eficiência, a qualidade e a segurança da obra. O planejamento se baseia no cronograma da obra.

Inicialmente é analisado o cronograma de longo prazo. Esse cronograma permite analisar do início ao fim da obra. Depois é considerado o cronograma de médio prazo. Essa análise enfoca o momento em que determinado recurso será utilizado (ex.: recursos materiais, humanos, financeiros ou equipamentos). As definições dos cronogramas de longo e médio prazo permitem que se defina o cronograma de curto prazo (em geral, limitado à semana). A execução do cronograma de curto prazo requer que todos os envolvidos e recursos estejam disponíveis, de forma a viabilizar os prazos e metas estabelecidos. Apurou-se ainda que o processo de planejamento da obra abarca as seguintes atividades:

- a) Definição do escopo: Nessa fase, são definidos os objetivos e metas do projeto, bem como os requisitos técnicos e de qualidade. É importante que sejam estabelecidos também os prazos e as condições de pagamento para que se possa realizar uma análise completa do fluxo de caixa da obra;
- b) Estudo de viabilidade de execução: Nesta fase, são avaliados os aspectos técnicos, econômicos e movimentação e transporte do projeto. É importante verificar a disponibilidade de recursos e analisar as possíveis alternativas para a execução da obra;
- c) Planejamento de longo prazo: Nessa fase, são definidas as estratégias e os procedimentos necessários para a execução do projeto. É importante que sejam estabelecidos os métodos construtivos, os cronogramas físico e financeiro, as equipes de trabalho e as responsabilidades de cada membro da equipe.
- d) Planejamento de médio prazo: Na quarta fase, são definidos os detalhes técnicos da obra, como as especificações de materiais, equipamentos e mão de obra, bem como a disponibilidade de cada recurso no prazo previsto pelo cronograma. Também é importante que sejam estabelecidos os planos de segurança, saúde e meio ambiente.
- e) Planejamento de curto prazo: Nessa fase, são definidos os procedimentos para a execução das atividades, como a definição dos processos construtivos, a programação das atividades, o controle dos materiais e equipamentos, distribuição e acompanhamento de metas de curto prazo, entre outros.
- f) Controle e monitoramento: Na última fase, é feito o acompanhamento da execução do projeto, por meio do monitoramento dos cronogramas, do controle

de custos, da avaliação da qualidade e do cumprimento das normas de segurança e meio ambiente.

A acuracidade dos cronogramas depende da qualidade das informações relacionadas à cada uma das etapas mencionadas. Contudo, as construtoras não dispõem de tais informações. Essa constatação indica pouca disponibilidade de dados confiáveis acerca de cada uma das etapas descritas. Os problemas relacionados à acuracidade das informações impactam negativamente na qualidade do planejamento. A exemplo do verificado na orçamentação, esses problemas podem ser classificados como imprecisão, insuficiência, ou pouco detalhamento das informações. Análises documentais indicam a existência de diversas ferramentas para a elaboração dos cronogramas listados (ex.: MS Project). Contudo, esses sistemas demandam a alimentação manual dos dados. E este é outro problema que afeta a qualidade do planejamento.

As informações armazenadas no BD poderiam ser analisadas por meio de AI e ML. Essas análises poderiam gerar dados sobre o planejado/executado em cada uma das operações (considerando suas especificidades). AI e ML poderiam ainda ser usados na elaboração e depuração de novos planejamentos.

O Quadro 5 apresenta uma síntese das possibilidades de uso de tecnologia nesta fase do processo.

Quadro 5 – Síntese da fase de planejamento

Codificação	Síntese da fase de planejamento
Atividades	<p>Elaboração dos cronogramas de longo, médio e curto prazo para definir quando cada recurso será necessário.</p> <p>Atividades de planejamento: definição do escopo, análise da viabilidade de execução, e planejamentos de longo, médio e curto prazo.</p> <p>Controle dos cronogramas, custos, qualidade e normas de segurança ou meio ambiente.</p>
Lacunas	<p>Imprecisão ou pouca disponibilidade das informações consideradas no planejamento.</p> <p>Alimentação manual dos dados usados no planejamento.</p>
Digitalização	<p>As informações armazenadas no BD poderiam ser analisadas por meio de AI e ML acerca do planejado/executado em cada uma das operações (considerando suas especificidades).</p> <p>AI e ML poderiam ainda ser usados na elaboração e depuração de novos planejamentos.</p>

4.1.5 Acompanhamento da execução

O acompanhamento do planejamento de obras garante que o projeto esteja sendo executado de acordo com as metas estabelecidas e dentro dos prazos e orçamentos previstos. O objetivo desse processo é identificar possíveis desvios ou problemas e tomar as medidas necessárias para corrigi-los o mais rapidamente possível. Este processo pode ser dividido nas seguintes atividades:

- a) Definição dos indicadores de desempenho: Nessa fase, são estabelecidos os indicadores de desempenho que serão utilizados para avaliar o progresso do projeto. Esses indicadores podem incluir, por exemplo, a evolução física da obra, recursos gastos comparados aos previstos, o cumprimento de prazos, entre outros.
- b) Monitoramento e controle: Na segunda fase, são realizadas as atividades de monitoramento e controle do projeto. Isso envolve a coleta de dados sobre o progresso da obra e a comparação desses dados com os indicadores de

desempenho estabelecidos. Caso sejam identificados desvios ou problemas, são tomadas as medidas necessárias para corrigi-los.

- c) **Análise e interpretação dos dados:** Nessa fase, os dados coletados são analisados e interpretados para identificar tendências e possíveis desvios. Isso permite que sejam tomadas medidas preventivas para evitar problemas futuros.
- d) **Comunicação e feedback:** Na quarta fase, é realizada a comunicação dos resultados do acompanhamento do planejamento para as partes interessadas no projeto. Isso inclui a apresentação de relatórios e informações sobre o progresso da obra, bem como a realização de reuniões para discutir eventuais problemas ou desvios.
- e) **Melhoria contínua:** Na última fase, são identificadas oportunidades de melhoria para o processo de acompanhamento do planejamento. Isso inclui a avaliação dos resultados obtidos e a identificação de possíveis ajustes nos indicadores de desempenho e nas atividades de monitoramento e controle.

