XAVIER EMILIO LOOR TORRES

BIM no planejamento de obras de infraestrutura de drenagem

São Paulo

2020

XAVIER EMILIO LOOR TORRES

BIM no planejamento de obras de infraestrutura de drenagem

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Leal Ferreira

São Paulo

2020

XAVIER EMILIO LOOR TORRES

BIM no planejamento de obras de infraestrutura de drenagem

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Leal Ferreira

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Loor Torres, Xavier Emilio

BIM no planejamento de obras de infraestrutura de drenagem / X. E.

Loor Torres -- versão corr. -- São Paulo, 2020.

110 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.BIM 4D 2.Infraestrutura 3.drenagem 4.Modelagem da informação da Construção 5.planejamento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

***A mis padres, por el apoyo
incondicional que me han dado
siempre. Gracias por todo.***

RESUMO

Com o decorrer dos anos, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) vem se consolidando no mundo, tanto em obras de edificação quanto em obras de infraestrutura. Enquanto vários países desenvolvidos estão aproveitando os diversos benefícios que o BIM traz para a construção, outros países ainda estão no caminho da adoção. O BIM tem a capacidade de auxiliar nas diversas fases do ciclo de vida dos projetos de construção, desde a concepção até a demolição. No campo da Construção Civil percebe-se, pela literatura acadêmica e técnica, que a fase de execução de obras tem espaço para muitas melhorias. Existe a necessidade de melhorar a produtividade de obra, que é baixa quando comparada com outras indústrias, e de aprimorar os recursos empregados na fase de construção, já que o desperdício de recursos é elevado e constata-se possibilidades de reduzi-lo. Surgem, como forma de auxiliar na implementação de soluções, esforços para melhorar os planejamentos das obras, de modo a otimizar os recursos aplicados. As ferramentas BIM, por sua parte, também contribuem nesse sentido, por incorporar várias funcionalidades até então muito difíceis de conduzir sem o auxílio eficiente dos sistemas computacionais e boa qualidade de informações. Este trabalho foi focado em obras de infraestrutura, especialmente em obras de drenagem pluvial e esgoto onde o BIM ainda precisa ser mais explorado. Em base a um estudo de caso de uma obra de infraestrutura urbana realizado no Equador, foi elaborado um fluxo de trabalho como uma alternativa para melhorar o planejamento da obra com o uso do BIM. O acompanhamento da obra e as informações coletadas, focadas em identificar desperdícios, serviram para fundamentar a proposta da alternativa de baseada em BIM para reduzi-los e melhorar o planejamento da obra. A metodologia de pesquisa utilizada foi a pesquisa construtiva.

Palavras chave: Modelagem da Informação da Construção (BIM), infraestrutura, drenagem, planejamento, fase de construção, otimização de recursos, BIM 4D.

ABSTRACT

Over the years, Construction Information Modeling (BIM) has been consolidated in the world, both in building works and in infrastructure works. While several developed countries are taking advantage of the many benefits that BIM brings to construction, other countries are still on the road to adoption. BIM has the ability to assist in the various phases of the life cycle of construction projects, from design to demolition. In the field of Civil Construction, it is clear from the academic and technical literature that the construction phase has room for many improvements. There is a need to improve the productivity of the work, which is low when compared to other industries, and to improve the resources used in the construction phase, since the waste of resources is high and there are possibilities to reduce it. As a way to assist in the implementation of solutions, efforts appear to improve the planning of the works, in order to optimize the resources applied. The BIM tools, for their part, also contribute in this sense, by incorporating several functionalities that until then were very difficult to conduct without the efficient assistance of computer systems and good quality of information. This work was focused on infrastructure works, especially on rain drainage and sewage works. Based on a case study of an urban infrastructure project carried out in Ecuador, a workflow was developed as an alternative to improve the planning of the project using BIM. The monitoring of the work and the information collected, focused on identifying waste, served to support the proposal of the BIM-based alternative to reduce them and improve the planning of the works. The research methodology used was constructive research.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), infrastructure, drainage, construction phase, resources optimization, 4D BIM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Índice de produtividade vs. Ano	Pg 7
Figura 2	Curva de MacLeamy	Pg 9
Figura 3	Simulação 4D em obra de edificação	Pg 18
Figura 4	Mapa de processo genérico – Modelagem 4D	Pg 20
Figura 5	Mapa de processo para Modelagem 4D – edifício laboratórios	Pg 22
Figura 6	Classificação dos Usos dos Modelos segundo os propósitos	Pg 24
Figura 7	Publicações sobre BIM para infraestrutura no mundo	Pg 28
Figura 8	Classificação da gestão logística da construção (GLC)	Pg 32
Figura 9	Matriz BIM&Lean	Pg 34
Figura 10	Diagrama de barras de Gantt	Pg 35
Figura 11	Artefatos da pesquisa construtiva	Pg 37
Figura 12	Distribuição da profissão dos entrevistados	Pg 39
Figura 13	Distribuição dos entrevistados sobre conhecimento de BIM	Pg 40
Figura 14	Modelo do local extraído de Autodesk Infracore	Pg 42
Figura 15	Condições climáticas no canteiro de obra	Pg 43
Figura 16	Processo desde projeto até construção	Pg 48
Figura 17	Processo de instalação de tubos de drenagem	Pg 49
Figura 18	Fluxo de processo para instalação de tubos de drenagem	Pg 49
Figura 19	Fluxo de processo para instalação de poços de inspeção	Pg 50
Figura 20	Descarga do sistema de drenagem nos desenhos	Pg 50
Figura 21	Colocação das tubulações in situ com marés altas	Pg 51
Figura 22	Pré-fabricação no canteiro de caixas de captação	Pg 51
Figura 23	Colocação e acabamento de caixas de captação pré-fabricadas no canteiro	Pg 52
Figura 24	Descarga da água de chuva ao canal natural	Pg 53
Figura 25	Linhas de balanço de progresso da obra	Pg 54
Figura 26	Mapa de processo de implementação de BIM no caso	Pg 57
Figura 27	Mapa de processo do uso coordenação 3D no caso	Pg 60
Figura 28	Mapa de processo do uso Modelagem 4D no caso	Pg 60
Figura 29	Modelo só terreno – Civil 3D	Pg 64
Figura 30	Modelo só instalações – Civil 3D	Pg 64

Figura 31	Modelo terreno & instalações – Civil 3D	Pg 64
Figura 32	Detecção de interferências 2D no Civil 3D	Pg 65
Figura 33	Detecção de interferências 3D no Civil 3D	Pg 65
Figura 34	Modelo de infraestrutura em IFC 2X3 no Synchro	Pg 66
Figura 35	Modelo de infraestrutura em IFC 4 no Synchro	Pg 67
Figura 36	Modelo de infraestrutura em IFC 4X1 no Synchro	Pg 68
Figura 37	Plugin Navisworks to Synchro	Pg 68
Figura 38	Fluxo Civil 3D para Synchro utilizado	Pg 69
Figura 39	Modelo de Civil 3D dentro do Navisworks	Pg 69
Figura 40	Modelo em IFC 4X1 dentro do Navisworks	Pg 70
Figura 41	Checagem do conteúdo do IFC 4X1	Pg 70
Figura 42	Gráfico linha de balanço no Synchro	Pg 71
Figura 43	Gráfico linha de balanço com estado de atividade	Pg 72
Figura 44	Scripting	Pg 72
Figura 45	Script e regras no Synchro	Pg 73
Figura 46	Análise de opções de planejamento	Pg 73
Figura 47	Segurança requerida na obra	Pg 75
Figura 48	Planejamento de segurança industrial no Synchro	Pg 76
Figura 49	Planejamento de entrega de materiais no Synchro	Pg 76
Figura 50	Atividades repetitivas no fluxo de processo	Pg 77
Figura 51	Animação dentro do Synchro	Pg 78
Figura 52	Fluxo de implementação BIM	Pg 79
Figura 53	Fluxo de coordenação 3D	Pg 80
Figura 54	Revisão do modelo 4D	Pg 82
Figura 55	Pontos mais baixos dos sistemas	Pg 83
Figura 56	Retrabalhos	Pg 84
Figura 57	Simulação 4D	Pg 85
Figura 58	Fluxo de modelagem 4D	Pg 86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4D	Quatro dimensões
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	American Institute of Architects
BIM	Building information modeling
BPMN	Bussiness Process Model Notation
CAD	Computer Aided Design - Desenho Assistido por Computador
GLC	Gestão Logística da Construção
IFC	Industry Foundation Classes
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Equador)
LOB	Lines of Balance
LOD	Level of Development - Nível de desenvolvimento
NBIMS	National BIM Standard
NBS	National Building Specification
PEB	Plano de execução BIM
PMI®	Project Management Institute
PSU	Penn State University

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVO GERAL	11
3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4.	FOCO DA PESQUISA.....	12
5.	REVISÃO DA LITERATURA	13
5.1.	BIM.....	13
5.1.1.	OS INÍCIOS DE BIM.....	13
5.1.2.	O CONCEITO DE BIM.....	15
5.1.3.	A ADOÇÃO DE BIM NO MUNDO.....	16
5.1.4.	BIM 4D & 5D.....	18
5.1.5.	USOS DOS MODELOS BIM.....	23
5.1.6.	BIM PARA INFRAESTRUTURA	27
5.1.7.	OBRAS DE DRENAGEM & BIM.....	29
5.1.8.	INTEROPERABILIDADE BIM.....	30
5.2.	GESTÃO DA LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO.....	31
5.3.	SINERGIA ENTRE BIM E A GESTÃO DE CANTEIRO.....	32
5.4.	TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE OBRAS	35
6.	MÉTODO DE PESQUISA	36
7.	CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTUDO DE CASO	38
7.1.	BIM EM GUAYAQUIL.....	38
7.2.	APRESENTAÇÃO DE ESTUDO DE CASO.....	41
7.3.	OBJETIVO DO ESTUDO DE CASO	46
7.4.	DIFICULDADES CONSTATADAS NO ESTUDO DE CASO.....	46
7.5.	ACOMPANHAMENTO E COLETA DE DADOS DA OBRA.....	48
7.6.	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	52
7.7.	PROPOSTA DE SOLUÇÃO.....	56
7.8.	PROCESSO DE MODELAGEM E TESTE DE PROPOSTA.....	63
7.9.	DISCUSSÃO	74
7.10.	Fluxos propostos.....	78
7.11.	CONHECIMENTOS MÍNIMOS DOS RESPONSÁVEIS PELO PLANEJAMENTO E BIM	87
8.	CONCLUSÕES	88
8.1.	DENTRO DA EMPRESA.....	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – Formulário de conhecimento sobre BIM em Guayaquil	98

1. INTRODUÇÃO

Vários pesquisadores, revistas, jornais e instituições governamentais qualificam o mercado da construção civil como um dos setores mais importantes da economia dos países. Segundo McKinsey Global Institute (2017), a indústria da construção emprega cerca de 7% da população mundial em idade produtiva. Fica evidente que a construção civil está diretamente relacionada com o desenvolvimento dos países e os investimentos aplicados neste setor geralmente são de tamanho considerável, tanto nas obras privadas quanto nas públicas, o que faz que avanços nesse setor gerem um grande impacto na vida das pessoas, direta ou indiretamente.

Ao mesmo tempo, a construção é uma indústria que por sua natureza interage com quase todos os setores da economia. Entretanto, ele é também um dos setores cuja produtividade tem crescido significativamente menos em comparação com outros, conforme apresentado por Sacks et al. (2018a) na figura 1, que utilizou dados do censo econômico dos EUA do ano 2016. Estes índices de produtividade, segundo os autores, foram calculados dividindo os dólares de valor agregado pelo número de empregados.

Figura 1. Índice de produtividade vs. Ano

Fonte: Sacks et al. (2018a)

O gráfico demonstra quão pouco tem evoluído a produtividade do setor da construção desde a década dos 60. Em contraste, a curva mostra como a produtividade da indústria da manufatura apresenta uma tendência crescente.

Atualmente, a produtividade do setor da manufatura continua sendo maior do que a do setor da construção. Na indústria da manufatura, a implementação de novas tecnologia e, em geral, os esforços realizados ao longo da história, tem conseguido viabilizar a industrialização do setor mencionado, trazendo melhoras consideráveis nos resultados. Já que o gráfico ainda mostra baixas produtividades para a construção nos dias de hoje, pode-se afirmar que muita pesquisa é ainda necessária nesta área e que existem elementos que precisam ser melhor aproveitados, de forma a minimizar, por exemplo, os desperdícios dos diversos tipos de recursos envolvidos na construção.

Atualmente, muitos esforços são feitos ao redor do mundo e, principalmente em países desenvolvidos, visando à industrialização da construção. Entretanto, muitas vezes não só é necessário implementar novas tecnologias, mas também mudar vários processos tradicionais que impedem a inovação no setor.

No contexto das inovações na construção, a implementação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) vem se consolidando cada vez mais com o decorrer dos anos, e mais fortemente em países desenvolvidos. Na oitava edição do National BIM Report (NBS, 2018b) foi revelado que 74% dos entrevistados no Reino Unido já estão adotando BIM. Em relação ao ano anterior isto significa um acréscimo de 12%.

São muitos os autores que destacam os esforços feitos em países como os do próprio Reino Unido quanto à implementação da modelagem BIM, para atingir as metas traçadas pelo governo para obras públicas. No caso mencionado, os BIM Mandates estão vigentes desde o ano 2016. Contudo, são vários os países que atualmente já exigem a implementação de BIM nos projetos de construção, cada um deles visando a atender os seus próprios objetivos.

Pesquisas avaliaram há já alguns anos que obras que utilizam o BIM possuem uma redução média de 22% no custo de construção, 33% no tempo de projeto e execução, 33% nos erros em documentos, 38% de reclamações após a entrega da obra ao cliente e 44% nas atividades de retrabalho (MCGRAW HILL

CONSTRUCTION, 2012). Por meio da implementação da modelagem, é possível também contribuir com a redução dos desperdícios de recursos nas obras.

A partir da perspectiva da construção enxuta, se constata que o desperdício é definido como qualquer gasto de tempo, dinheiro ou energia que não agregue valor ao consumidor (SACKS et al. 2018b). O desperdício de alguns materiais nas obras está na ordem de 15% (WRAP, 2007). Os próprios autores afirmam que os planejamentos de logística de materiais são uma ferramenta importante para o setor da construção. Estes planejamentos devem garantir que os materiais estejam no lugar certo, no momento certo e na quantidade certa (HARKER et al., 2007). No entanto, os materiais são apenas um tipo específico de recurso e os desperdícios não se produzem só ali.

Como já foi mencionado, o BIM se destaca como uma opção para auxiliar a reduzir os desperdícios nas obras. Contudo, mesmo que o BIM envolva-se em todo o ciclo de vida das construções constata-se, ao buscar na literatura, uma quantidade maior de pesquisas feitas na fase de projetos. Isso faz sentido devido a que, ao implementar BIM, é na fase de projetos que as decisões impactam mais no resultado da obra. Na figura 2 isto pode ser observado na curva de MacLeamy (SACKS et al. 2018a), que é muito conhecida no meio acadêmico.

Figura 2. Curva de MacLeamy

Fonte: Sacks et al. (2018a)

Entretanto, a etapa de construção precisa ser mais explorada porque é ali onde finalmente serão colocados os recursos e também porque, por diversos motivos, a execução da obra nem sempre acontece como foi ela planejada. Portanto, uma pesquisa voltada aos usos do BIM na fase de execução de obras é relevante.

Atualmente, na maioria das obras em andamento no Brasil e em muitos outros países, o BIM ainda não é uma realidade. Whitlock et al. (2018) afirmaram que os modelos 4D produzidos no início do projeto são pouco utilizados para coordenar os processos logísticos após o início dos trabalhos programados. Os autores afirmam que ao invés disso, é comum que a gestão logística da obra seja realizada por meio de informações 2D. Portanto, é necessário substituir processos tradicionais, viabilizar a implementação de novas tecnologias e aproveitar da melhor forma aquelas que já existem. Melhorias no planejamento do processo construtivo garantirão ganhos em relação à produção e a otimização de recursos.

No contexto do BIM na fase de construção, o BIM Dictionary aponta como um dos usos dos modelos o planejamento logístico de canteiros (BIM DICTIONARY, 2018). Dentro desta classificação, as aplicações ali citadas são:

- o planejamento das equipes e equipamentos a serem utilizados
- a comparação de sistemas de construção, o planejamento de colocação e remoção de estruturas temporárias
- a análise do fluxo, alocação e armazenagem dos materiais de construção no canteiro.

No caminho da implementação do BIM, vários obstáculos surgiram e continuam surgindo. Gomes (2017) concorda com isso ao afirmar que empresas do setor público e privado estão empenhadas em implantar BIM em suas organizações, porém muitas dificuldades e barreiras ainda são encontradas em função de resistência humana, tecnológica e financeira. Algumas destas barreiras serão abordadas nos capítulos seguintes.

Todavia, em países como o Brasil se espera um aumento da adoção do BIM nos próximos anos. Neste caso, tal aumento é ainda mais esperado devido a que

em 2018 foi lançada a Estratégia Nacional para Disseminação do BIM (MDIC, 2018), assinada pelo Governo Federal, com o intuito de “promover um ambiente adequado ao investimento em Building Information Modelling - BIM e sua difusão no País”.

Dentro desse contexto, se justifica uma pesquisa na linha de BIM voltada à fase de execução de obras, com o intuito de melhorar a gestão logística dos recursos.

2. OBJETIVO GERAL

De acordo com o apresentado no capítulo anterior, o objetivo geral desta pesquisa é demonstrar como o BIM pode ser utilizado para melhorar o planejamento das obras de infraestrutura de drenagem em execução, apresentando uma aplicação a partir de dados coletados em uma obra de infraestrutura urbana de loteamento.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De acordo com o objetivo geral, os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Propor fluxo de trabalho para melhorar o planejamento de obras de drenagem utilizando modelos virtuais de construção com ferramentas disponíveis no mercado.
- Fornecer uma visão do estado atual de BIM na cidade de Guayaquil, a segunda cidade mais importante do Equador, que permita fazer comparações com outros países da região e do mundo em relação à implementação de BIM, aproveitando a oportunidade de desenvolver um estudo de caso naquele país
- Propor perfis de conhecimentos mínimos para os principais envolvidos na construção sobre as tecnologias implementadas

4. FOCO DA PESQUISA

A presente pesquisa será focada no contexto da fase de construção de obras. Portanto, não são alvos de estudo desta pesquisa outras fases do ciclo de vida dos projetos como concepção, projeto ou manutenção.

Por outro lado, dada a natureza da obra que foi estudada (infraestrutura urbana), a pesquisa se concentrará mais em aspectos relevantes ao tipo de obra em questão. Contudo, devido a que a evolução de BIM tem sido mais forte em edificações, ao longo do texto serão feitas eventuais comparações com a edificação no intuito de esclarecer mais facilmente e de forma mais ilustrada o atual panorama.

5. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresentará os conceitos e as informações que servem de base para o desenvolvimento desta dissertação. Para tal, os temas a serem abordados serão distribuídos nos grupos a seguir:

- Uma revisão do conceito, de como evoluiu e em qual estado o BIM se encontra hoje no mundo, principalmente no tipo de obra estudada. O capítulo abordará como a modelagem BIM tem sido implementada em vários países que já atingiram um maior nível até o momento. Adicionalmente, será apresentado também como o BIM tem sido adotado especificamente no Brasil e no Equador, por serem objetos de estudo.
- Revisão da teoria sobre planejamento da construção. Neste ponto será definido o conceito do planejamento no âmbito da pesquisa.
- Revisão dos esforços já realizados por juntar estes dois conceitos anteriormente apresentados, como a tecnologia é implementada hoje para dar suporte ao planejamento (no grupo selecionado como foco da pesquisa) e quais são as limitações e desafios atuais.

5.1. BIM

5.1.1. OS INÍCIOS DE BIM

Neste capítulo será apresentado de forma breve como nasceu o BIM e como ele evoluiu com o decorrer dos anos.

Segundo Sacks et al. (2018a), a geração atual de ferramentas de modelagem da construção é o resultado de quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento de ferramentas computacionais para projetos interativos em 3D, culminando na modelagem paramétrica baseada em objetos.

As ideias que formaram o atual conceito de BIM vêm desde a década de 70 com a publicação do “Building Description System” no AIA Journal pelo norte-americano Charles Eastman (EASTMAN, 1976), então trabalhando na Carnegie-

Mellon University. As noções de BIM que este trabalho apresentou foram diversas, tais como a modelagem de elementos e a partir deles a derivação de seções, planos, projeções isométricas ou perspectivas cônicas. Isto evitaria o redesenho por meio das atualizações automáticas. Outros pontos como a extração de quantitativos de materiais, estimativas de custos e até a possibilidade de verificação de regras também foram tratados neste trabalho, além de propor o hardware necessário para sua implementação. O autor enfatizou que os conceitos desenvolvidos ali se baseavam fortemente na gestão das informações na construção.

Isto já significava uma mudança conceitual em relação ao desenho assistido por computador (CAD) devido a que a proposta central do autor foi a modelagem e não o desenho. O que ao longo do tempo ficou conhecido como CAD consiste em desenhos formados por linhas, que por sua vez estão organizadas em diferentes camadas e representam os desenhos que compõem os projetos de construção. Porém, essas representações carecem de mais informações. A proposta de modelagem por parte do Eastman ia além de apenas desenhos e, como descrito acima, as informações eram uma base muito forte da proposta dele.

No início da década dos 80 esta abordagem foi bastante descrita nos Estados Unidos como Building Product Models (modelos de produto da construção) e na Europa como Product Information Models (modelos de informação de produto).

A primeira utilização documentada do termo building modeling com o sentido de BIM, surgiu no título de um artigo publicado em 1986, de autoria de Robert Aish (AISH, 1986). No referido artigo, o autor abordou temas como a modelagem tridimensional, a geração automática de desenhos, componentes inteligentes, bancos de dados relacionais, descrição temporal das fases do processo construtivo, entre outros. Finalmente, o termo Building Information Modeling, ou BIM, foi documentada pela primeira vez em um artigo escrito por G. A. van Nederveen e F. Tolman, em dezembro de 1992 (VAN NEDERVEEN e TOLMAN, 1992)

Foi só a partir dos anos 2000 que o BIM começou a ser amplamente divulgado nos países desenvolvidos. Sacks et al. (2018a) afirmam que foi ao redor

dos anos 2000 que a tecnologia BIM passou de ser conceito de pesquisa a ter soluções viáveis no mercado.

5.1.2. O CONCEITO DE BIM

O conceito de BIM tem sido definido por vários autores e instituições mundialmente reconhecidas. A modo de exemplo, seguem três destas definições com seus respectivos autores:

- Sacks et al. (2018a) definem o BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Os próprios autores em 2011 indicaram que *“com a tecnologia BIM, um modelo virtual e preciso de uma edificação é construído de forma digital”* (EASTMAN, 2011).
- A National Building Specification ou NBS (NBS, 2018) define o BIM como um processo para criar e coordenar as informações das construções ao longo do ciclo de vida delas.
- A National BIM Standard ou NBIMS (NBIMS, 2018) define ao BIM como uma representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação e uma fonte compartilhada de informações que proporciona uma base confiável para a toma de decisões ao longo do ciclo de vida de um empreendimento, desde a concepção até a demolição.

Nesta pesquisa, o conceito proposto de BIM é uma abordagem de construção virtual, que abrange o ciclo de vida inteiro das obras e que é aplicada por meio de ferramentas computacionais. A respeito destas ferramentas computacionais, existem diversas empresas no mercado que desenvolvem aplicativos baseados em BIM.

5.1.3. A ADOÇÃO DE BIM NO MUNDO

A implementação do BIM vem crescendo com o passar dos anos. Enquanto muitos países não desenvolvidos estão investindo esforços para implementá-lo, outros países que já vêm adotando o BIM há algum tempo estão ganhando maturidade.

Neste contexto, existem vários países que tem seus próprios guias BIM (como os guias uBIM da Espanha), outros que estão trabalhando nelas (como é o caso do Brasil) e outros que, mesmo não tendo guias ainda, estão trabalhando para criar ambiente adequado para implementar BIM. Sacks et al. (2018a) apresentaram os países cujos governos estão exigindo BIM nos seus projetos, como pode ser visto na tabela 1

Tabela 1. Exigências dos países em relação a BIM

PAÍS	ANO	DESCRIÇÃO
Noruega	2010	Todos os projetos públicos são requeridos em formato Industry Foundation Class (IFC).
Dinamarca	2013	Projetos públicos acima de 0,7 M€ e projetos com empréstimos do governo acima de 2,7 M€
Finlândia	2007	Todos os projetos públicos são requeridos em BIM
Estados Unidos	2008	BIM é requerido para todos os projetos públicos de maior importância, geralmente acima dos 35 MUSD, que envolvem dotações do governo dos EUA. O estado de Wisconsin anunciou que todos os projetos públicos com um orçamento de 5 MUSD ou mais e todas as novas construções com um orçamento de 2,5 MUSD ou mais devem usar o BIM a partir de 2010.
Coréia do Sul	2016	Todo projeto cujo processo de aquisição e construção é planejado e gerenciado pelo Public Procurement Service (Serviço de Contratação Pública) deve ser feito em BIM.
Singapura	2015	Todos os novos projetos de edifício maiores do que 5.000 m ² foram obrigados a usar BIM na Arquitetura e Engenharia.

Reino Unido	2016	Todos os projetos públicos serão requeridos no BIM Nível 2 do Reino Unido, que segundo o BIM Dictionary (2019d), refere-se ao trabalho colaborativo onde os envolvidos geram seus próprios modelos 3D e compartilham as informações através de um <i>Common Data Environment (CDE)</i> ou fonte única de informações.
China	2018	Em 2014, a Autoridade de Habitação de Hong Kong exigiu BIM em todos os seus projetos. A partir de janeiro de 2018, o governo de Hong Kong exige BIM em projetos governamentais superiores 30 MHKD. Outras localidades chinesas como Hunan, Fujian também estão trabalhando para implementar BIM.
Dubai	2014	Em 2014, a Prefeitura de Dubai determinou o uso de ferramentas BIM para edifícios com 40 andares ou mais, para edificações que cobrem mais de 300.000 ft ² , hospitais, universidades e outros edifícios especiais, e aqueles desenvolvidos fora de Dubai.
Itália	2016	Os projetos públicos acima de EUR 5.225.000 devem atender ao BIM Nível 2 do Reino Unido, explicitado anteriormente.
Espanha	2019	Em 2015, o Ministério do Desenvolvimento da Espanha anunciou que planejava exigir BIM para o setor público a partir de março de 2018, projetos de construção pública a partir de dezembro de 2018 e projetos de infraestrutura a partir de julho de 2019.

Fonte: Adaptado de Sacks et al. (2018a).

Adicionalmente, no Chile existe a iniciativa Planbim, que contou com o apoio do governo e de instituições privadas. Ele tem como meta implementar o BIM em infraestrutura e edificação para o ano 2020 (PLANBIM, 2019). Todavia, como foi dito anteriormente, existem muitos países que ainda não estão perto da implementação de BIM por motivos diversos como a falta de conhecimento sobre o

tema, a resistência cultural, entre outros. No capítulo 7.1 (BIM em Guayaquil) será apresentado um destes casos.

5.1.4. BIM 4D & 5D

Sacks et al. (2018a) definem o BIM 4D como o BIM para planejamento e gestão. O BIM Dictionary (BIM DICTIONARY, 2019b) define a quarta dimensão como a soma do modelo 3D e o tempo. Segundo o publicado pelo Computer Integrated Construction Research Program (2011) no “BIM Project Execution Planning Guide”, os modelos 4D são utilizados para planejar efetivamente a ocupação em fases em uma reforma, modernização, adição ou para mostrar a sequência de construção e os requisitos de espaço em um canteiro de obras. Desta forma, o tempo se torna um parâmetro para simular o processo construtivo. A figura 3 mostra a tela de um programa que manipula uma simulação 4D de uma obra de edificação.

Figura 3. Simulação 4D em obra de edificação

Fonte: Autodesk (2019)

A modelagem 4D traz importantes vantagens no âmbito do planejamento de obras ao incluir, além de todos elementos que as compõem, elementos temporários que são necessários no processo construtivo. Neste contexto, Boton (2018) afirma que dentre os maiores benefícios da modelagem 4D estão: a melhoria na comunicação de ideias, facilitação do trabalho colaborativo, melhoria do planejamento

logístico incluindo a gestão de espaços, melhoria do planejamento de movimentação de terra e a análise de construtibilidade e alternativas de planejamento. A Penn State University (2011) coloca também como potencial benefício o aumento da produtividade e a redução do desperdício nos locais de trabalho.

No contexto dos usos BIM, o novo guia da Penn State University (2019) disponibiliza diversos mapas de processo para usos BIM (com a notação Business Process Modeling Notation ou BPMN) dentro dos quais está também a modelagem 4D. Um mapa de processo genérico de modelagem 4D foi proposto no guia. Neste caso, o mapa de processo contém a informação de referência, o processo ou fluxo, e o intercâmbio de informações. Na figura 4 pode-se observar um mapa de processo genérico correspondente ao uso de modelagem 4D.

Figura 4. Mapa de processo genérico - Modelagem 4D

Fonte: Adaptado pelo autor de PSU (2019) - BIM Project Execution Planning Guide

Pode-se observar que neste caso o processo é alimentado com informação de referência (produtividade e tempos de execução). Por outro lado, o processo envolve também entradas e saídas de informação. Neste caso entra ao processo um modelo 3D e saem cronogramas e modelos 4D em diferentes etapas. O processo conclui com um cronograma e um modelo 4D otimizados.

Entretanto, Miceli Junior et al. (2019) afirmam que a implementação de fluxos de trabalho genéricos propostos por guias, como aquele na figura 4, devem ser evitados e recomendam adaptar eles à realidade específica de cada projeto e de cada empresa. Os autores sugerem que os fluxos de trabalho sejam desenvolvidos de acordo com o planejamento, o plano estratégico e os objetivos do gestor.

De acordo com isso, a própria guia da Penn State (2019) propõe um exemplo de mapa de processo para a modelagem 4D aplicada a um projeto de um edifício de laboratórios. Pode-se observar na figura 5 que o mapa de processo genérico foi adaptado ao mencionado projeto. Um dos principais detalhes é que apenas está sendo considerado um modelo estrutural e um modelo arquitetônico. Além disso, para definir o fluxo da construção (atividade incluída no processo) será utilizada uma projeção de condições climáticas e possíveis atrasos.

Figura 5. Mapa de processo para modelagem 4D - Edifício de laboratórios (exemplo)

Fonte: Adaptado pelo autor de PSU (2019) - BIM Project Execution Planning Guide

No entanto, é importante esclarecer que uma ferramenta BIM 4D não pode ser vista como uma solução para planejar e nem faz o planejamento por conta dela, mas ajuda a otimizar ele.