As construtoras não dispõem de informações detalhadas acerca da evolução das obras, bem como que essas informações não são consideradas quando da execução de novos planejamentos. Novamente aqui se verifica a indisponibilidade de dados confiáveis acerca de cada uma das etapas descritas.

Drones poderiam ser usados no monitoramento da evolução das obras. As imagens coletadas poderiam ser então armazenadas no BD. A análise dessas imagens por meio de AI e ML poderia gerar dados relacionados a cada uma das operações (considerando suas especificidades). AI e ML poderiam ainda ser usados na elaboração e depuração de futuros planejamentos.

O Quadro 6 apresenta uma síntese de uso de tecnologia nesta etapa.

Quadro 6 – Síntese da fase de acompanhamento

Codificação	Síntese da fase de acompanhamento
Atividades	Acompanhamento da evolução da obra requer indicadores de desempenho, controle do andamento, análise e interpretação dos dados, comunicação, feedback e melhorias.
Lacunas	As construtoras não dispõem de informações detalhadas acerca da evolução das obras.
Digitalização	Drones poderiam ser usados no monitoramento da evolução das obras. As imagens coletadas poderiam ser então armazenadas no BD. AI e ML analisariam o planejado/realizado, de forma a aprimorar futuros planejamentos.

5 PROPOSTA DO MODELO

O entendimento do método adotado pelas construtoras e a análise das tecnologias estudadas, permite que se discuta a adoção de tecnologias digitais no aprimoramento de cada uma das etapas do método em uso pelas construtoras e a proposta de um modelo que possa ser seguido pelas construtoras nas fases de projeto, planejamento e execução. A confrontação com a literatura dessas possibilidades igualmente sugere possíveis benefícios advindos do uso de tecnologias digitais, bem como lacunas a serem preenchidas por futuros estudos.

A figura 5 a seguir apresenta a proposta de modelo de planejamento, de modo a suprir o objetivo principal do presente estudo. Logo após a figura, todas as etapas da proposta são detalhadas para um melhor entendimento, explanando, inclusive, as ferramentas a serem utilizadas em cada etapa do modelo.

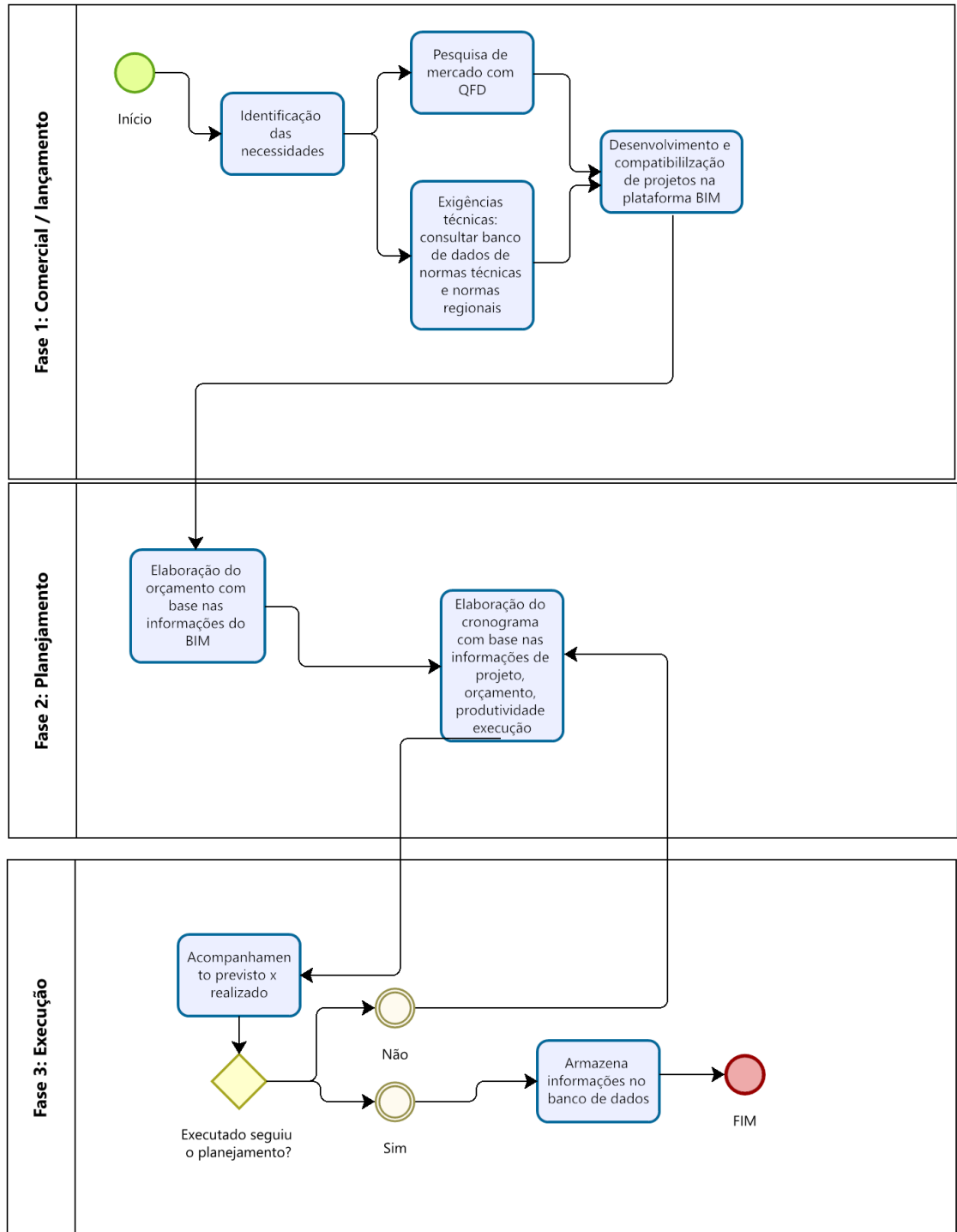


Figura 5 – Proposta de modelo de planejamento, projeto e execução (elaborado pelo autor).