Para realizar uma modelagem 4D (planejamento de obra) com sucesso, o “BIM Project Execution Planning Guide” (PENN STATE, 2011; PENN STATE, 2019) recomenda que o responsável por ela tenha conhecimento de planejamento de construção e do processo geral da construção, já que um modelo 4D é uma simulação do 3D em função do tempo, feita por meio de um vínculo deste 3D com um cronograma e por conseguinte será tão boa quanto o cronograma ao qual ela está vinculada. O Planbim (2019) do Chile concorda com isso ao sugerir que é necessário ter conhecimentos prévios em coordenação dos recursos da construção, projetos, e métodos de construção. Pelo anteriormente dito, ambas guias sugerem que para realizar uma modelagem 4D são necessários os seguintes recursos:

- Um software de autoria de modelagem
- Um software de planejamento
- Um software de BIM 4D

Já a modelagem 5D se refere à incorporação dos custos de projeto à modelagem 4D (BIM DICTIONARY, 2019c). Portanto, a modelagem 5D inclui o modelo 3D, o planejamento e os custos.

5.1.5. USOS DOS MODELOS BIM

Segundo Kreider e Messner (2013), o uso de modelos BIM pode ser definido como um método de implementar a Modelagem da Informação da Construção durante o ciclo de vida de uma edificação para atingir um ou mais objetivos específicos. Dentre os usos de BIM, os mesmos autores propuseram uma classificação dependendo dos propósitos da implementação e das características. A classificação (figura 6) foi proposta dessa forma de modo que os propósitos respondessem para quem usar dos modelos e as características determinassem por quem, em quem, quando e em que grau o uso do modelo seria implementado.

Figura 6. Classificação dos Usos dos Modelos segundo os propósitos

Fonte: Adaptado pelo autor de Kreider e Messner (2013)

Esta classificação pretende contribuir no planejamento dos usos dos modelos, para as equipes conseguirem se comunicar com maior facilidade sobre os propósitos para a implementação da modelagem.

Por outro lado, existem diversas guias, principalmente de países desenvolvidos, que descrevem detalhadamente os usos dos modelos BIM. Os usos neles citados podem variar de uma para a outra. Por exemplo, os guias para elaboração do PEB da Penn State University (PENN STATE, 2019) citam 25 diferentes usos de BIM, entre usos principais e secundários. enquanto o guia da Espanha coloca mais do que 26 usos e o do Chile (PlanBIM, 2019), baseado no guia da PSU, cita também 25 usos, mas propõe variações na ordem cronológica deles. O objetivo destes guias é servir de referência à elaboração dos planos de execução de BIM (PEB). Na tabela 2 mostram-se os usos BIM segundo três importantes guias.

Tabela 2. Usos BIM segundo guias internacionais

PSU - BIM Project Execution Planning Guide (Estados Unidos, 2019)	Planbim – Estándar BIM para proyectos públicos Chile, 2019)	Es.BIM – Guía para la elaboración del Plan de ejecución BIM (Espanha, 2018)
Modelagem de condições existentes	Levantamento de condições existentes	Informações centralizadas
Estimativa de custos	Estimativa de quantidades y custos	Visualização
Planejamento de fases	Planejamento de fases	Coordenação 3D
Programação	Análise do cumprimento do programa espacial	Obtenção de desenhos 2D
Análise de localização	Análise de localização	Obtenção de métricas
Revisões de projeto	Coordenação 3D	Visualização de dados
Autoria de projeto	Projeto de especialidades	Geração de infografias
Análise energética	Revisões de projeto	Realidade aumentada e realidade virtual
Análise estrutural	Análise estrutural	Validação de normas
Análise de luz	Análise de luz	Simulação de evacuação
Análise mecânica	Análise energética	Simulação de segurança rodoviária
Análise de engenharias	Análise mecânica	Simulação construtiva
Avaliação LEED	Outras análises de engenharia	Simulação energética
Validação de normas	Avaliação de sustentabilidade	Simulação de iluminação
Coordenação 3D	Validação de normas	Simulação de movimentação de massas
Planejamento do canteiro	Planejamento de obra	Simulação de visualização e pontos cegos

Projeto de sistemas construtivos	Projeto de sistemas construtivos	Simulação acústica
Fabricação digital	Fabricação digital	Segurança e saúde
Planejamento e controle 3D	Controle de obra	Meio ambiente
Modelagem As Built	Modelagem As Built	Gestão de stakeholders
Planejamento da manutenção preventiva	Gestão de ativos	Localização da obra
Análise de sistemas	Análise de sistemas	Snagging
Gestão de ativos	Manutenção preventiva	Captura de dados
Gestão de espaços	Gestão de espaços	Logística e armazenagem
Planejamento de desastres	Planejamento e gestão de emergências	Instrumentação e controle de obra
		Acompanhamento de obra – produção
		Acompanhamento de obra – certificação
		Fabricação digital
		Inventário
		Manutenção preventiva
		Manutenção corretiva
		Manutenção preditiva
		Gestão de espaços
		Alimentação de sistemas de gestão
		Usos comerciais e marketing
		Analítica de dados de controle - BMS

Fonte: Autor

No contexto dos usos dos modelos BIM, é importante o conceito do Nível de desenvolvimento ou LOD por suas siglas em inglês, que uma métrica para identificar quais informações incluir em um modelo durante o processo de projeto e construção (BIM DICTIONARY, 2020).

5.1.6. BIM PARA INFRAESTRUTURA

BIM para infraestrutura é hoje um ponto muito relevante de pesquisa, devido a que o estado atual de BIM para este setor não se encontra tão avançado quanto o BIM para a edificação, a demanda tem aumentado, e nos últimos anos houve um importante crescimento na sua adoção. No ano 2012, a McGraw Hill estimou que o BIM para infraestrutura estava três anos atrás do que o BIM para outros usos (MCGRAW HILL, 2012). Em uma pesquisa mais atualizada de Dodge Data & Analytics e da própria McGraw Hill no ano 2017, mesmo eles não tendo dado um número de anos como parâmetro de comparação, eles reportaram que o BIM na área da infraestrutura cresceu significativamente (DODGE DATA & ANALYTICS, 2017).

Verifica-se internacionalmente um grande avanço no conhecimento e uso do BIM no setor da construção civil de edificações, em especial nas construções verticais. Entretanto, no setor de obras de infraestrutura e construção pesada tais como aeroportos, portos, rodovias, ferrovias, saneamento, usinas hidrelétricas e nucleares, dentre outras, essa evolução ainda não é largamente verificada quanto à de edificação. Nesse contexto, autores como Cheng et al. (2016) afirmaram que a necessidade da implementação do BIM em obras de infraestrutura nunca foi tão importante quanto agora. Esforços de diversas partes do mundo estão sendo feitos a fim de viabilizar e padronizar a implementação do BIM na infraestrutura. Verificam-se na figura 7 dados de publicações sobre BIM para infraestrutura no mundo.

Figura 7. Publicações sobre BIM para infraestrutura no mundo

Fonte: A. Bradley et al. (2016)

Como parte importante e que impacta fortemente nos prazos e custos de um empreendimento, o desenvolvimento de projetos para obras de infraestrutura e seus processos relacionados devem merecer especial atenção, dados os grandes volumes de recursos envolvidos não apenas na implantação, mas em todo ciclo de vida de um projeto de infraestrutura, sendo evidente então a necessidade de aprimoramento dos itens em pauta.

Nas obras de infraestrutura, segundo Nogueira (2016), são diversas as vantagens propiciadas pelo uso do BIM. Dentre elas, o autor destaca a redução e controle dos custos de um determinado projeto, ao ajudar a evitar o sobrepreço e superfaturamento decorrente de levantamento de quantitativos inadequado. Da mesma forma, ajuda a evitar o superfaturamento de itens pagos em duplicidade.

No entanto, a implementação de BIM na infraestrutura apresenta também diversas barreiras. Neste contexto, Yabuki (2010) destacou alguns fatores específicos que atrasam a adoção do BIM para as obras de infraestrutura:

- O setor público tende ter baixo interesse em melhorar a eficiência e a maioria das obras de infraestrutura são projetadas e construídas por organizações públicas;

- Como não existem padrões oficiais para modelagem, fica muito difícil para os proprietários analisarem os modelos gerados;
- Falta de conhecimento entre engenheiros civis, arquitetos, instaladores e todos os envolvidos nas obras;
- Poucas pesquisas e recursos sobre o BIM em obras de infraestrutura.

Como pode ser observado, no caso de BIM para infraestrutura é ainda mais importante o papel dos governos na implementação dele. Com o decorrer dos anos e graças ao impulso que alguns governos de países desenvolvidos estão dando, a implementação de BIM para infraestrutura está crescendo.

5.1.7. OBRAS DE DRENAGEM & BIM

A gestão eficaz das águas residuais desempenha um papel fundamental tanto na mitigação dos riscos da inundação como na saúde pública através da prevenção de doenças (EDMONDSON et al., 2018).

Liu (2010) afirma que considerando as incertezas que enfrentam os projetos de infraestrutura de saneamento, pode-se imaginar as vantagens de ter um modelo de informações do projeto desde o início. Essas incertezas incluem a natureza imprevista da infraestrutura de esgoto, a imprecisão do custo dos projetos e as interdependências entre essa e outras infraestruturas. Ao mesmo tempo, conflitos e erros de projeto podem ser detectados no modelo antes do início da construção para evitar desperdícios. Porém, constatou-se que o esquema de interoperabilidade para BIM, o IFC4, não inclui ainda os conceitos para obras de drenagem (EDMONDSON et al., 2018).

Constatou-se também na literatura que muitas pesquisas na área abordam o tema da drenagem com uma perspectiva de desenvolvimento de cidades inteligentes que, neste caso, se pode encontrar com o nome de “smart water”. Neste contexto, Howell et al. (2017) afirmam também que o IFC, que é um formato que permite a interoperabilidade entre aplicativos BIM e que será abordado no próximo capítulo, inclui apenas componentes básicos de água, omitindo muitos conceitos

necessários para a cibernética, como consumidores, comportamentos, aparelhos inteligentes, descrições de sensores, redes de sensores e mecanismos de medição para faturamento de água, pelo qual a interoperabilidade ainda é um obstáculo. Experiências e dificuldades neste sentido serão apresentadas no estudo de caso em capítulos posteriores.

Diversos periódicos internacionais foram consultados e foi constatado que o tema de drenagem está bem documentado para fases de projeto e pouco para fase de construção, ou seja, as informações disponíveis para fase de obras ainda são escassas. O BIM para fase de obras de drenagem será abordado mais especificamente em capítulos seguintes.

5.1.8. INTEROPERABILIDADE BIM

A interoperabilidade é a capacidade dos aplicativos para intercambiar informações entre elas (SACKS, 2018a). No setor da construção a interoperabilidade vem sendo utilizada há vários anos no ambiente CAD, quando o que interessava eram apenas as geometrias e eram, em certo sentido, desconsideradas as informações associadas. O uso de diferentes formatos permite, até os dias de hoje, que os softwares do setor da construção intercambiem dados. No entanto, existem limitações neste intercâmbio, não apenas devido a que nem sempre é possível que estes sejam lidos por uma ferramenta diferente, mas também porque existe perda de informações diversas.

Neste contexto, surgiu o IFC como uma iniciativa de padrões internacionais abertos que possibilita o fluxo de informações entre aplicativos BIM, independente do aplicativo (BUILDINGSMART, 2020). Segundo a NBS (2017) e a própria BuildingSMART, a história do IFC vem desde a década de 90.

A BuildingSMART (2020a) define o IFC como um esquema que descreve digitalmente uma edificação. Ele consiste em um modelo padronizado de dados que relaciona de forma lógica as identidades, a semântica, as características e atributos, as relações, os objetos, os conceitos abstratos, os processos, e as pessoas envolvidas. É um formato que busca viabilizar a interoperabilidade entre programas e,

dessa forma, não limitar aos envolvidos a depender de um único desenvolvedor de software.

No entanto, a NBS (2017) afirma que é importante considerar que o uso do IFC em si não pode garantir a interoperabilidade. Isto é porque mesmo o IFC tendo sido criado para facilitar a troca de informações, no final a interoperabilidade vai depender também dos desenvolvedores, cujos softwares devem suportar e interagir de forma apropriada com este formato.

Revisando a especificação IFC 4.1 (BUILDINGSMART, 2020b) que é a última versão oficial, se constata que inclui no seu escopo definições de dados para infraestruturas e o seu ciclo de vida, e afirma que as próximas especificações as incluirão também.

5.2. GESTÃO DA LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO

A gestão da logística é um tema que vem sendo estudado desde muito tempo atrás por vários pesquisadores em diversas áreas, incluindo a construção. Taylor (1997) afirma que desde a década dos 70 houve um desenvolvimento importante dentro deste assunto.

No entanto, o próprio Taylor (1997) afirmou que vários autores atribuem diferentes conceitos à logística, sendo que ele mesmo caracteriza a gestão logística como a cadeia de fornecimento de materiais e disse que, em essência, são sinônimos.

No desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizada a classificação adotada por Silva e Cardoso (1998) e Serra e Oliveira (2003) apud Bataglin et al. (2018) que é mostrada na figura 8.

Figura 8. Classificação da gestão logística da construção (GLC)

Fonte: Adaptado de Silva e Cardoso (1998) e Serra e Oliveira (2003) apud Bataglin et al. (2018)

Como pode ser visto na figura 9, a classificação proposta por Bataglin et al. (2018) divide a GLC em dois grupos importantes. Eles são: logística de suprimentos e de canteiro de obra. Em relação à logística de suprimentos pode ser observado que, além dos materiais, são considerados os equipamentos e os recursos humanos empregados na construção.

Por outro lado, a logística de canteiro de obra abrange os fluxos físicos e fluxos de informações, que consideram aspectos de importância como o layout do canteiro, transporte e, em termos gerais, a gestão da produção. Neste contexto, Costa e Ferreira (2019) afirmam que um projeto de canteiro tem como objetivo tirar a maior vantagem do espaço físico disponível para que as pessoas e equipamentos possam trabalhar de uma maneira mais segura e eficiente. Dessa forma os riscos são reduzidos. No âmbito desta pesquisa, serão abordados os recursos humanos, equipamentos, e fluxos físicos no que concerne ao planejamento.

5.3. SINERGIA ENTRE BIM E A GESTÃO DE CANTEIRO

Uma pesquisa relevante na área da BIM realizada por Sacks et al. (2010) apresentou uma matriz de sinergia entre BIM e a abordagem de construção enxuta, cuja base fundamental é a redução de desperdícios. Neste contexto, não se pretende abordar em si o tema completo da construção enxuta, mas sim sobre o que concerne

à fase do ciclo de vida que fazem parte desta pesquisa, o planejamento da pré-construção e construção.

A mencionada matriz (figura 9) mostra interações entre funcionalidades de BIM e os princípios da construção enxuta, que em sua grande maioria são interações positivas e apenas umas poucas são negativas. Porém, é importante dizer que isto não significa que para implementar a construção enxuta é necessário implementar BIM ou vice-versa. Estas são duas abordagens diferentes, com possibilidade de serem implementadas separadamente, mas que poderiam se beneficiar uma da outra se fossem implementadas juntas.