5.1 Identificação das necessidades

Nesta etapa é feita a coleta e análise das informações sobre pesquisas de mercado, código de obras da região e normas técnicas. Muitas dessas informações podem ser comuns a diferentes cidades. Os achados revelaram ainda problemas enfrentados pelas construtoras na fase de identificação: inexistência de uma plataforma padronizada que centralize as informações necessárias ou que indique os elementos a serem observados pelos projetistas, especialmente no que diz respeito às normas regionais estabelecidas pelos códigos de obras dos municípios.

A seguir, serão relatadas as sub etapas para que o processo de identificação de necessidades possa ter informações importantes para a etapa seguinte, de projetos.

5.1.1 Identificação das necessidades de projeto e mercado

Esta é a etapa em que se deve levar em consideração as necessidades dos clientes, sendo este um processo fundamental para o sucesso de qualquer empreendimento. Faz parte deste processo, além de ouvir o cliente, levar em consideração as tendências de mercado e as inovações tecnológicas que podem influenciar as necessidades dos clientes.

Neste processo, será utilizada a ferramenta Desdobramento da Função Qualidade, ou QFD (Quality Function Deployment). O QFD pode ser definido como um processo sistemático que converte as exigências dos clientes em características da qualidade (AKAO, 1996). Além disso, aplicando-se o QFD, não somente ouve-se as necessidades dos clientes, mas também há a análise do conhecimento técnico exigido nos demais processos, desde o processo de projetos até a execução da obra (SANTIAGO *et. al.*, 1994).

O processo de aplicação do QFD vai consistir na análise de requisitos como:

- Localização: a análise passará por aspectos como serviços públicos, acesso ao empreendimento, vizinhança, vista do local, orientação solar, etc.

- Padrão: no quesito padrão, deverá ser avaliada a credibilidade da construtora, qualidade dos materiais e mão de obra, faixa de valores de venda, qualidade do projeto, sustentabilidade, design, custo de condomínio, personalização, dentre outros aspectos pertinentes;

- Conforto: na aplicação do QFD também deverá ser analisados itens relacionados ao conforto do empreendimento, como ventilação, existência de churrasqueira, quantidade de elevadores, estacionamento, sacada, isolamento acústico e térmico, sistema de climatização, lareira, automação;

- Segurança: deverá ser analisado ainda o quesito segurança, passando pela análise da necessidade de itens como circuito fechado de TV, muros, cerca elétrica, guarita, sistema de identificação;

- Sustentabilidade: a análise levará em consideração também quesitos de sustentabilidade, como uso de painéis solares, reaproveitamento da água, uso de materiais construtivos reaproveitáveis, entre outros;

- Espaços de lazer: outro quesito de suma importância a ser analisado no QFD, são os espaços de lazer oferecidos, como salão de festas, playground, bicicletário, jardins, quadras de esporte, piscina, sauna.

5.1.2 Normas técnicas e normas regulamentares regionais

O BD, AI e ML devem ser usados numa plataforma destinada a armazenar e analisar as informações desta fase. O BD deverá armazenar dados de código de obras da região e normas técnicas da construção civil, o que facilitará e tornará menos complexo e mais assertivo o tratamento destas informações para esta etapa do processo, sendo que um dos problemas do processo tradicional nesta etapa é a grande quantidade de informações ou a falta de tempo para se analisar essas informações (TALLGREN, M. V.; ROUPÉ, M.; JOHANSSON, M.; BOSCH-SIJTSEMA, P., 2020).

AI e ML serão utilizados para analisar essas informações e propor ações ou parâmetros a serem observados pelos profissionais de projeto. A combinação dessas

soluções poderia evitar problemas inesperados que frustram as partes interessadas (ALI, B.; ZAHOOR, H.; AIBINU, A.; NASIR, A. R.; TARIQ, A.; IMRAN, U.; KHAN, R. M., 2021).

Contudo, antes de se armazenar qualquer dado é preciso analisar quais informações serão tratadas pelas tecnologias digitais. Assim, futuros estudos podem detalhar quais são essas informações, como as mesmas devem ser armazenadas (de forma a facilitar seu uso futuro por meio de AI e ML), quais análises precisam ser realizadas por meio das tecnologias digitais e quais os parâmetros a serem considerados nas análises ao longo da etapa de identificação de necessidades. A existência de dados confiáveis e corretamente armazenados, bem como o entendimento das análises a serem realizadas e os parâmetros a serem considerados nessas análises facilitaria o uso de soluções como a IA e o ML.

5.2 Projeto

Na etapa de projeto, foram identificados problemas que impedem um melhor uso do BIM. Esses problemas são agravados quando os clientes demandam o início imediato da execução da obra (após o fechamento do contrato). Essa exigência impede um detalhamento mais apurado do projeto após a contratação. Um detalhamento parcial impede a otimização dos diferentes projetos, o que pode gerar problemas ao longo da execução. Esses problemas poderiam ser mitigados por meio da realização de simulações destinadas a avaliar a construtibilidade e a existência de interferências entre as atividades, ou então para se antecipar a identificação de problemas durante a execução da obra. A aceleração dessas simulações seria de grande utilidade nas etapas seguintes.

Na etapa de projeto, deverão ser utilizadas informações coletadas e analisadas nas etapas anteriores, de identificação das necessidades e na etapa de estudo das normas técnicas. Junto a isso, o uso de AI e ML deve ser feito para analisar o resultado das simulações, propondo medidas corretivas aos projetistas. Essas medidas corretivas devem se basear no aprimoramento da parametrização do comportamento de objetos (METERELLYÖZ, M. Ü.; ÖNDER, O., 2022) ao longo de todo o ciclo de vida do projeto (BORRMANN et al. 2018). AI e ML também devem ser utilizados para

aprimorar a simulação das obras. Para tanto, essas simulações deveriam considerar informações de arquivo acerca das causas dos atrasos nas obras (ALI, B.; ZAHOOR, H.; AIBINU, A.; NASIR, A. R.; TARIQ, A.; IMRAN, U.; KHAN, R. M., 2021). O aprimoramento das informações usadas no BIM pode ajudar revelar possíveis problemas ainda na fase de projeto (NIK-BAKHT, M.; LEE, J.; DEHKORDI, S. H., 2021) ou aprimorar a aprendizagem acerca dos complexos sistemas construtivos (METERELLIYÖZ, M. Ü.; ÖNDER, O., 2022).

Os achados também indicam lacunas que impedem a combinação do BIM com outras tecnologias digitais. A viabilização de uma etapa de projetos apoiada por BIM, AI e ML requer que futuros estudos identifiquem quais são os detalhamentos de projeto que podem apoiar o uso das soluções descritas, de forma a reduzir os conflitos entre as especificações arquitetônicas, estrutural, elétrica, hidráulica etc. Além disso, precisamos entender melhor como e com quais parâmetros as soluções como AI e ML podem apoiar na análise e controle do *check list* para a contratação de projetos em BIM (ERPAY, M. Y.; SERTYESILISIK, B., 2021).

5.3 Orçamentação

Os profissionais da construção relataram problemas na fase de orçamentação de obra. Esses problemas podem comprometer a viabilidade financeira do empreendimento. Os referidos problemas parecem advir do uso de informações imprecisas ou insuficientes (ex.: ineficiente análise da geometria da obra), do uso inadequado do BIM ou da alimentação manual das informações. A inexistência de uma plataforma que centralize e repasse dados confiáveis ao BIM é outro problema relevante.

Para esta fase do processo, deverá ser utilizado um BD para armazenar informações de prazos e custos das atividades já executadas em obras semelhantes. AI e ML serão utilizadas para analisar, tratar e depurar estes dados, para resultar em valores estimados cada vez mais assertivos. A alimentação de informações confiáveis na etapa de quantificação dos custos da obra e a posterior análise dessas informações por AI e ML podem aprimorar a análise de custos (M. POLONSKI, 2015).

A despeito de sua importância para o setor, a literatura parece considerar que o sucesso na gestão de custos se baseia apenas no correto planejamento da obra. Essa premissa desconsidera outras ações para se mitigar os erros na apuração dos custos. Futuros estudos poderiam investigar como combinar o EAP e a Estrutura Analítica de Custos (EAC) com BD, AI e ML.

Também é preciso saber como a AI e o ML podem considerar informações sobre um mesmo processo que pode ser realizado sob condições diferentes (ex.: reboco externo de paredes totalmente planas e reboco eterno de paredes com relevos e reentrâncias). Futuros estudos podem ainda estabelecer um conjunto de indicadores a serem apurados, bem como podem investigar como aprimorar o orçamento de processos similares em diferentes condições. Esses indicadores precisam contemplar as atividades desenvolvidas na etapa. O entendimento dessas informações pode facilitar o uso da AI e do ML.

5.4 Planejamento

Uma vez aprovado o orçamento, é preciso então planejar a execução da obra. Os achados revelaram alguns problemas nas atividades na etapa de planejamento: definição do escopo, análise da viabilidade de execução, e planejamentos de longo, médio e curto prazo. Os erros no planejamento podem ser gerados pela imprecisão ou indisponibilidade de informações ou pela alimentação manual dos dados. Apurou-se ainda que um bom planejamento deve facilitar o controle dos cronogramas, a gestão de custos e qualidade, e ainda a consideração das normas de segurança ou meio ambiente.

Para este processo as informações acerca do planejado/executado em obras passadas (considerando suas especificidades) devem ser armazenadas em um BD. A existência de uma base confiável de informações permitirá a realização de análises baseadas no AI e ML, considerando as especificidades de cada obra, o sequenciamento das atividades e a produtividade de cada uma delas. A literatura indica que o cronograma do projeto pode se basear no método de caminho crítico (J.D. HEON; K. EL-RAYES, 2011; E. C. MARKOU; G.K. KOULINAS; A.P.

VAVATSIKOS, 2017) ou na Estrutura Analítica do Projeto (EAP) (K. JONES; K. GREGORY; A. MISLICK; A. DANIEL, 2016).

Contudo, o uso de tecnologias digitais ainda demanda alguns avanços no conhecimento. Futuros estudos poderiam investigar como aprimorar a definição por meio de IA e ML dos dados a serem inseridos na análise do caminho crítico (J.D. HEON; K. EL-RAYES, 2011; E. C. MARKOU; G.K. KOULINAS; A.P. VAVATSIKOS, 2017). Outros estudos poderiam investigar como as referidas tecnologias digitais podem ser usadas em combinação com a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) (K. JONES; K. GREGORY; A. MISLICK; A. DANIEL, 2016).

5.5 Acompanhamento

O acompanhamento da evolução da obra requer indicadores de desempenho, controle do andamento, análise e interpretação dos dados, comunicação, feedback e melhorias. Contudo, as construtoras não dispõem de informações detalhadas acerca da evolução das obras (das já realizadas e das atuais). A ausência de informações confiáveis impede uma precisa apuração de custos incorridos. Além disso, a falta de informações impede a comparação entre a situação planejada e o executado ao longo da obra. Falhas na comparação entre os referidos estágios impedem ações corretivas em tempo hábil (GOLPARVAR-FARD; BOHN; TEIZER; SAVARESE; PENA-MORA, 2011). A exemplo do apresentado na literatura, os achados revelaram problemas advindos da inserção manual de dados (J. TEIZER, 2015).

Nesta atividade deverá ser utilizado drones no monitoramento da evolução das obras em pequenos intervalos de tempo (ex.: diariamente ou semanalmente). As imagens coletadas pelos drones devem ser armazenadas no BD. AI e ML analisariam essas imagens, de forma a disparar alertas de desvios entre o planejado/realizado, comparando com a planejamento previsto. A ML vai ainda ajudar a aprimorar a base de dados, de forma a subsidiar futuros planejamentos mais precisos. Melhorias na detecção das ações corretivas que se fazem necessárias ou na melhoria das informações usadas no planejamento e o controle de obra podem reduzir o desperdício das construtoras (SANTOS; SANTOS, 2017), e incrementar a

possibilidade de entrega da obra no prazo (LEONI, 2017) ou a qualidade do planejamento inicial (ELZOMOR et al., 2018).