Figura 9. Matriz BIM&Lean

BIM functionality	Lean principles																															
	Reduce variability		Reduce cycle times		Reduce batch sizes		Increase flexibility		Select an appropriate production control approach		Standardize		Institute continuous improvement		Use visual management		Design the production system for flow and value		Ensure comprehensive requirements capture		Focus on concept selection		Ensure requirements flow down		Verify and validate		Go and see for yourself		Decide by consensus consider all options		Cultivate an extended network of partners	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X								
Visualization of form	1	1,2												3				4			11		5		6			4				
Rapid generation of design alternatives	2	1	22									7	7		8																	
Reuse of model data for predictive analyses	3	9	9	22			51											1		16			5									
	4		10	12												8				16			5									
	5	1,2	1	12														1		1		1	5									
Maintenance of information and design model integrity	6	11	11																		11											
	7	12	12	22																			12									
Automated generation of drawings and documents	8	11	22	(52)	53											54	54															
Collaboration in design and construction	9		23						36																							
	10	2,13	24				33											43			56	46		49								
Rapid generation and evaluation of multiple construction plan alternatives	11	14	25	(29)		31									(41)																	
	12		15	25	(29)				37						(41)					44			47									
	13	2	40	25	(29)					17		40	40		40								47		49							
Online/electronic object-based communication	14		29	26	30	30		34							34		(42)					47	48									
	15	18	26	30	30		34		38			38	34		(42)						45			49								
	16	19	27			32																										
	17		20	28				35								(42)													50			
	18		21	30	30		34				39					(42)						47	48									

Note: Numbers in the cells are indexes to the cell content explanations provided in Table 4 and numbers in brackets represent negative interactions.

Fonte: Sacks et al. (2010)

Ao analisar a matriz e as suas descrições, foram identificadas interações do interesse para esta pesquisa. Essas interações são:

- A interação 25 afirma que pode contribuir a reduzir os tempos do ciclo devido à otimização dos cronogramas e com menos conflitos
- A interação 40 reconhece o potencial da visualização de BIM e a possibilidade de modelar não apenas os elementos que as compõem, mas também elementos temporários. Dessa forma, o autor afirma que é possível a otimização do processo ao melhorar a eficiência e segurança.
- A interação 47 destaca a visualização do planejamento.

5.4. TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE OBRAS

O PMI® (2017) apresenta a análise da rede do cronograma como a técnica global para gerar modelos de planejamento. Para isto, o mencionado guia define o método do caminho crítico como técnica de análise com o uso de diagramas de barras Gantt (figura 10). Essa técnica ajuda ao representar o caminho mais longo através de um projeto, e, portanto, a menor duração possível do mesmo. No entanto, o próprio guia PMBOK® (PMI®, 2017) menciona que a técnica não considera as limitações dos recursos e por isso propõe uma nivelção dos recursos, que traz consigo mudanças no caminho crítico original. Essa técnica é amplamente suportada por ferramentas existentes e é muito utilizada no mundo.

Figura 10. Diagrama de barras de Gantt

Fonte: O autor

No entanto, outra técnica existente como as linhas de balanço (LOB) não foi abordado na sexta (última) versão do Guia PMBOK® do PMI® (2017). Muitos outros autores conhecem a abordagem como planejamento baseado em localização

ou LBM por suas siglas em inglês. Neste contexto, Kenley e Seppanen (2010) definem a LBM como uma variante dos cronogramas lineares que considera como dimensão para planejamento a localização onde se executa uma atividade. Os mencionados autores diferenciam essa abordagem do planejamento baseado em atividades. Outros autores como Vargas e Moreira (2015) recomendam as linhas de balanço para casos onde se tem um conjunto de atividades repetitivas, que ainda em muitos casos são executadas pelas mesmas equipes, enquanto outros como Moura e Heineck (2014) afirmam que com o uso das linhas de balanço é possível se aproximar à abordagem da construção enxuta por trazer diversos benefícios como:

- facilitar a visão do ciclo no tempo e no espaço
- simplificar operações por agrupação dos trabalhos
- reduzir variabilidade
- facilitar a visão do fluxo construtivo
- reduzir o lead time

Segundo Vargas e Moreira (2015), um fator que torna menos frequente a implementação das linhas de balanço como técnica de planejamento tem sido a falta de ferramentas comerciais elaboradas com os fundamentos das mesmas. Neste contexto, se constata na literatura destes autores esforços de pesquisadores para utilizar as linhas de balanço em softwares que não suportam seus conceitos por meio dos diferentes tipos de relações entre atividades (VARGAS E MOREIRA, 2015), devido à mencionada falta de softwares que as suportem.

6. MÉTODO DE PESQUISA

Em primeiro lugar, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os temas envolvidos neste estudo e que constam no capítulo de fundamentação teórica. Em relação ao desenvolvimento em si do trabalho, a presente pesquisa está sendo conduzida utilizando o método de Pesquisa Construtiva (MARCH E SMITH, 1995; OYEGOKE, 2011) junto com a técnica de pesquisa de campo (MARCONI e LAKATOS, 2007) para levantar dados relevantes à pesquisa.

Devido a que neste trabalho será feito um estudo de caso fora do Brasil, está sendo desenvolvida uma pesquisa de campo em duas etapas deste trabalho:

1. No capítulo de 7.1 (BIM em Guayaquil) foi necessária uma coleta de dados, que está sendo feita por meio de questionários aplicados a profissionais e estudantes envolvidos no ambiente da construção civil em Guayaquil. Os dados mostrarão qual é o panorama de BIM, já que não foram encontrados dados concretos de pesquisas em relação à adoção de BIM no país.
2. Dentro do estudo de caso (capítulo 7.2) foi realizado um levantamento de dados da obra que está sendo acompanhada.

Em relação ao método de pesquisa construtiva escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, Oyegoke (2011) o define como um método de solução de problemas que se baseia em diferentes ferramentas de pesquisa. O método é aplicável neste trabalho já que, segundo o autor, ele oferece soluções tanto para problemas teóricos e práticos, como é o caso de BIM para obras.

No contexto do método de pesquisa construtiva, Marc e Smith (1995) propuseram que os artefatos que abordam alguma tarefa são os constructos, modelos, métodos e instanciações (ver figura 11) e afirmam que as atividades de pesquisa relacionadas a esses artefatos são: construir, avaliar, teorizar e justificar, sendo que as duas primeiras atividades mencionadas (construir e avaliar) são a base da pesquisa construtiva.

Figura 11. Artefatos da pesquisa construtiva

Constructos	Modelo	Método	Instanciação
<ul style="list-style-type: none"> • Conceitualização para descrever os problemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Proposições que expresam relações entre os constructos 	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de passos a seguir para executar uma tarefa 	<ul style="list-style-type: none"> • Operacionalizam constructos, modelos e métodos e demonstram a viabilidade e eficácia deles.

Fonte: Adaptado pelo autor de Marc e Smith (1995)

Oyegoke (2011) afirma que a abordagem de pesquisa construtiva começa com a identificação de um problema prático e relevante, que tenha potencial de pesquisa. Este autor afirma que uma vez elaborado o construto, ele pode ser validado de forma empírica ou teórica, como também de forma quantitativa ou qualitativa ou ambas para demonstrar que a solução proposta funciona.

No caso deste trabalho, uma obra foi acompanhada com a finalidade de obter dados do processo construtivo. Uma vez identificado o problema, foi elaborada uma proposta de fluxo de trabalho (o construto deste trabalho). Este fluxo de trabalho consiste em mapas de processos tanto de implementação geral de BIM quanto de mapas detalhados por uso. A proposta foi testada por meio de simulação com o uso de ferramentas computacionais disponíveis no mercado e os resultados foram contrastados com os executados *in situ*. Esta simulação foi feita com o uso dos dados coletados do avanço da obra, com um software de planejamento e uma ferramenta BIM 4D disponível no mercado para o tipo de obra em questão.

7. CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTUDO DE CASO

7.1. BIM EM GUAYAQUIL

Os esforços para a implementação de BIM continuam em diversos países em desenvolvimento. No contexto da América Latina, se destaca que o Chile junto com o Brasil são os países mais avançados na matéria deste grupo. No caso do Chile, o roadmap do plano de implementação no país pretende exigir BIM para projetos públicos em 2020. Já o Brasil se encontra na adaptação das normas BIM e apresenta bases sólidas para uma rápida adoção de BIM.

Esta dissertação apresentará um estudo de caso que foi realizado próximo à cidade de Guayaquil, no Equador. Uma vez que não foram encontradas informações sobre este país no que concerne ao BIM, este capítulo buscará fornecer uma visão do estado atual de BIM em Guayaquil.

No caso do Equador, ainda não existe uma norma sobre BIM e ao ser comparado com outros países da região, é possível afirmar que o país está uns passos atrás neste tema.

O Equador é um dos menores países na América do Sul. Ele tem 17 milhões de habitantes, dos quais aproximadamente 2,7 milhões vivem em Guayaquil segundo o Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2019). A cidade de Guayaquil é o principal centro financeiro e a segunda cidade mais importante do Equador depois da capital, Quito.

A construção civil, de igual forma que em muitos países, se destaca como um dos setores de maior importância no país. Aproveitando que um estudo de caso está sendo feito no país, uma sondagem sobre conhecimento e implementação de BIM na cidade de Guayaquil está sendo realizada pelo autor. Cento e uma pessoas que tem relação com o setor da construção civil responderam o questionário e os resultados mais relevantes são apresentados a seguir, enquanto outros dados a mais que foram obtidos a partir deste formulário e serão mostrados no Apêndice A.

A profissão dos entrevistados até o momento tem a distribuição mostrada na figura 12.

Figura 12. Distribuição da profissão dos entrevistados

Fonte: O autor

Como pode ser observado na figura 13, aproximadamente 65% (46 pessoas) respondeu que sabia o que era BIM, o 35% (25 pessoas) restante respondeu que não sabia.

Figura 13. Distribuição dos entrevistados sobre conhecimento de BIM

Fonte: O autor

Dentro do grupo de pessoas que responderam que sabiam o que era BIM, foi feita uma outra rodada de perguntas com a qual se constatou que:

- A quarta parte deste grupo de pessoas respondeu que BIM é um programa para modelar. Portanto, eles têm uma visão equivocada e incompleta do conceito.
- Apenas a metade deles sabe que ferramentas BIM ajudam na detecção de interferências entre os diversos sistemas que compõem uma construção. A utilidade mais conhecida por eles é a geração rápida de desenhos.
- As duas ferramentas BIM mais conhecidas por eles são Revit (92%) e ArchiCAD (64%).
- 24% deles nunca ouviu falar de BIM 4D e 5D.
- 35% deles ouviu, mas nunca utilizou ferramentas BIM. Do restante que já usou, a metade não usa mais por diversos motivos.

Dentro desta sondagem se constata que, de forma geral, em Guayaquil ainda não existe realmente um ambiente que impulse à implementação de BIM. A maioria das pessoas que conhecem, mas ainda não utilizaram ferramentas BIM, disseram ter interesse em aprender, mas não sabem onde eles poderiam receber treinamentos. Por outro lado, também pôde se observar que a metade das pessoas que já utilizaram ferramentas BIM e que não usam mais, pararam o uso devido a que

na sua atividade profissional ele não é exigido e em alguns casos nem conhecido naquele meio.

Por outro lado, foram consultados nesta pesquisa vários estudantes de graduação e se constatou que, principalmente em engenharia civil, as universidades ainda precisam introduzir no ensino esta metodologia de trabalho, já que ainda continuam se formando profissionais que nunca ouviram falar de BIM.

Já no ano 2020, se constata que existe já algum tipo de oferta de curso básico presencial sobre ferramentas BIM específicas como, por exemplo, no Centro de Actualización Académica (CENAC, 2020), mas o verdadeiro conceito de BIM ainda não está difundido. Neste ano, já é possível encontrar uns poucos distribuidores de materiais e produtos para construção que dispõem de famílias BIM, como é o caso da Plastigama (PLASTIGAMA, 2020).

Todavia, percebeu-se também que continua havendo falta de distribuidores de softwares BIM, diferente do que se verifica no Brasil, onde já se encontram muitos. Ao pesquisar no meio, se constata que faculdades de arquitetura incluem nos seus programas ferramentas BIM, porém voltadas especificamente à arquitetura e não considerando outras disciplinas. Atualmente, a maior oferta de cursos relacionados ao BIM está na Internet, onde é possível encontrar muita variedade de cursos.

7.2. APRESENTAÇÃO DE ESTUDO DE CASO

O presente estudo é desenvolvido na área de infraestrutura urbana. Ele foi desenvolvido dentro da empresa A, que é uma empresa construtora equatoriana de pequeno porte e que trabalha principalmente na cidade de Guayaquil. No estudo de caso, a empresa A é a empreiteira encarregada de executar a obra. Esta firma foi criada no ano 2005 e tem atuado, principalmente, na construção de diversas obras de infraestrutura como redes de drenagem, esgoto, estações de tratamento de esgoto, pontes, entre outras.

A obra estudada, teve início no dia 21 de novembro de 2018, consistiu na construção das redes de drenagem pluvial e esgoto de um futuro condomínio

fechado que estará localizado em Daule, Equador. O contrato tem um valor aproximado de 256 kUSD (aproximadamente 975,000.00 reais) e duração dele foi de 90 dias.

O mencionado condomínio forma parte de um conjunto residencial composto por vários outros condomínios similares, principalmente ocupados por pessoas de classe média no Equador. Na figura 14, no modelo do local, podem-se observar o conjunto de condomínios. O terreno no qual este condomínio se localizará era utilizado antigamente na agricultura. No momento do início dos trabalhos, só a movimentação de terra no local tinha sido executada e, portanto, não havia outras instalações. Os sistemas de infraestrutura que compõem o condomínio são:

- Drenagem pluvial
- Drenagem de esgoto
- Água potável
- Energia e iluminação
- Dados e telefone

Figura 14. Modelo do local extraído de Autodesk Infracworks

Fonte: O autor

Devido à natureza desta obra civil, um dos temas mais importantes a serem considerados pela empreiteira e pelo empreendedor em relação à evolução da obra é a queda de produtividade nos dias de chuva. Diferente da construção de edificações, obras de infraestrutura como esta sofreriam um impacto muito grande por causa das condições climáticas. Diversas atividades ficam comprometidas nos dias com precipitação considerável. Atividades como o transporte e manipulação de materiais (como o cimento), a movimentação de terra e, em alguns casos, a própria instalação das tubulações de drenagem poderiam ser interrompidas. Adicionalmente, para outras atividades seriam necessários equipamentos menores como bombas de água para a execução dos trabalhos.

Os pontos mencionados fazem com que o andamento em vários locais da obra esteja sujeito às condições climáticas, como pode ser observado na figura 15. A época de chuva no Equador começa aproximadamente em dezembro. Neste estudo de caso, as temperaturas não representam problemas por estarem na ordem de 21 a 31 graus Celsius e também não há ocorrências relacionadas aos ventos.

Figura 15. Condições climáticas no canteiro de obra

Canteiro da obra em condições climáticas não favoráveis.

Fonte: O autor

Por outro lado, o planejamento da logística neste tipo de obra linear também deve ser diferente com relação ao das edificações. Um exemplo disto, constatado nesta obra, são as idas e vindas de certos materiais como por exemplo tubulações de concreto. É muito conveniente que haja uma coordenação entre os transportadores das tubulações e o encarregado da obra no momento da descarga das tubulações de concreto do caminhão, pra elas serem colocadas no lugar certo, que neste caso é próximo ao seu lugar de instalação. Se não for assim, torna-se necessário utilizar equipamento pesado e mão de obra adequada para locomover as tubulações dentro do próprio canteiro de obra, significando uma perda de recursos.

As atividades desta obra estão divididas em duas tabelas. A tabela 3 contém as atividades do contrato de drenagem pluvial e a tabela 4 contém as atividades do contrato de esgoto. Seguem as mencionadas tabelas:

Tabela 3. Atividades da obra de drenagem pluvial

ATIVIDADES	UNIDADE	QUANTIDADE
RUBROS - PRELIMINARES:		
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 280mm PVC (coletor)	ML	152,39
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 540mm PVC	ML	129,28
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 1050mm Concreto Armado (42")	ML	80,69
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 1200mm Concreto Armado (48")	ML	88,33
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 1350mm Concreto Armado (54")	ML	100,21
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 1500mm Concreto Armado (59")	ML	157,58
POÇO DE INSPEÇÃO CONCRETO ARMADO D=1.50 INT. $f'c = 280\text{Kg/cm}^2$	UND	2
POÇO DE INSPEÇÃO CONCRETO ARMADO D=1.90 INT. $f'c = 280\text{Kg/cm}^2$	UND	2
POÇO DE INSPEÇÃO CONCRETO ARMADO D=2.30 INT. $f'c = 280\text{Kg/cm}^2$	UND	4
POÇO DE INSPEÇÃO CONCRETO ARMADO D=2.70 INT. $f'c = 280\text{Kg/cm}^2$	UND	3
CAIXA DE CAPTAÇÃO DUPLA $f'c = 280\text{Kg/cm}^2$	UND	40
MURO DE ALA PARA D= 940 mm	UND	0
MURO DE ALA PARA D=1500 mm	UND	1
ESCAVAÇÃO COM MÁQUINA DE 2m ATÉ 3.5m DE PROFUNDIDADE	M3	3027,62
BERÇO DE CONCRETO Y RECUBRIMIENTO DE MATERIAL FINO	M3	1089,94
ATERRO COMPACTADO COM SOLO IMPORTADO	M3	1307,35
DESCARGA DE MATERIAL DE 1Km A 5 Km	M3	2261,03
BERÇO DE BRITA 2	M3	81,99
BERÇO DE PEDRA	M3	73,65
DADOS DE CONCRETO SIMPLES $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$	M3	22,93
EXTRAÇÃO E TRANSPORTE DE SOLO PARA ATERRO	M3	1307,35
ALUGUEL DE BOMBA	DIA	25

Fonte: O autor

Tabela 4. Atividades da obra de esgoto

ATIVIDADES	UNIDADE	QUANTIDADE
RUBROS - PRELIMINARES:		
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 175mm PVC (tirante)	ML	2244,37
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 220mm PVC	ML	513,34
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 280mm PVC	ML	187,75
INSTALAÇÃO DE TUBOS DE 335mm PVC	ML	99,63
CAIXA DOMICILIARIA H.S AASS	UND	53
CAIXA DOMICILIÁRIA PVC	UND	137
POÇO DE INSPEÇÃO CONCRETO ARMADO D=11.20 INT. $f'c = 280\text{Kg/cm}^2$	UND	12
ESCAVAÇÃO COM MÁQUINA DE 2m ATÉ 3.5m DE PROFUNDIDADE	M3	3569,82
BERÇO DE CONCRETO E RECOBRIMIENTO DE MATERIAL FINO	M3	1474,66
ATERRO COMPACTADO COM SOLO IMPORTADO	M3	2001,37
DESCARGA DE MATERIAL DE 1Km A 5 Km	M3	2122,07
BERÇO DE BRITA 2	M3	58,67
BERÇO DE PEDRA	M3	76,26
DADOS DE HORMIGON SIMPLE $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$	M3	12
EXTRAÇÃO E TRANSPORTE DE SOLO PARA ATERRO	M3	2001,37
ALUGUEL DE BOMBA DE 6"	DIA	25

Fonte: O autor

7.3. OBJETIVO DO ESTUDO DE CASO

A missão deste estudo de caso foi avaliar o potencial que o BIM tem para dar suporte ao planejamento deste tipo de obra. Os dados coletados no andamento desta obra foram utilizados para realizar a modelagem 4D da construção da forma que ela aconteceu. A posteriori, e tendo identificado potenciais desperdícios de recursos na obra, foi realizada uma simulação da construção que permita identificar como poderiam ter sido otimizados os recursos com o suporte de ferramentas BIM. De acordo com Zolfagharian e Irizarry (2014), a simulação oferece uma melhor compreensão do canteiro e permite a visualização prévia, tornando mais intuitiva uma discussão dos prováveis cenários ao longo da execução da obra evitando que eventuais conflitos cheguem à obra.

O acompanhamento desta obra desde o início pretende também identificar com maior clareza onde estão sendo produzidos os desperdícios. Segundo Sacks et al. (2018b) os desperdícios são gastos de tempo, dinheiro ou energia que não agregam valor ao consumidor, e esse será o critério de busca. Além disso, o estudo gerará diretrizes para que a empresa construtora consiga melhorar o planejamento deste tipo de obra, que tem sido um tipo habitual já que desde há aproximadamente 10 anos a empreiteira vem realizando pelo menos uma obra deste tipo por ano. Um exemplo concreto disto será otimizar a forma como é feito o planejamento.

7.4. DIFICULDADES CONSTATADAS NO ESTUDO DE CASO

No desenvolvimento do estudo de caso se apresentaram diversas dificuldades importantes que são aqui relacionadas:

- O baixo número de pesquisas relevantes na área de BIM para obras drenagem em construção. Foi constatado que a vasta maioria da bibliografia sobre BIM para drenagem é voltada a projeto.
- No que concerne ao BIM na cidade de Guayaquil já foi mencionada anteriormente a falta de conhecimento desta abordagem. No contexto dos envolvidos, a equipe técnica da empresa contratante encarregada deste

condomínio é formada por profissionais cujos procedimentos são tradicionais e baseados principalmente em 2D. Em uma entrevista realizada a um membro desta equipe técnica se corroborou que ferramentas e processos BIM são ainda muito pouco conhecidos. Neste caso, a empresa empreendedora utiliza softwares da Autodesk, particularmente o Civil 3D e o AutoCAD. Todavia, dentro desta equipe apenas o funcionário entrevistado possui certificação nas ferramentas mencionadas. Por outro lado, o modo de trabalho da empreendedora em relação à gestão de projetos dos condomínios é contratar projetistas separados para os diversos sistemas que os compõem. Depois, a equipe técnica do empreendedor junta os projetos e realiza a coordenação 2D em AutoCAD. Na entrevista, percebeu-se que tarefas como a detecção de interferências em 3D entre estes sistemas são feitas de modo manual, como remodelar os volumes dos sistemas no SketchUp. O entrevistado não conhecia ferramentas de coordenação BIM. Ele argumentou que ficava mais rápido e confortável para ele fazer a detecção de interferências no SketchUp e não dentro do próprio Civil 3D porque o computador ficava mais lento com este programa. Foi constatado que o arquivo utilizado por ele era muito pesado e carregava informações de outros condomínios vizinhos que fazem parte do grupo residencial. Da mesma forma, a empreiteira não possui experiência prévia com BIM.

- O empreendedor acostuma a dividir a obra inteira do condomínio em múltiplos contratos pequenos. A política do empreendedor é fornecer informações de projeto somente aos empreiteiros responsáveis pela execução de cada um dos contratos. Neste caso, os contratos ganhos pela empreiteira foram drenagem pluvial e esgoto. Portanto, já que este estudo está sendo feito dentro desta empresa construtora, ele se limitou a informações apenas dos dois projetos anteriormente mencionados, ou seja, drenagem pluvial e esgoto. Informações como a topografia do terreno do condomínio tiveram que ser obtidas à parte. Na prática, os cálculos de escavação e aterro para os pagamentos dentro destes dois contratos são realizados manualmente a partir de medições em campo, as quais são feitas pela empreiteira com supervisão da fiscalização. O fluxo a seguir, na figura 16, explica o processo de projeto e construção.

Figura 16. Processo desde projeto até construção

Fonte: O autor

- As limitações da interoperabilidade BIM entre os softwares utilizados para esta obra de infraestruturas.
- A falta de oferta de cursos para capacitação nestes softwares. O aprendizado foi produto de treinamentos online de outros países.

7.5. ACOMPANHAMENTO E COLETA DE DADOS DA OBRA

Os dados dos avanços da obra foram coletados diariamente, registrando por equipe de trabalho qual e quanto trabalho do processo construtivo foi feito.

Na execução desta obra de infraestrutura, além de acompanhar o avanço, observaram-se vários aspectos do processo construtivo. Em condições ideais, o processo de instalação das tubulações é realizado pela empreiteira partindo desde a descarga, ou seja, desde a cota mais baixa para a cota mais alta, conforme mostrado na figura 17.

Figura 17. Processo de instalação de tubos de drenagem

Fonte: O autor

Figura 18. Fluxo de processos para instalação de tubos de drenagem

Fonte: O autor

Já o fluxo de processos para instalação dos poços de inspeção é mostrado na figura 19 a seguir.

Figura 19. Fluxo de processos para instalação de poços de inspeção

Fonte: O autor

Como pode ser observado na figura 20, o sistema de drenagem pluvial se conecta com um canal com influência de marés. No caso desta obra, a cota do espelho de água no canal com marés altas é suficiente para entupir a área total do tubo da descarga (DESC-2 marcada com círculo no gráfico), o que não só complica a construção do muro de ala, mas tampouco permite que alguns coletores sejam instalados dependendo de quanta água entra no sistema. Ao trabalhar dessa maneira, torna-se necessário habilitar uma rota de saída para a água da chuva, e ao mesmo tempo, controlar que a água que possa entrar pelo canal não prejudique ao andamento das atividades da obra. Já na figura 21 pode-se observar instalada uma parte do coletor marcado com círculo na figura 20.

Figura 20. Descarga do sistema de drenagem nos desenhos

Fonte: O autor

Figura 21. Colocação das tubulações in situ com marés altas.

Fonte: O autor

Por outro lado, se constatou que a pré-fabricação no canteiro de diversos elementos da obra ajuda a melhorar a produtividade. Neste caso, foram pré-fabricadas a grande maioria dos poços de inspeção e caixas de captação. Na figura 22 é mostrado como foi feita a pré-fabricação dos poços profundos das caixas de captação, enquanto na figura 23 se mostra o processo de colocação e acabamento do elemento de concreto.

Figura 22. Pré-fabricação no canteiro de caixas de captação

Fonte: O autor

Figura 23. Colocação e acabamento de caixas de captação pré-fabricadas no canteiro

Fonte: O autor

7.6. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Graças ao acompanhamento da obra e uma visão mais focada em achar potenciais desperdícios, foi constatado que existem diversos pontos que precisam ser melhorados no planejamento da construção.

Em relação à construção, é importante considerar que Guayaquil é uma cidade baixa, com apenas 4 metros de altitude e que historicamente teve problemas de inundações em alguns setores. Portanto, no que concerne a esta pesquisa, terá que ser considerada a influência das marés para otimizar o fluxo da construção, por se tratar do sistema de drenagem pluvial. Pode-se observar na figura 24 que a cota de invert da descarga ao canal é +1.14m. Com essa cota o espelho de água atinge uns 50 centímetros do diâmetro interno do tubo de descarga (aproximadamente cota +1.64) em condições normais de marés, enquanto as marés máximas cobrem a totalidade do diâmetro dessa descarga, chegando aproximadamente a cota +2.70. Já que o objeto de estudo é a fase de construção, o tema de estudo será como construir o sistema considerando essa condição.

Figura 24. Descarga da água de chuva ao canal natural

Fonte: O autor

Se constatou que a eficiência em obra é muito variável. Por exemplo, no acompanhamento da obra foi possível verificar que uma mesma equipe, e com o mesmo equipamento, teve diferentes rendimentos em um mesmo setor. Na tabela 4 mostra-se o caso do setor entre as caixas BL9-BL8.

Tabela 4. Rendimentos da instalação de tubos entre BL9-BL8

	27-nov	28-nov	29-nov	30-nov
EQUIPE				
Escavadeira	1	1	1	1
Pessoas	5	5	5	5
Tubos instalados	8	4	2	8
Rendimento instalação (ml)	20	10	5	20
Setor	BL9-BL8	BL9-BL8	BL9-BL8	BL9-BL8

Fonte: O autor

São vários os motivos destas diferenças. Verificou-se que o deslocamento do equipamento e da equipe de um tirante para outro com a eventual movimentação de tubos, as diferenças dos diâmetros das tubulações para cada tirante e até o próprio rendimento da mão de obra são alguns dos motivos destas diferenças. Um dos fatores que mais tem causado alterações no planejamento devido foram as condições climáticas (chuva), o que complicou um grande número de vezes o

processo construtivo por afetar a execução de várias atividades nesta obra de infraestrutura.

Com os dados coletados na instalação de drenagem pluvial foi realizada manualmente uma representação do progresso com o conceito de tempo-caminho ou linhas de balanço mostrada na figura 25, que como foi abordado no capítulo 5.4, a localização (trecho) é uma dimensão para o gráfico e portanto para o planejamento.

Figura 25. Linhas de balanço de progresso da obra

Fonte: O autor

É possível observar que as atividades se encontram desbalanceadas, podendo ser facilmente identificadas folgas não necessárias, enquanto o pessoal que as realiza está contratado e trabalhando em outras atividades. É importante considerar que nesse diagrama estão sendo consideradas apenas atividades repetitivas na instalação de tubos y construção de poços de inspeção, pelo qual não está sendo consideradas todas as atividades que compõem a obra. Entretanto as equipes que realizam as atividades são fixas e são distribuídas da seguinte maneira:

- Duas equipes de instalação de tubos compostas por uma escavadeira CAT 320 (com seu operário), um compactador manual e quatro pessoas.

- Uma equipe de aterro e compactação composta por uma retroescavadeira 310K, um equipamento compactador reversível mais duas pessoas.
- Uma equipe de 3 pessoas pré-fabricando as bases dos poços e construindo eles na vala após ter sido instalado.

Atividades como a movimentação de terra (principalmente a compactação), transporte de materiais como o cimento, a concretagem, etc., são afetadas de forma importante pelas chuvas. Ao mesmo tempo, a água das chuvas entra no sistema, que está sendo construído. Uma estratégia que a construtora utiliza para não parar a produção nesses momentos é a pré-fabricação no canteiro de obra em um lugar com teto provisório com o intuito de não parar a mão de obra.

Os motivos para o construtor colocar especial atenção em não parar a produção e melhorar o método de planejamento, o mesmo forneceu ao autor as cifras dos custos que os principais equipamentos têm e os valores de cada equipe de trabalho. Esses valores são mostrados nas tabelas 5 e 6 a seguir.

Tabela 5. Custos dos equipamentos

Equipamento	Imagem ilustrativa	custo/dia	custo/hora
Escavadeira CAT 320		\$ 400,00	\$ 50,00
Retroescavadeira de pneus John Deere 310K		\$ 200,00	\$ 25,00
Compactador manual tipo Weber		\$ 35,00	\$ 4,38
Prancha compactadora reversível		\$ 85,00	\$ 10,63

Fonte: O autor

Tabela 6. Custos de equipe de trabalho

Custo diário Equipamento + Mão de Obra	\$ 930,00	Cada equipe de trabalho
Custo / hora de Equipamento + Mão de obra	\$ 116,25	Cada equipe de trabalho

Fonte: O autor

Como pode ser visto nas tabelas 5 e 6, uma hora de trabalho de cada equipe de trabalho de instalação de tubos, que conforme foi mencionado nesta obra foram duas, custa ao construtor \$116.25 USD segundo os cálculos utilizados no orçamento. Isso explica o interesse de construtor de não parar de produzir e para o qual será estudada uma solução.

7.7. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Idealmente, uma proposta do autor seria implementar o BIM desde o início do ciclo de vida do projeto de infraestrutura, fazendo possível a colaboração entre as partes desde fases iniciais, resultando na elaboração de um projeto coordenado em todos os seus sistemas e com uma importante redução de desperdício de tempo e trabalho. No entanto, o sistema de contratação implementado entre as partes (projeto, licitação, construção) dificulta isso, além da falta de conhecimento por ambas as partes. Neste sentido foi sugerido à empresa, além de uma proposta técnica, uma estratégia de marketing e técnica visando vender um produto final integral. Uma forma de chegar a isso seria causar impacto no contratante e incentivar ele a contratar em modalidade DB (Design-Build) no futuro, com a qual empresa A teria muita vantagem já que atualmente não existe ainda muita concorrência na cidade para este tipo de serviços.