Contudo, a viabilização desses benefícios demanda mais estudos. É preciso entender melhor como aprimorar as atividades da etapa de acompanhamento por meio de BD, AI e ML. Para tanto, precisamos entender quais informações armazenar, como as tratar com AI e como as aprimorar com ML. Outros estudos podem investigar como captar e tratar imagens acerca da evolução da obra por meio de drones.

6 CONCLUSÃO

Como foi definido inicialmente, o objetivo principal da presente dissertação era propor um modelo de processo para aprimorar o planejamento, o projeto e a execução de obras civis com o apoio de tecnologias digitais para este importante segmento produtivo, sendo que tal modelo pôde ser apresentado na seção anterior.

O método de pesquisa empregado na sua elaboração seguiu as etapas de entrevistas de caráter inicial, revisão bibliográfica, identificação de lacunas e problemas atuais, além de considerar a experiência profissional do autor, resultando no modelo proposto sendo possível desta forma, atingir o objetivo principal do presente estudo.

As soluções indicadas para as lacunas de cada etapa podem contribuir para a literatura e até mesmo para estudos futuros, de vários modos. O armazenamento das informações geradas pode ser acessado e compartilhado entre os pesquisadores de assuntos relacionados à planejamento e construção civil, possibilitando assim o acesso à dados mais confiáveis para novos estudos. Estes dados podem ainda serem utilizados para estudos de caso, contribuindo assim para a literatura científica da construção civil.

A viabilização de tecnologias digitais para o planejamento na construção civil pode contribuir para os processos gerenciais ao facilitar a documentação e registro, permitir análises e estudos de caso mais aprofundados, possibilitar simulações detalhadas e, ainda, impulsionar a inovação e o desenvolvimento tecnológico no setor da construção civil. Estas contribuições ajudam a enriquecer o conhecimento existente, promover avanços da construção civil e facilitar a disseminação de informações relevantes para a comunidade acadêmica e profissional.

A elaboração desta dissertação representou um desafio teórico e prático, onde pode-se perceber um misto de conhecimento prático ligado diretamente à base teórica pesquisada. Em resumo, este estudo resultou em uma importante ligação entre a esfera gerencial prática à teoria pesquisada.

Visto que, como mencionado no decorrer da pesquisa, há uma certa dificuldade em aplicar novas tecnologias no setor da construção civil. Esta dificuldade se dá em partes pela lentidão com a qual as novas tecnologias são inseridas neste setor se comparado a outros setores industriais ou, seja por falta de interesse dos profissionais da área. Talvez estas sejam as maiores dificuldades em aplicar o uso do modelo proposto.

Em conclusão, esta dissertação oferece uma visão abrangente de planejamento, projeto e execução na construção civil com apoio das tecnologias digitais, contribuindo substancialmente para que o modelo proposto possa ser inserido na prática da indústria da construção civil, de modo que seja possível ser aprimorado incessantemente.

REFERÊNCIAS

- A. BULAT, G. TZIMIROPOULOS. How far are we from solving the 2D & 3D face alignment problem? **Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.**, p. 1021–1030, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.116>.
- ABUALDENIEN, J., BORRMANN, A. Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, Special issue The Eastman Symposium pg. 363-392, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.018>.
- ADAMU, S.; HOWELL, G.A; ABDUL HAMID, R. Lean construction techniques implementation in Nigeria Construction Industry. **Int. J. Sci. Eng. Res.** 3 (12) (2012) 1–11.
- AKANBI, T., ZHANG, J. Design information extraction from construction specifications to support cost estimation. **Automation in Construction**, Vol. 131, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103835>.
- AKAO, Yoji. **Introdução ao Desdobramento da Qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.
- AL OJAIL, M. Appearance of Intelligent Digital Mesh: A Landmark in E-Business. *International Journal of Advanced Science and Technology*, v. 29, n. 8, pp. 1602-1613, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344868809_Appearance_of_Intelligent_Digital_Mesh_A_Landmark_in_E-Business.
- AL-AOMAR, R. Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. **Lean Construction Journal**, v. 2012, p. 105–121, 2012.
- ALBEAINO, G., GHEISARI, M. Trends, benefits, and barriers of unmanned aerial systems in the construction industry: a survey study in the United States. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 84-111, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.006>.
- ALBEAINO, G., GHEISARI, M., FRANZ, B. W. A systematic review of unmanned aerial vehicle application areas and technologies in the AEC domain. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 24, pg. 381-405, 2019. Disponível em: <https://www.itcon.org/2019/20>.
- ALI, B., ZAHOOR, H., AIBINU, A., NASIR, A. R., TARIQ, A., IMRAN, U., KHAN, R. M. BIM aided information and visualization repository for managing construction delay claims. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 1023-1040, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.054>.
- ALWI, S., AND HAMPSON, K. D. Identifying the important causes of delays in building construction projects. **In The 9th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction**, 2003.

ARKSEY, H., O'MALLEY, LISA. Scoping Studies: Towards a Methodological Framework. **International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice**, v.8, n.1, p.19-32, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>.

BEGIĆ, H., GALIĆ, M., DOLAČEK-ALDUK, Z. Digitalization and automation in construction project's life-cycle: a review. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 441-460, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.021>.

BELAY, A. M. Lean Construction Practices and its Effects : A Case Study at St Olav ' s Integrated Hospital , Norway. **Lean Construction Journal**, n. June 2014, 2012.

BHOKARE, S., GOYAL, L., REN, R, ZHANG, J. Smart construction scheduling monitoring using YOLOv3-based activity detection and classification. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 240-252, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.012>.

BLINN, N., ISSA, R. R. A. Integration strategies for advanced construction technologies in the US AECO industry. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 109-129, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.006>.

BORRMANN, A., KÖNIG, M., KOCH, C., BEETZ, J. Building information modeling: Why? what? how? Springer, 2018.

BOSCHERT, S., HEINICH, C. AND ROSEN, R. Next-generation digital twin. **Proceedings of TMCE, Las Palmas de Grad Canaria, Spain**, 2017.

BOYES, H. *et al.* The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry**, Vol. 101, pg. 1–12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>.