Por enquanto, devido a que o estudo foi desenvolvido na empresa empreiteira (construtora), as recomendações serão adaptadas ao sistema de contratação implementado e às condições do local anteriormente mencionadas.

Como já foi mencionado em capítulos anteriores, a etapa da construção pode se beneficiar com vários dos usos do BIM. Porém, é fundamental definir

claramente quais dos usos do BIM serão utilizados. Neste contexto e partindo das metas do construtor e definindo o que se pretende alcançar com o uso de BIM, se elaborou a seguinte tabela 7.

Tabela 7. Metas para implementar BIM na empresa

Prioridade	Meta da organização	Objetivo BIM	Uso potencial de BIM
Alta	Não parar a produção devido a conflitos de coordenação entre sistemas	Detectar possíveis conflitos prévio ao início dos trabalhos	Coordenação 3D
Alta	Melhorar o método de planeamento atual da obra	Dar suporte ao planeamento por meio de modelos de construção	Planejamento 4D
Baixa	Monitorar os avanços da obra	Comparar os avanços planejados vs os executados	Planejamento 4D

Fonte: O autor

Como pode ser visto, os dois usos BIM para esta obra de infraestrutura que ajudariam a conseguir as metas do construtor são a coordenação 3D e o modelo 4D para planeamento da obra. Seguindo a notação da BPMN (Business Process Model and Notation), e utilizando de base os mapas de processos da PSU (2019), foi elaborado um mapa de processo geral de implementação de BIM para esta obra (figura 26), considerando as características dela mencionadas em outros capítulos.

Figura 26. Mapa de processo de implementação de BIM no caso

Fonte: O autor

Por outro lado, o Planbim (2019) sugere os tipos de informação que deveriam ser vinculados a cada uso BIM. Para os usos que serão feitos nesse estudo, a seguinte tabela 8 ilustra quais são essas informações:

Tabela 8. Tipos de informação para usos BIM

Tipos de informação	Usos BIM	
	Coordenação 3D	Planejamento de obra
Informações gerais do projeto	X	X
Propriedades físicas e geométricas	X	X
Propriedades geográficas e de localização	X	X
Especificações técnicas	X	X
Requerimentos e estimativa de custos		X
Padrão sustentável		X
Condições do local e do meio ambiente	X	X
Validação do cumprimento do programa		X
Cumprimento normativo		X
Requerimento de fases, sequência e calendarização	X	X
Logística e sequência de construção	X	X

Fonte: Adaptado de Planbim (2019)

De acordo com o mapa de processo anterior (figura 27), o “Modelo Civil” neste caso é um input, devido a que o projeto já foi desenvolvido. Já a que a implementação de BIM ocorrerá apenas dentro da construtora, o ponto de partida é o modelo civil. No entanto, devido a que o contratante entregou apenas informações em 2D, o modelo civil em 3D precisou ser elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que o mapa de processo está sendo proposto para uma obra que se localizará em um terreno livre de qualquer outra instalação ou sistema, já que era utilizado para agricultura. Isso faz com que uma modelagem preliminar de condições existentes se limitaria apenas a fatores naturais como o terreno e alguma condição natural própria da localização. Se o caso fosse em um local

com outras instalações existentes, tornar-se-ia necessária essa modelagem de condições existentes antes da coordenação 3D mostrada no mapa anterior, para garantir que as novas infraestruturas modeladas não apresentem conflitos de interferência com as existentes.

Partindo do mapa de processo geral, são propostos mapas detalhados dos usos BIM que fazem parte do processo.

A respeito da coordenação 3D, é importante ressaltar que por se tratar de sistemas de drenagem para infraestrutura, dentre todos os sistemas presentes no condomínio, os sistemas a gravidade (drenagens pluviais e esgoto) são os que representam a prioridade. A posição dos outros sistemas, sejam com água a pressão ou com fios, podem ser realocados com facilidade, desde que as normas de construção sejam cumpridas. Portanto, a coordenação 3D entre os dois sistemas a gravidade é indispensável.

Como foi mencionado em outro capítulo desse trabalho, nesta obra a coordenação 3D tinha sido feita pelo contratante de forma manual e em outro software diferente do usado para desenhar o projeto. O responsável realiza uma remodelagem do projeto e, portanto, há maiores possibilidades de erro humano. Além disso, a empreiteira tem interesse em confirmar que não haja interferências entre os sistemas, já que seria a parte mais prejudicada ao parar a produção para resolver um problema em campo. Por conseguinte, propõe-se o mapa de processo detalhado desse uso (figura 27), levando em conta que qualquer mudança posterior à entrega do projeto por parte do contratante ao empreiteiro significaria ter que recomeçar o processo de coordenação 3D:

Figura 27. Mapa de processo do uso coordenação 3D no caso

Fonte: O autor

Como já foi mencionado, será realizada uma simulação 4D para testar o fluxo proposto. O mapa detalhado da modelagem 4D proposto é mostrado na figura 28:

Figura 28. Mapa de processo do uso Modelagem 4D no caso

Fonte: O autor

Essa modelagem 4D tem alguns pontos importantes de serem pontuados. Ao se tratar de uma obra linear, vários autores recomendam utilizar ferramentas de planejamento diferentes das tradicionais barras Gantt, como por exemplo as linhas de balanço ou diagramas tempo-caminho. Nesse contexto, Henrich et al. (2005) afirmam que as LOB (linhas de balanço) é uma variação dos métodos lineares de planejamento que permitem o balanceamento das operações de tal forma que cada atividade é vista sendo executada permanentemente, mesmo o trabalho sendo desenvolvido em locais diferentes. Ainda, Moura et al. (2014) reconhecem essa abordagem de planejamento como um enfoque de construção enxuta por se encaixar com os princípios Lean.

Essa abordagem de planejamento é utilizada devido a que, segundo Henrich et al. (2005), representa uma vantagem particular nesse tipo de projeto. Segundo esses autores, esse método de planejamento é utilizado em obras com alto grau de repetição nas suas atividades, como é o caso estudado. No entanto, segundo Kemmer (2006), existe também uma limitação quanto à simulação, pelo fato das atividades não estarem relacionadas. Por outro lado, as obras lineares também podem ter atividades não repetitivas e que devem ser planejadas com outra técnica diferente (KEMMER, 2006). Uma ferramenta que suporta a visualização integrada de linhas de balanço com cronogramas de barras Gantt é o Synchro e foi testado neste trabalho. O mencionado programa é capaz de importar arquivos em IFC, e o Autodesk Civil 3D é capaz de exportar para esse formato.

Por outro lado, conforme o capítulo 2.1.4 deste trabalho, para realizar uma modelagem 4D três são recursos necessários. Eles são mostrados na tabela 4, junto com as soluções escolhidas para desenvolver o estudo de caso:

Tabela 7. Ferramentas escolhidas para modelos 4D

Recursos necessários para modelos 4D	Ferramentas escolhidas
Um software de autoria de modelagem	Autodesk AutoCAD Civil 3D
Um software de planejamento	Microsoft Project
Um software de BIM 4D	Autodesk Navisworks Synchro

Fonte: O autor

- Autodesk AutoCAD Civil 3D

Este software é uma ferramenta amplamente utilizada no mercado para obras civis de infraestrutura de diversos tipos. No estudo de caso, ela será utilizada na modelagem do terreno do canteiro de obra e para a modelagem dos sistemas, já que o contratante forneceu apenas informações 2D e é necessário modelar o projeto em 3D.

- Microsoft Project

É uma ferramenta amplamente divulgada não apenas na construção, mas em muitas áreas. Ela é uma ferramenta de gestão e administração da Microsoft, na qual o usuário coloca as tarefas, as datas delas, e os recursos a elas assinalados, fazendo possível, além do planejamento cronológico, a obtenção de informações muito úteis para a gestão. No estudo de caso, será a ferramenta de planejamento necessária para realizar a simulação 4D.

- Autodesk Navisworks

É uma ferramenta BIM 4D e 5D também da Autodesk. Ela será testada para realizar a simulação do processo construtivo para poder realizar os comparativos mencionados em outros capítulos deste trabalho. Para realizar a modelagem 4D da obra, este software precisará de outros programas aqui mencionados. Além disso, esse software poderá ser utilizado para a detecção de interferências (coordenação 3d).

- Synchro

Será utilizada esta ferramenta 4D e 5D da Bentley para testar o planejamento da construção com linhas de balanço, alternativa de construção enxuta que não é suportada por Autodesk Navisworks e que traz grandes benefícios para o planejamento de obras lineares. A utilização deste programa será possível importando o arquivo do modelo em extensão IFC no Synchro.

Essa ferramenta permite uma boa visualização dos modelos. No entanto, é necessário que o cartão gráfico do computador seja suficiente para um bom desempenho.

7.8. PROCESSO DE MODELAGEM E TESTE DE PROPOSTA

Neste capítulo será abordado como foi o processo de modelagem e as barreiras encontradas. Seguindo as propostas iniciais, buscou-se verificar os fluxos com o uso das ferramentas computacionais anteriormente mencionadas, simulando as condições nas quais eles foram criados e considerando o que se pretende alcançar (LACERDA et al., 2013).

Como já foi mencionado nos capítulos anteriores, o estudo de caso se baseou em informações 2D dos projetos. Para os fluxos propostos serem testados, foi necessário realizar o modelo civil para construção destes projetos de infraestrutura, considerando que o nível de detalhe seja suficiente para os usos determinados na proposta, e considerando também que os LODs para este tipo de obra não estão padronizados. Além disso, tem que ser levado em conta que o estudo trata dos projetos de drenagem pluvial e esgoto e, portanto, seria necessário modelar esses dois sistemas e o terreno, que é o interesse da construtora.

O processo de modelagem do terreno começou com o Autodesk Civil 3D começando pelas cotas de projeto dos corredores das vias. A partir desses corredores, foi criada a superfície do terreno. Com a ajuda do próprio software, foram modeladas as redes de drenagem pluvial e de esgoto. Neste sentido, as estruturas foram modeladas baseadas nas informações 2D fornecidas pela construtora. Na figura 29 é possível observar o terreno, enquanto na figura 30 se pode observar o modelo civil dos dois sistemas mencionados e na figura 31 a combinação destes elementos.

Figura 29. Modelo só terreno - Civil 3D

Fonte: O autor

Figura 30. Modelo só instalações - Civil 3D

Fonte: O autor

Figura 31. Modelo terreno & instalações - Civil 3D

Fonte: O autor

Uma vez modelados os elementos que compõem a obra, é importante modelar também elementos temporais como as escavações. Isto deve ser feito devido a que a posteriori será necessário para realizar uma simulação do processo.

Além do Civil 3D permitir essas modelagens, foi constatado que também permite realizar a detecção de interferências em 3D entre os sistemas como pode ser visto nas figuras 32 e 33, onde são representadas com um aviso amarelo.

Figura 32. Detecção de interferências 2D no Civil 3D

Fonte: O autor

Figura 33. Detecção de interferências 3D no Civil 3D

Fonte: O autor

No próprio Civil 3D foi constatada a existência de várias interferências menores, que no canteiro de obra eram realmente tubos que passavam muito próximos um do outro, como é o caso da figura anterior 33. Todavia, foi constatada também uma interferência importante de um tubo de um sistema com uma caixa de inspeção do outro sistema passando pelo seu centro. Esse conflito, que podia ter sido evitado se a análise de interferências tivesse sido feita de forma apropriada, foi resolvido durante a execução da obra significando perda de recursos para a construtora, porque no final é quem paga as despesas originadas por esse conflito.

Em relação às ferramentas 4D utilizadas no estudo de caso, as experiências foram particulares de cada uma delas.

Em primeiro lugar, será tratado o Synchro Pro. Este software, que é muito recomendado no mercado internacional para simulações da construção. Ele permite setorizar a construção para simulação, o que não é suportado por outros softwares neste estudo e que é um fator determinante para a simulação que será feita. Além disso, o software incorpora os conceitos das linhas de balanço, que uma técnica que está sendo testada neste trabalho como alternativa da tradicional técnica de planejamento com barras Gantt.

A pesar de ter constatado na revisão da literatura que a interoperabilidade por meio de IFC 2X3 para obras de infraestrutura foi testado este fluxo com o intuito de levar o modelo para a ferramenta Synchro, com o intuito de realizar a modelagem 4D. Como pode ser visto na figura 34, o resultado da importação desde arquivo IFC dentro do Synchro não foi satisfatório ao perder visivelmente quase toda a informação.

Figura 34. Modelo de infraestrutura em IFC 2X3 no Synchro

Fonte: O autor

Uma vez feito este teste sem sucesso, a importação do modelo dentro do Synchro foi tentada por meio do esquema IFC 4. No entanto, apesar do Civil 3D ter conseguido realizar uma exportação para este formato, o Synchro não conseguiu

ler o mesmo. Na figura 35 se pode observar que o programa mostra erro na importação.

Figura 35. Modelo de infraestrutura em IFC 4 no Synchro

Fonte: O autor

Por outro lado, e como já foi mencionado em capítulos anteriores, a especificação IFC 4x1 inclui no seu escopo definições de dados para obras de infraestrutura (BUILDINGSMART, 2020b). Portanto, foi testado este fluxo com o mencionado formato e o não foi possível trabalhar dentro do Synchro, já que como se mostra na seguinte figura 36, a última versão do Synchro 2019 não admite o esquema em pauta. Isto significou que desde o Civil 3D via IFC não foi possível chegar satisfatoriamente com esse projeto de infraestrutura dentro do Synchro.

Figura 36. Modelo de infraestrutura em IFC 4x1 no Synchro

Fonte: O autor

Finalmente, a forma como os objetos conseguiram chegar dentro do Synchro foi por meio do plugin de exportação desenvolvido por Synchro para Navisworks (figura 37).

Figura 37. Plugin Navisworks to Synchro

Fonte: O autor

Este plugin permitiu levar o modelo geométrico e com informações do Civil 3D para o Synchro. Buscou-se chegar ao Synchro por meio deste plugin devido a que não se conseguiram bons resultados com o IFC e tentou se evitar transformar tudo para sólidos, já que aquilo significaria perda de informação própria dos modelos BIM. Contudo, qualquer das duas formas permitiria simular o processo construtivo dentro deste software. Portanto, o fluxo utilizado foi o mostrado na figura 38 seguinte:

Figura 38. Fluxo Civil 3D para Synchro utilizado

Fonte: O autor

Como pode ser observado na figura 39 a respeito do Autodesk Navisworks, foi aproveitada a interoperabilidade entre formatos da Autodesk, exportando o modelo civil desde o Civil 3D para formato .nwc e importando o mesmo dentro do Navisworks. Segundo a Autodesk (2019), esta extensão de arquivo não está pensada para uso geral e contém uma versão cachê da geometria do modelo, mas com seu uso será possível salvar nos diferentes formatos nativos de Navisworks e executar diversos usos como detecção de interferências e o próprio planejamento 4D. Como pode ser visto na figura 39 a seguir, o modelo no Navisworks contém dados dos elementos trazidos do Civil 3D, incluindo dados dimensionais.

Figura 39. Modelo de Civil 3D dentro do Navisworks

Fonte: O autor

No entanto, foram identificadas também algumas desvantagens deste fluxo para o objetivo proposto. Uma dessas é a falta de capacidade desses dois aplicativos interoperarem de forma aceitável por meio do formato IFC para esta obra

de infraestrutura, como pode ser visto na figura 40 onde se utilizou o IFC4X1 dentro do Navisworks 2020.