C. MARKOU, G.K. KOULINAS, A.P. VAVATSIKOS. Project resources scheduling and leveling using Multi-Attribute Decision Models: models' implementation and case study. **Expert Syst. Appl.**, vol. 77, p. 160–169, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.035>.

CHANG, Y-T., HSIEH, S-H. A review of Building Information Modeling research for green building design through building performance analysis. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 25, pg. 1-40, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.001>.

CHAVES FILHO, F. **Avaliação do custo de uma obra devido à falta de um planejamento adequado**. Brasília: Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, 2014.

CHEN, X. *et al.* BIM-based optimization of camera placement for indoor construction monitoring considering the construction schedule. **Automation in Construction**, Vol. 130, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103825>.

COHEN, R. (2006). What's in a Name? Data Governance Roles, Responsibilities and Results Factors, 2006. Disponível em: <https://www.information->

[management.com/news/whats-in-a-name-data-governance-roles-responsibilities-and-results-factors](https://www.management.com/news/whats-in-a-name-data-governance-roles-responsibilities-and-results-factors).

CRAVEIRO, F. *et al.* (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. **Automation in Construction**, vol. 103, pag. 251–267, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. & LISTON, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. **Wiley**, 2011.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Journal**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

EKANAYAKE, B. *et al.* Computer vision-based interior construction progress monitoring: A literature review and future research directions. **Automation in Construction**, Vol. 127, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103705>

ELZOMOR, M., BURKE, R., PARRISH, K., & GIBSON, G. E. Front-End Planning for Large and Small Infrastructure Projects: Comparison of Project Definition Rating Index Tools. **Journal of Management in Engineering**, vol. 34, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000611](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000611).

ERPAY, M. Y., SERTYESILISIK, B. Preliminary checklist proposal for enhancing BIM-based construction project contracts. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 341-365, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.019>.

F. BARBOSA, J. WOETZEL, J. MISCHKE, M.J. RIBEIRINHO, M. SRIDHAR, M. PARSONS, N. BERTRAM, S. BROWN. Reinventing Construction: A Route of Higher Productivity. **McKinsey Global Institute**, 2017.

F. SARTIPI. Influence of 5G and IoT in construction and demolition waste recycling - conceptual smart city design. *J. Construct. Mat.*, vol. 1, p. 1–9, 2020.

FELLOWS, R., LIU, A. M. Managing organizational interfaces in engineering construction projects: addressing fragmentation and boundary issues across multiple interfaces. **Construction management and economics**, vol. 30, p. 653-671, 2012.

FITZSIMMONS, J. P., LU, R., HONG, Y., BRILAKIS, I. Construction schedule risk analysis – a hybrid machine learning approach. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 70-93, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.004>.

Gershwin, S. B. The future of manufacturing systems engineering. **International Journal of Production Research**, vol. 56, p. 224-237, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1395491>.

GETULI, V. *et al.* BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, Vol. 114, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103160>

GIBBERT, M.; RUIGROK, W. The “What” and “How” of Case Study Rigor: Three Strategies Based on Published Work. **Organizational Research Methods**, v. 13, n. 4, p. 710–737, 2010.

GLENIGAN. UK Industry Performance Report, vol 32, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3987/Contents-13-8802>.

GOESSENS, S., MUELLER, C., LATTEUR, P. Feasibility study for drone-based masonry construction of real-scale structures. **Automation in Construction**, Vol. 94, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.015>.

GOLI, A. *et al.* Big Data-Driven Cognitive Computing System for Optimization of Social Media Analytics. **Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, Vol. 8, p. 82215-82226, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991394>

GRIEVES, M. Product Lifecycle Management: the new paradigm for enterprises. **International Journal of Product Development**, vol. 2, p. 71-84, 2005.

GUTIERREZ, G. J., *et al.* A comparison of machine learning regression techniques for LiDAR-derived estimation of forest variables. **Neurocomputing**, vol. 167, p. 24-31, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.09.091>.

HALLERMANN, N., AND MORGENTHAL, G. Visual inspection strategies for large bridges using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). **In The Seventh International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2014)**, p. 661–667, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b17063-96>.

HALTTULA, H., HAAPASALO, H., SILVOLA, R. Managing data flows in infrastructure projects - the lifecycle process model. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 25, pg. 193-211, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.012>.

HARICHANDRAN, A., RAPHAEL, B., MUKHERJEE, A. A hierarchical machine learning framework for the identification of automated construction. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 591-623, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.031>.

HASSANALIAN, M., AND ABDELKEFI, A. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. **Progress in Aerospace Sciences**, vol. 91, p. 99–131, 2017.

HELLMUTH, R. Update approaches and methods for digital building models – literature review. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 191-222, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.010>.

HILFERT, T. AND KÖNIG, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. **Visualization in Engineering**, vol. 4, p. 1-18, 2016.

HOSSAIN, M. U.; WU, Z.; POON, C. S. Comparative environmental evaluation of construction waste management through different waste sorting systems in Hong Kong. **Waste Management**, 2017. v. 69, p. 325–335.

IQBAL, A. *et. al.* Big data Analytics based energy analysis and monitoring for multi-storey hospital buildings: case study. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, vol. 1096, 2020. Disponível em: [https://doi-org.ez101.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-981-15-1532-3_14](https://doi.org.ez101.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-981-15-1532-3_14)

J. TEIZER. Status quo and open challenges in vision-based sensing and tracking of temporary resources on infrastructure construction sites. **Adv. Eng. Inform.**, vol. 29 p. 225–238, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.006>.

J.D. HEON, K. EL-RAYES. Multiobjective optimization of resource leveling and allocation during construction scheduling. **J. Constr. Eng. Manag**, vol. 137, pag. 1080–1088, 2011. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000368](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000368).

J.K.W. WONG, J. GE, S.X. HE. Digitisation in facilities management: a literature review and future research directions. **Autom. Constr.**, vol. 92, p. 312–326, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.006>.

JAGTAP, S., RAHIMIFARD, S. The digitization of food manufacturing to reduce waste – Case study of a ready meal factory. **Waste management**, vol. 87, p. 387-397, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.017>.

JAHANGER, Q. K., LOUIS, J., PESTANA, C., TREJO, D. Potential positive impacts of digitalization of construction-phase information management for project owners. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 1-22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.001>.

JHA, A. *et. al.* Renewable energy: Present research and future scope of Artificial Intelligence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 77, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.018>.

JORDAN, M. I.; MITCHELL, T. M. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. **Science**, v. 349, n. 6224, p. 255-260, 2015. 349(6245). Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaa8415>.

K. JONES, K. GREGORY, A. MISLICK, A. DANIEL. Cost estimation – methods and tools. **Chromatographia**, vol. 79, p. 113–114, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10337-015-2973-0>.

KAMBLE, S. S. Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. **Journal of Retailing and Consumer Services**, Vol. 48, p. 154-168, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.020>.

KAMP, B., OCHOA, A., DIAZ, J. Smart servitization within the context of industrial user–supplier relationships: contingencies according to a machine tool manufacturer. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Vol. 11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12008-016-0345-0>.

- KANG CHOW, J. et. al. Automated defect inspection of concrete structures. **Automation in Construction**, Vol. 132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103959>.
- KARMAKAR, A., DELHI, V. S. K. Construction 4.0: what we know and where we are headed? **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 526-545, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.028>.
- KHALLAF, R., KHALLAF, M. Classification and analysis of deep learning applications in construction: A systematic literature review. **Automation in Construction**, Vol. 129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103760>.
- KOVACIC, I., HONIC, M. Scanning and data capturing for BIM-supported resources assessment: a case study. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 624-638, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.032>.
- LAMEIRAS, Maria A. P., HECKSHER, Marcos. Indicadores mensais do mercado de trabalho – agosto de 2022. **Instituto de pesquisas econômicas aplicadas (IPEA)**. Nota de conjuntura 2 – 4º trimestre de 2022, nº 57. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/category/mercado-de-trabalho/>
- LEE, S. Development of augmented reality applications for refrigerated warehouse. **ICIC Express Letters, Part B: Applications**, vol. 9, p. 469-476, 2018.
- LEONI, V. Impacto no custo de uma obra por falta de planejamento – Efeito Dominó, 09 fevereiro 2017. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/impacto-custo-de-uma-obra-por-falta-planejamento-pelles-leoni/?originalSubdomain=p>>.
- M. GOLPARVAR-FARD, J. BOHN, J. TEIZER, S. SAVARESE, F. PE~NA-MORA. Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. **Autom. Constr.**, vol. 20, p. 1143–1155, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.016>.
- M. POLONSKI. Application of the work breakdown structure in determining cost buffers in construction schedules. **Arch. Civ. Eng.**, pg. 147–161, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ace-2015-0010>.
- M.D. ROSENAU, G.D. GITHENS, Successful Project Management: A Step by Step Approach with Practical Examples. **Wiley**, 2011. Disponível em: https://books.google.ca/books?hl=en&lr=&id=YSFHAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&ots=i7z9IGM6I7&sig=vr9E673nnAMO7-cbJmC5-zV4YFw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
- MACHADO, R. Análise do retrabalho devido à falta de planejamento em uma obra da indústria da construção civil. Rio de Janeiro: NPPG/POLI – UFRJ, **Revista Boletim do Gerenciamento**, 2019.
- MADUBUIKE, O. C., ANUMBA, C. J., KHALLAF, R. A review of digital twin applications in construction. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 145-172, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.008>.

MAHESHWARI, SUMIT; GAUTAM, PRERNA; JAGGI, CHANDRA K. Role of Big Data Analytics in supply chain management: current trends and future perspectives. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–26, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1793011>.

MANAVALAN, E., JAYAKRISHNA, K. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. **Computers and Industrial Engineering**, vol. 127, p. 925-953, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>.

MANITA, R. *et al.* The digital transformation of external audit and its impact on corporate governance. **Technological Forecasting and Social Change**, Vol. 150, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119751>.

MAROCCO, M., GAROFOLO, I. Integrating disruptive technologies with facilities management: A literature review and future research directions. **Automation in Construction**, Vol. 131, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103917>

MELENBRINK, N., WERFEL, J. AND MENGES, A. (2020) On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building. **Automation in Construction**, vol. 119, p. 103-312, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103312>.

METALLO, C. Understanding business model in the Internet of Things industry. **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 136, p. 298-306, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.020>.

METERELLYÖZ, M. Ü., ÖNDER, O. BIM-enabled learning for building systems and technology. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 27, pg. 1-19, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.001>.

MISHRA, A. AND BHANDARI, S. (2018). Performance assessment of ongoing construction projects under town development fund. **Nepal**, vol. 1, p. 27–39, 2018.

MOHAMMADI, A. *et al.* Applying lean construction principles in road maintenance planning and scheduling. **International Journal of Construction Management**, 2020. v. 0, n. 0, p. 1–11.

MORENO, J. Trading strategies modeling in Colombian power market using artificial intelligence techniques. **Energy Policy**, Vol. 37, p. 836-843, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.10.033>.

MUNOZ-LA RIVERA F. *et al.* Methodological-technological framework for construction 4.0. **Archives of Computational Methods in Engineering**, vol. 28, p. 689-711, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>.

NASIR, H. *et al.* The Implementation of IoT Based Smart Refrigerator System. **Conference on Smart Sensors and Application**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICSSA.2018.8535867>.

NIK-BAKHT, M., LEE, J., DEHKORDI, S. H. BIM-based reverberation time analysis. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 28-38, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.003>.

NIKNAM, M., JALAEI, F., KARSHENAS, S. Integrating BIM and product manufacturer data using the semantic web technologies. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 24, pg. 424-439, 2019. Disponível em: <https://www.itcon.org/2019/22>.

NILASHI, M. *et al.* Measuring sustainability through ecological sustainability and human sustainability: A machine learning approach. **Journal of cleaner production**, vol. 240, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118162>.

NOORALISHAHI, P., IBARRA-CASTANEDO, C., DEANE, S., LÓPEZ, F., PANT, S., GENEST, M., AVDELIDIS, N.P., MALDAGUE, X.P.V. Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. **Drones**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones5040106>.

OYEDOLAPO, O. Implementation of the Lean Approach in Sustainable Construction : A Conceptual Framework, Lancashire, Central. **PhD. Thesis**, n. April, p. pp441, 2014.