Fonte: O autor

Como é mostrado na figura 40, o IFC 4X1 foi lido pelo Navisworks, mas ao ver os resultados mostrados, surgiu a necessidade de entender qual era o motivo deles. Ao abrir o arquivo IFC 4X1 em um bloco de notas e revisar o seu conteúdo, foi possível observar que o arquivo não tinha entidades fundamentais para modelos de infraestrutura como o ifcAlignment, que segundo a BuildingSMART (2020b) é uma parte importante na definição de obras de infraestrutura. Na figura 41 se mostra essa checagem. Isso demonstrou que a qualidade da exportação não foi satisfatória.

Figura 41. Checagem do conteúdo do IFC 4X1

Fonte: O Autor

É importante salientar que esta entidade para infraestruturas foi incluída no esquema a partir do IFC 4X1 e não do IFC 4 (BUILDINGSMART, 2020b)

A respeito do planeamento dentro do Navisworks, foi constatado que a ferramenta não contempla os conceitos da técnica de linhas de balanço, que como foi mencionado em capítulos anteriores, é a técnica que melhor se ajusta ao tipo de obra em pauta e além disso não permite setorizar os elementos estruturais, que faz viável a implementação da técnica de planeamento mencionada. No seu lugar, o aplicativo contempla a tradicional técnica do caminho crítico com as barras Gantt. Por tal motivo o planeamento foi desenvolvido com o Synchro.

Por default, o Synchro não vem com a opção de linhas de balanço ativada. Para ativá-la foi necessário fazer visível a aba “Extra” desde as configurações do Ribbon. Uma vez visível é possível colocar a vista de linhas de balanço, que no Synchro é uma vista que se modifica conforme o Gantt é modificado. Ou seja, servem de verificação para as atividades selecionadas.

As linhas de balanço do Synchro são dinâmicas, sendo atualizadas seguindo a animação. A representação da linha é feita por meio das localizações do símbolo “#” dentro de um quadro, como poder ser visto na figura 42. O programa também permite identificar por meio de cores no mesmo quadro o estado da atividade, entre planejado, iniciado e finalizado, conforme figura 43. As cores podem ser modificadas a critério do modelador.

Figura 42. Gráfico linha de balanço no Synchro

Fonte: O autor

Figura 43. Gráfico linha de balanço com estado de atividade

Fonte: O autor

Para conseguir construir as linhas de balanço, é necessário definir tarefas mãe e as filhas. Neste contexto, as tarefas mãe são as localizações e são mostradas no lado esquerdo. Já as tarefas filhas são as atividades repetitivas e são agrupadas com suas similares de outras mães.

Por outro lado, uma função muito útil do Synchro foi conseguida através do uso de um script que permitiu obter as durações das atividades automaticamente, a partir de eficiências inseridas para atividades repetitivas, como é o caso da instalação de tubulações. Neste contexto, o programa é capaz de utilizar a informação dos objetos e planejar baseado naquilo. Em outras palavras, foram utilizadas as longitudes dos trechos para, baseado na produtividade considerada, o programa automaticamente calcule as durações. Na figura 44 de explica o conceito aplicado.

Figura 44. Scripting

Fonte: Autor

Neste contexto, se utilizou uma produtividade de instalação de 7 tubos de concreto por dia para diâmetros de 1500mm e de 8 tubos por dia para os tubos de concreto menores. Esses valores foram calculados a partir dos dados coletados na

obra e das eficiências calculados pelo construtor para o orçamento. O script utilizado para o cálculo das durações pode ser visto na figura X a seguir

Figura 45. Script e regras no Synchro

Script

Intérprete de Script

Script

```
TASK (SELECTED) SET_PROPERTY ( PHYSICALVOL_SH, "Metre", UFV["LT"])
```

Rules/productivities

	ID	Descripción	Tarifa	Unidad / Hora	Regla Padre
0	RUL00020	INST TUBERIA	0.00		
1	RUL00030	8 TUB DÍA 2.5M H.A.	2.50	Metros	RUL00020
2	RUL00040	7 TUB DÍA 2.5M H.A.	2.19	Metros	RUL00020
3	RUL00050	6 TUB DÍA 6M PVC	4.50	Metros	RUL00020

Fonte: Autor

Por outro lado, foi possível comparar cenários (figura 46) seguindo a mesma linha de tempo com o uso das linhas de base. Como pode ser observado na figura 46, foram comparados os resultados de utilizar uma equipe só desde a descarga e outra opção considerando uma equipe a mais partindo desde o trecho BL6-BL5.

Figura 46. Análise de opções de planejamento

Fonte: O autor

7.9. DISCUSSÃO

Como foi mostrado no fluxo proposto, o modelo civil é o primeiro input do processo. Para a obra em questão e para cumprir com os objetivos do construtor, é necessário que este modelo contenha no mínimo a informação geométrica correta. A modelagem no Civil 3D consegue fazer isto e, portanto, o Infraworks, que foi proposto no começo do estudo de caso, foi descartado por haver constatado que suas principais virtudes são para projeto.

Uma vez tendo essas informações definidas já foi possível fazer o primeiro uso BIM com sucesso, que é a coordenação 3D para a detecção de interferências. A Penn State (2011,2019) indica que para este uso é necessário um aplicativo para revisão de modelos. Neste caso, foi utilizado o Autodesk Navisworks já tem a capacidade necessária para revisar as interferências entre estes dois sistemas a gravidade. Para isso, é necessário criar os grupos dentro do programa para poder realizar a checagem das interferências. Um detalhe observado ao levar o modelo civil para Navisworks foi que as tubulações dos dois sistemas se juntaram, por mais que aparecem separadas no Civil 3D. É importante ressaltar que o próprio Civil 3D conseguiu fazer também a checagem de interferências.

Por outro lado e concordando com Planbim (2019) e Penn State (2011, 2019), foi evidenciado que diversas considerações técnicas e construtivas devem ser levadas em conta no momento do planejamento, pelo qual é necessário que o responsável dele seja uma pessoa com o conhecimento técnico e experiência necessárias ou que o processo de planejamento seja acompanhado por alguém que possua esses conhecimentos para poder otimizar os recursos com bom critério e obter um resultado de qualidade.

Nesse contexto, na obra estudada foram vistas condições do local como, por exemplo, o nível freático alto e proximidade ao rio com influência de marés, e por este motivo o construtor tinha como procedimento o não deixar valas escavadas até o próximo dia. Isto devido a que o solo do fundo de uma vala estaria saturado umas horas mais tarde e seria necessário melhorá-lo, mesmo sendo um material adequado para aterro, mas que por sua condição o processo de compactação seja afetado. A

modelagem 4D deve considerar estes aspectos. Da mesma forma, se as condições fossem diferentes ao ponto de permitir a escavação de uma vala completa para instalação dos tubos sem aterrar cada vez que um é instalado, será necessário escoramento. Isto também deve ser considerado no planejamento, se aquele for o caso.

Voltando ao caso de estudo e partindo do ponto anteriormente mencionado, os elementos temporais da construção, como os de seguridade industrial, podem ser planejados de forma mas precisa considerando que neste tipo de obras eles são muito importantes. Neste contexto, é importante dizer que no passado já houve acidentes graves no conjunto residencial por conta de descuidos com esses elementos.

O processo de instalação, que foi apresentado em capítulos anteriores, induz que a sinalização de segurança industrial tenha necessidade de ser muito dinâmica por terem valas que são alteradas a cada dia e outras que se fecham. A falta desta sinalização (figura 47) poderia ser motivo de acidentes durante o processo construtivo e a empresa construtora enxerga a modelagem do processo construtivo (figura 47) como uma boa ferramenta para dar suporte ao planejamento da segurança industrial da execução.

Figura 47. Segurança requerida na obra

Fonte: O autor

Figura 48. Planejamento de segurança industrial no Synchro

Fonte: O autor

Além disso, a parte logística é muito importante dentro do planejamento geral. Neste contexto, as entregas dos diversos materiais poderiam ser programadas em 4D com a ajuda desse aplicativo. Como ilustrado na figura 49, é possível fazer um cronograma de entregas de materiais como as próprias tubulações de concreto, as mesmas que são pré-fabricadas fora do canteiro. Cada uma dessas entregas foi considerada uma atividade. Isto tem especial importância porque um dos pontos que mais podem causar problemas na prática é a falta de comunicação, e esse planejamento apoiado de maneira visual a torna mais fácil e confiável. No Gantt do estudo de caso, se vinculou com relação início-termo a instalação com a provisão do material, ou seja, de baixo pra cima. Dessa maneira, a instalação começará com a previsão de ter todo o material desse trecho em obra.

Figura 49. Planejamento de entrega de materiais no Synchro

Fonte: O autor

Portanto, o planejamento da construção, suportado com BIM, para este caso deve considerar o seguinte:

- Por ser uma obra com alto nível de repetição nas suas atividades, o software a ser utilizado deve incluir os conceitos de linhas de balanço.
- Devido a que neste tipo de obras também existem atividades que não são lineares ou repetitivas, como por exemplo a construção da estação de bombeamento do sistema de esgoto, e pela necessidade de as atividades estarem relacionadas entre elas, o programa BIM 4D deve permitir o planejamento com a técnica com diagramas de Gantt.
- O software deve permitir setorizar os elementos dos modelos para poder realizar uma modelagem que realmente possa contribuir com o planejamento. Elementos como os poços de inspeção precisam ser setorizados e não devem aparecer como um todo, já que como uma parte das suas estruturas (as bases) é pré-fabricada, uma simulação que contribua com o planejamento deve considerar este fato.

Na figura 50 é mostrado o fluxo de processo de instalação de tubulações de capítulos anteriores por dia ao começar um trecho, marcando com azul as atividades repetitivas efetuadas por cada equipe.

Figura 50. Atividades repetitivas no fluxo de processo

Fonte: O autor

Figura 51. Animação dentro do Synchro

Fonte: O autor

Por outro lado, o processo de modelagem ficou bastante rigoroso, demandando muito tempo. O processo de modelagem do processo construtivo teve que voltar ao Civil 3D, onde tiveram que ser modeladas as valas para simular o processo dentro do Synchro. Entretanto a informação geométrica dessas valas não era compatível com o Synchro, pelo qual não foi possível simular satisfatoriamente a escavação como foi o caso das tubulações.

7.10. Fluxos propostos

O fluxo geral de execução de BIM continua seguindo os passos do inicialmente proposto, com a diferença que se limita até o início da construção, já que o construtor deu importância baixa ao monitoramento e alta à pré-construção figura 52. Como fluxo geral de processos, o uso inicia com o modelo civil trazido da ferramenta Civil 3D. Uma vez obtidos ou gerados esses modelos, se efetua a coordenação 3D entre os sistemas. É importante lembrar que esse fluxo é proposto para a construção em um local desprovido de outros sistemas.

Figura 52. Fluxo de implementação BIM

Fonte: O autor

O fluxo de coordenação 3D se mantém da mesma maneira em que foi proposto em capítulos anteriores, devido a que cumpriu os interesses do construtor e foi possível fazê-lo com dois dos aplicativos aqui utilizados, o próprio Civil 3D e o Navisworks. Fica a critério do construtor em qual desses softwares realizar essa checagem, lembrando que dentro do Navisworks seria necessário reagrupar os sistemas de tubulações, já que eles se misturam dentro do Navisworks como um sistema só, e criar regras para checagem. As tolerâncias de separação entre sistemas devem obedecer às normas e ser checadas com critério, já que no estudo de caso foi possível observar uma interferência leve que na execução da obra consistia em um tubo passando muito perto do outro, mas sem interferi-lo. Nesses casos, poderia não haver necessidade de contatar ao contratante para que ele ache uma solução de algo que poderia não ser um problema. O mapa de processo pode ser visto na figura 51.

Figura 53. Fluxo de coordenação 3D

Fonte: O autor

Já o fluxo de modelagem 4D foi atualizado em base das experiências obtidas neste estudo.. Este processo inicia com o modelo civil na ferramenta Civil 3D e com a lista de materiais com quantidades de obra, para a futura elaboração do planejamento das entregas. Neste contexto, é importante salientar que a extração de quantitativos não foi parte do fluxo proposto devido a que os materiais foram fornecidos pelo contratante. Aquilo foi uma particularidade do contrato desta obra, onde o construtor apenas coordenava as entregas dos materiais, para o qual é necessária essa lista de materiais. Em um cenário diferente, se o construtor tivesse sido responsável pela extração desses quantitativos, aquele uso BIM teria sido parte do mapa de processo geral e teria um fluxo próprio detalhado. Já que o construtor recebe o material por parte do contratante, não representa um risco para ele no cálculo já que ele é pago pelo trabalho feito.

As condições climáticas foram um ponto importante serviram de referência para tomar cuidados devido ao tipo de obra. Se os trabalhos fossem feitos em época de chuva, tem trabalhos como a compactação das camadas superiores que não podem ser adiados e devem ser realizados quanto antes. Deve-se evitar deixar o solo sem compactar de um dia para outro já que uma eventual chuva poderia complicar os trabalhos e até significar retrabalhos, por ter que reposicionar os solos saturados. Neste mesmo contexto, em época de chuva é conveniente que os estoques de solo para aterro sejam cobertos com lâminas plásticas para evitar a saturação do material. Portanto as lâminas plásticas passam a ser uma ferramenta muito útil. Devido a que não é possível afirmar em quais dias vai ter chuva, estas são recomendações gerais que hoje fazem parte do processo da construtora e que podem ser consideradas no planejamento 4D.

A respeito das condições do local, foi evidenciado que é muito importante incluí-las no planejamento. Neste caso, houve necessidade de considerar o nível freático e a influência das marés. Essa informação pode determinar a sequência das atividades e até do processo construtivo em muitos tipos de obra de drenagem, como foi este caso estudado. Em outros cenários diferentes deste, também teria sido possível escavar valas mais compridas e utilizar escoramento como alternativa de processo construtivo. Com estas informações e a lista de atividades, é possível determinar a sequência do fluxo da construção e com aquilo preparar um cronograma inicial. Outro exemplo disto no caso estudado foi a necessidade de não instalar e habilitar o muro da descarga, devido a que o nível da água no canal ia impedir a rea

No contexto do estudo de caso, se utilizou o Autodesk Civil 3D como ferramenta de modelagem 3D e o Synchro Pro como ferramenta 4D, como foi abordado em capítulos anteriores. Por meio do formato .nwc e o uso de um plugin da Bentley, foi possível levar o modelo civil para o Synchro Pro com as características dos objetos. Uma vez validada a vinculação dos objetos com os cronogramas, que podem ser importados de Microsoft Project ou ser feitos dentro do próprio Synchro Pro, junto com os planejamentos das entregas dos materiais e de segurança industrial, é possível elaborar um rascunho de modelo 4D por meio da visualização do planejamento dentro do Synchro Pro e a incorporação de regras para calcular automaticamente os tempos de execução a partir das informações dos objetos. Neste

contexto, é importante mencionar que foi tentada a divisão dos objetos do tamanho dos tubos para simular, de forma mais precisa, o processo construtivo, já que a instalação dos tubos de um trecho, na prática, não começava pelo primeiro tubo, mas pelo segundo. Da mesma forma, a instalação contínua dos tubos de um trecho não ia até o último tubo desse trecho, mas até o penúltimo. Isto porque a instalação destes dois tubos acontecia só após ter instalado a base dos poços respectivos, já que esses tubos se assentam sobre a base do poço. Entretanto, essa divisão do trecho em tubos de 2,5 metros cada um foi descartada porque significava perda de informações do trecho inteiro no ato da setorização. Pelo anteriormente dito, o rascunho 4D proposto foi a melhor aproximação obtida que mantinha as informações dos elementos do modelo.