PANERU, S., JEELANI, I. Computer vision applications in construction: Current state, opportunities & challenges. **Automation in Construction**, Vol. 132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103940>.

PEKURI, A., HAAPASALO, H. & HERRALA, M. Productivity and performance management – managerial practices in construction industry. **International Journal of Performance Measurement**, vol. 1, p. 39-58, 2011.

PERRIER, N., BLED, A., BOURGAULT, M., COUSIN, N., DANJOU, C., PELLERIN, R., ROLAND, T. (2020). Construction 4.0: a survey of research trends. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 25, pg. 416-437, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.024>.

PIDGEON, A., DAWOOD, N. BIM Adoption Issues in Infrastructure Construction Projects: Analysis and Solutions. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 263-285, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.015>.

PRIORE, Paolo *et al.* Applying machine learning to the dynamic selection of replenishment policies in fast-changing supply chain environments. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 11, p. 3663-3677, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1552369>.

Q. LU, X. XIE, J. HEATON, A.K. PARLIKAD, J. SCHOOLING. From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management. **Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future**, vol. 853, p. 392–404, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27477-1_30.

RAKHA, T., GORODETSKY, A. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones. **Automation in Construction**, Vol. 93, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>.

RAO, A. S. *et al.* Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications. **Automation in Construction**, Vol. 136, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104099>.

REJA, V. K.; VARGHESE, K., HÁ, Q. P. Computer vision-based construction progress monitoring. **Automation in Construction**, Vol. 138, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104245>.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração**. 3. ed. São Paulo, Atlas, 2007.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAFURA ZABIDIN, N., BELAYUTHAM, S., CHE IBRAHIM, C. K. I. A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 25, pg. 287-307, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.017>.

SALLING, K. B., & LELEUR, S. Accounting for the inaccuracies in demand forecasts and construction cost estimations in transport project evaluation. **Transport Policy**, vol. 38, p. 8–18, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.006>

SANTIAGO, C. A. F. *et al.* **Casos reais de implantação de TQC: PDCA, Método de solução de problemas e QFD e garantia da qualidade**. Vol. 2. São Paulo: Fundação Christiano Ottoni, 1994.

SANTOS, D. SANTOS, P. **Investigação de perdas devido ao trabalho inacabado e o seu impacto no tempo de ciclo dos processos construtivos**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017.

SARHAN, J. G. *et al.* Lean Construction Implementation in the Saudi Arabian Construction Industry. **Construction Economics and Building**, 2017.

SHAH K., MITCHELL A., LEE D. AND MALLELA J. Addressing Challenges and Return on Investment (ROI) for Paperless Project Delivery (e-Construction). **FHWA/Construction/ Technologies and Innovation/ e-Construction**. FHWA, 2017.

SIEFFERT, Y., HUYGEN, J.M., DAUDON, D. Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering-architecture collaboration. **Journal of a cleaner production**, vol. 67, pg. 125-138, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.018>.

SIMCHI-LEVI, D., WU, M. X. Powering retailers' digitization through analytics and automation. **International Journal of Production Research**, vol. 56, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1404161>.

SOUSA, L. Problemas em cronogramas nos projetos da construção civil, 25 julho 2020. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/problemas-em-cronogramas-nos-projetos-da-constru%C3%A7%C3%A3o-civil>>.

SYAM, N.; SHARMA, A. Waiting for a sales renaissance in the fourth industrial revolution: Machine learning and artificial intelligence in sales research and practice. **Industrial Marketing Management**, [s. l.], v. 69, p. 135–146, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.12.019>.

TALLGREN, M. V., ROUPÉ, M., JOHANSSON, M., BOSCH-SIJTSEMA, P. (2020). BIM-tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 25, pg. 374-397, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.022>.

Teicholz, P. Labor-productivity declines in the construction industry: Causes and remedies (another look). **AECbytes Magazine**, 2013. Disponível em: https://www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_67.html.

THING LEO, G., MEBARKI, A., CLAUDE, F., GOBIN, C., EL MEOUCHE, R. On the quality of buildings and construction projects: metrics and process dynamics. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 26, pg. 174-192, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.011>.

UMAR, T. (2021). Applications of drones for safety inspection in the Gulf Cooperation Council construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Vol. 28, No. 9, pg. 2337-2360, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0369>

VAN BERLO, L. and KRIJNEN, T. Using the BIM Collaboration Format in a Server Based Workflow. **Procedia Environmental Sciences**, vol. 22, p. 325–332, 2014.

VICK, S., & BRILAKIS, I. (2018). Road Design Layer Detection in Point Cloud Data for Construction Progress Monitoring. **Journal of Computing in Civil Engineering**, vol. 32. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000772](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000772)

WANG, J. et al. Critical factors affecting willingness of design units towards construction waste minimization: An empirical study in Shenzhen, China. **Journal of Cleaner Production**, 2019. v. 221, p. 526–535.

WEN, Z. *et al.* Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. **Waste management**, vol. 73, p. 26-38, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.054>.

WOETZEL, J. et al. The construction industry has a productivity problem — and here's how to solve it. **MarketWatch**, 2017. Disponível em: <https://www.marketwatch.com/story/the-construction-industry-has-a-productivity-problem-and-heres-how-to-solve-it-2017-03-04>.

WU, L. *et al.* Intelligent data-driven approach for enhancing preliminary resource planning in industrial construction. *Automation in Construction*, Vol. 130, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103846>.

YIN, R. K. Validity and generalization in future case study evaluations. **Evaluation**, v. 19, n. 3, p. 321–332, 2013.

ZHANG, Y. *et al.* Mobile social media in inter-organizational projects: Aligning tool, task and team for virtual collaboration effectiveness. **International Journal of Project Management**, v. 36, n. 8, p. 1096–1108, 2018.

ZHANG, Z. *et al.* A framework of ERP systems implementation success in China: An empirical study. **International Journal of Production Economics**, v. 98, n. 1, p. 56–80, 2005.

ZHOU, S., AND GHEISARI, M. Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review. **Construction Innovation**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/CI-02-2018-0010>.