Foi identificada a importância da revisão do modelo 4D como parte do fluxo de trabalho proposto, especialmente no que concerne ao sequenciamento de atividades. Um claro exemplo disto pode ser visto na figura 54, que ilustra como em dois pontos desta obra estudada um mesmo sistema pode se encontrar sobre ou abaixo do outro. Isto significa que, por se ter que instalar em primeiro lugar as tubulações mais profundas, será necessário instalar primeiro os tubos do drenagem pluvial em um ponto e no outro ponto os tubos do esgoto.

Figura 54. Revisão do modelo 4D

Fonte: o autor

Isto acontece nesta obra porque como pode ser visto na figura 55, os pontos mais baixos destes dois sistemas à gravidade se encontram em extremos opostos. Tradicionalmente, este sequenciamento é feito com informações 2D.

Figura 55. Pontos mais baixos dos sistemas

Fonte: autor

O sequenciamento das atividades de forma tradicional em 2D faz com que seja necessário estudar ao detalhe os desenhos, especialmente as cotas dos sistemas e isso pode significar um tempo considerável para evitar erros. Graças a visualização do modelo, imediatamente podem ser identificadas as tubulações mais profundas e tomar decisões rápidas no planejamento. A modo de ilustração, na figura 56 se mostra um retrabalho de 4 metros de instalação de tubulações do sistema de drenagem pluvial, supondo que o planejamento 2D tivesse tido erro e não tenha se instalado primeiro as tubulações do esgoto. Para isto se precisaria tirar 3 tubos de drenagem pluvial, o que pode ter uma duração variável mais a reinstalação dos tubos, que demora 3 horas segundo a produtividade deste trecho. Assim, o retrabalho teria uma duração aproximada de um dia e portanto um custo de USD \$930 conforme tabela 6.

Figura 56. Retrabalhos

Fonte: o autor

Por outro lado, o software utilizado, Synchro Pro, permitiu visualizar as LOB das atividades repetitivas conforme o planejamento inserido no Gantt. Aquilo permitia ver com uma melhor perspectiva o planejamento do Gantt a modo de verificação. Além disso, o próprio gráfico LOB representava com cores as tarefas segundo seu estado, o que seria útil na fase de acompanhamento da obra se o BIM for utilizado para aquele fim. Finalmente, uma vez revisado o modelo 4D é possível extrair um cronograma otimizado a partir dele, e um modelo 4D que serve para o acompanhamento, se for necessário.

Os fluxos propostos surgem como uma alternativa de solução para os problemas de planejamento existentes dentro de uma empresa construtora, juntando processos construtivos e planejamento com ferramentas tecnológicas disponíveis no mercado. Eles são capazes de dar suporte ao planejamento, que foi o que se procurou. Na figura 57 se pode observar parte a simulação da instalação dos dos sistemas simultaneamente.

Figura 57. Simulação 4D

Fonte: o autor

Esses fluxos não serviriam apenas para tubulações, mas também para outros tipos de infraestruturas de drenagem, como por exemplo dutos, considerando as respectivas mudanças no processo construtivo, equipamentos e atividades que sejam necessárias, já que eles são inputs neste fluxo de processo e tem como se adaptar. Portanto, podem ser utilizados em obras de drenagem similares desde que sejam consideradas as condições do local e, principalmente, que o terreno não tenha outras instalações, em cujo caso seria necessário inserir no início do fluxo uma modelagem de condições existentes.

Portanto, o fluxo da modelagem 4D é apresentado na seguinte figura 58:

Figura 58. Fluxo de modelagem 4D

Fonte: O autor

7.11. CONHECIMENTOS MÍNIMOS DOS RESPONSÁVEIS PELO PLANEJAMENTO E BIM

Para realizar a modelagem do processo construtivo com resultados bons, é necessário que os profissionais envolvidos tenham os conhecimentos apropriados para desenvolvê-lo. Dentro desse campo não apenas se destaca a parte tecnológica mas também a parte de conhecimentos sobre construção, como foi mencionado em capítulos acima.

Em relação às técnicas de planejamento, é necessário que os envolvidos conheçam sobre o uso dos diagramas de barras Gantt, que continua sendo a técnica mais amplamente divulgada para planejamento. Além disso, e por serem muito benéficas, é importante que os envolvidos entendam os conceitos de linhas de balanço, mesmo se os programas que eles utilizam não conseguem suportar os seus conceitos. Existem pesquisas como a de Vargas e Moreira (2015) que propõem métodos para simular linhas de balanço com ferramentas comuns no mercado para barras Gantt. Isso serviria como ajuda para aprimorar o planejamento dos elementos repetitivos, como já foi abordado em capítulos anteriores, enquanto os não repetitivos continuam sendo planejados pela técnica de barras Gantt.

Na parte técnica e tecnológica, é necessário que os envolvidos conheçam o processo de modelagem e não apenas como utilizar uma ferramenta e cumprir com os requisitos de hardware para o correto funcionamento dos mesmos. Como foi recomendado por Penn State (2011, 2019) e Planbim (2019), as pessoas envolvidas nos usos de coordenação 3D e planejamento 4D devem ter os seguintes conhecimentos:

- Conhecimentos em software de modelagem BIM
- Conhecimento em software de revisão de modelos BIM
- Conhecimentos em software BIM 4D e de planejamento
- Trabalho em equipe
- Coordenação de projetos
- Projeto e construção

- Normas segundo especialidade
- Sistemas construtivos
- Coordenação de recursos da construção

8. CONCLUSÕES

BIM para infraestrutura ainda tem um longo caminho por percorrer, desde a padronização dos conceitos, interoperabilidade, até os usos mais avançados que já existem para as edificações.

Graças a este trabalho de pesquisa acadêmica em conjunto com o acompanhamento de uma obra no Equador, foi possível encontrar uma forma de otimizar o planejamento de uma obra de drenagem. Além disso, constatou-se que há uma grande melhoria da comunicação durante o planejamento, pelo fato de poder visualizar o planejado e não precisar mais imaginá-lo. Isto graças à implementação de ferramentas computacionais disponíveis no mercado e o aprofundamento do conhecimento nos processos construtivos implementados, com foco em achar uma alternativa de solução para otimizar os recursos por meio de um planejamento mais eficiente. Foram feitos fluxos de processo que foram testados por meio de simulação ao longo do trabalho e foram apresentadas suas considerações para atingir o objetivo.

Após estes testes, foi proposta uma alternativa de solução para uma empresa que executa este tipo de obras faz 10 anos, por meio do estudo de uma das suas obras que foi executada no período deste trabalho. Ao mesmo tempo, ficaram evidentes as limitações que ainda existem na parte de BIM para infraestrutura em relação à interoperabilidade e simulação, ao testar várias alternativas de trabalho com diferentes softwares e descrevendo possíveis cenários. Neste contexto, foi importante definir quais são as principais características necessárias que um software de planejamento 4D deve ter para satisfazer adequadamente as necessidades. A comparação da capacidade de dois softwares BIM 4D foi feita neste trabalho para decidir com qual deles o construtor conseguiria mais benefícios quanto à simulação da obra estudada e os seus objetivos. Ao mesmo tempo, foi mostrado quão importante é a definição e o conhecimento sobre o processo construtivo implementado nas obras,

devido a que estas decisões formam parte do processo de modelagem e, além disso, impactam diretamente sobre os resultados.

A solução proposta para o planejamento de obras de infraestrutura de drenagem suportada com BIM, que é a principal contribuição deste trabalho, é aplicável a obras de infraestrutura de drenagem, não se limitando apenas a tubulações mas também a outro tipo de obra linear como por exemplo dutos. Para tal, é necessário que sejam inseridas as considerações para este tipo de obra.

No final deste trabalho, foram propostos perfis de conhecimento mínimos, baseados nas recomendações de importantes guias internacionais e da experiência do autor, para que pessoas que tenham o interesse de otimizar seus resultados possam utilizar os fluxos de trabalho propostos neste trabalho.

Por outro lado, o BIM não pode ser mais visto como uma opção pela indústria da construção. Este trabalho forneceu uma visão do estado atual de BIM em Guayaquil, contribuindo com o mapeamento deste conhecimento que tão poucas informações tem disponíveis nessa cidade, que é a segunda mais importante do Equador e onde as aplicações do BIM se mostram como uma grande oportunidade para as empresas do setor da construção se destacarem no meio, oferecendo serviços de maior valor. Os fluxos BIM propostos não apenas serviram para que a construtora estudada melhorasse o planejamento, mas também deixou a empresa preparada para a chegada do BIM ao país, que está acontecendo aos poucos. Como foi mostrado neste trabalho, é possível observar no país profissionais que tem alguns conhecimentos em BIM, mas que não utilizam ferramentas que incorporam esse conceito por não serem muito divulgadas.

Finalmente, destaca-se que o governo no Equador ainda não promove a sua implementação e pequenas iniciativas por parte da empresa privada já podem ser vistas aos poucos. Da mesma forma, poucos fabricantes contam com famílias BIM recentemente.

8.1. DENTRO DA EMPRESA

No caso da empresa estudada, está sendo elaborado um plano de implementação de BIM para que ela possa adotar a nova metodologia de trabalho com sucesso, já que enxergaram o BIM como um grande diferencial no meio e que pode abrir melhores possibilidades à empresa. O plano inclui, além de investimentos em tecnologia e treinamentos para os funcionários, diretrizes para trabalhar com projetistas parceiros em um ambiente BIM, já que a empresa está se dedicando apenas à construção de infraestrutura mas tem a intenção de se expandir para a construção de edificações no futuro.

A respeito dos investimentos em tecnologia, foi recomendada a substituição de apenas dois computadores por outros com capacidade suficiente para suportar os programas a serem utilizados. Especialmente, precisa-se de um computador com placa gráfica de 1 GB compatível com DirectX para a simulação. Sobre os softwares neste caso, foi recomendada a coleção AEC da Autodesk, por serem os softwares com mais possibilidades de ser conhecidos no mercado equatoriano. Neste sentido, foi constatado que a Autodesk oferece pacotes de softwares que reduzem significativamente o investimento quando comprados juntos. É importante ressaltar que os mencionados pacotes incluem softwares para edificação e infraestruturas. Além desse pacote de softwares, foi sugerido à empresa o software Synchro Pro, por ser uma ferramenta muito potente para planejamento de obras. A sugestão se baseia na flexibilidade do Synchro, que suporta o conceito das linhas de balanço ao mesmo tempo que trabalha com diagramas Gantt. É muito provável que seja necessário procurar os treinamentos com empresas ou profissionais fora do Equador que possam dar as capacitações dentro da empresa. Dessa forma, se espera também um aumento de produtividade que todo processo de aprendizado geralmente significa. Esses treinamentos serão focados dependendo do trabalho que cada funcionário vai fazer dentro da empresa e estarão baseados em um cronograma de treinamentos previamente elaborado.

Finalmente, o fator humano é um dos fatores mais importantes a serem considerados devido à mudança do processo de trabalho que a empresa sofrerá. Esse é um ponto crucial que desde a gerência deve ser monitorado com muito cuidado.

Para chegar com sucesso à implementação de BIM, ela deve ser um objetivo comum para cada funcionário.

REFERÊNCIAS

AISH, Robert. **Building Modeling: the key to Integrated Construction CAD**. CIB 5th International Symposium. 1986. P. 55-67.

AUTODESK DO BRASIL. **Navisworks**. Disponível em < <https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/overview> > Acesso em 6.Fev. 2019

AUTODESK SUPPORT. Navisworks Products. 10 de dezembro de 2019. Disponível em:<<https://knowledge.autodesk.com/support/navisworks-products/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/NavisWorks-JetStream-file-formats-NWC-NWF-NWD-and-NWP.html>>. Acesso em 2 Jan. 2020

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES, I. R. **BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto Engineer-to-order**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 173-192, jan./mar. 2018.

BIM DICTIONARY. Construction Logistics. 2018. Disponível em < <https://bimdictionary.com/en/construction-logistics/1/> > .Acesso em 15. Mai. 2018.

_____. LOD. 2020. Disponível em < <https://bimdictionary.com/pt/level-of-development/1/> > Acesso em 5. Oct. 2020.

_____. 4D. 2019b. Disponível em < <https://bimdictionary.com/en/4d/1/> > Acesso em 4. Jan. 2019.

_____. 5D . 2019c. Disponível em < <https://bimdictionary.com/en/5d/1/> > Acesso em 4. Jan. 2019.

_____. Level 2 BIM. 2019d. Disponível em < <https://bimdictionary.com/en/level-2-bim/1/> > Acesso em 7, Jan. 2019.

BOTON, Conrad. **Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation**. Automation in Construction 96. Pg 1-15. 2018. Disponível em < https://ac-els-cdn.ez67.periodicos.capes.gov.br/S0926580518305235/1-s2.0-S0926580518305235-main.pdf?_tid=1a87598e-35d8-43c7-a3f5-4040168bb2dd&acdnat=1548916266_453338b23e380e7d0a21ba8ebbe6bb0a > Acesso em 15. Jan. 2019.

Bradley, Alex, Li, Haijiang, Lark, Robert and Dunn, Simon 2016. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. Automation in Construction 71 (2) , pp. 139-152. Disponível em < [https://www.researchgate.net/publication/307957613 BIM for infrastructure An overall review and constructor perspective](https://www.researchgate.net/publication/307957613_BIM_for_infrastructure_An_overall_review_and_constructor_perspective) >

BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes (IFC)**. Disponível em <<https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>>. 2020a. Acesso em 5, Jan. 2020.

_. **IFC Specifications Database**. Disponível em <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>>. 2019. Acesso em 20. Dez. 2019.

_. **Industry Foundation Classes. Version 4.1.0.0**. Disponível em <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/>. 2020b. Acesso em 02. Jan. 2020.

CENAC. **Próximos Cursos**. Disponível em <<http://academiacenac.com/próximos-cursos.html>>. Acesso em 15. Mar. 2020.

CHENG, Jack; LU, Qiqi; DENG, Yichuan. **Analytical Review and evaluation of Civil Information Modeling**. Automation in Construction 69. P. 31-47, 2016.

COSTA, C.F; FERREIRA, E.A.M. **Projeto de Canteiro de Obras com o Auxílio de Ferramentas BIM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. Anais[...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/120>

DODGE DATA & ANALYTICS. **The Business Value of BIM for Infrastructure 2017**. SmartMarket Report. 2017. Disponível em <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/finance/us-fas-bim-infrastructure.pdf>> Acesso em 4. Jan. 2019

EASTMAN, C. **General purpose building description systems**. Computer-Aided Design Volume 8, 1976. P. 17-26.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen;. **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New York: John Wiley & Sons, 2011.

EDMONDSON, Vikki; CERNY, Martin; LIM, Michael; GLEDSON, Barry; LOCKLEY, Steven; WOODWARD, John. **A smart sewer asset information model to enable an 'Internet of Things' for operational wastewater management**. Automation in Construction 91. Pg 193-205. 2018.

ES.BIM. **Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM**. Espanha. 2018.

GOMES, F. **Implantação BIM em uma empresa de projetos de infraestrutura: estudo de caso**. 112 p. Monografia (Especialização em gestão de projetos na construção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

HENRICH Guilherme, TILLEY Paul, KOSKELA Lauri. **CONTEXT OF PRODUCTION CONTROL IN CONSTRUCTION**. Proceedings IGLC-13. Sydney, Australia. 2005

HOWELL Shaun; REZGUI, Yacine; BEACH, Thomas. **Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions**. Automation in Construction 81. Pg 434-448. 2017.

INEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Proyecciones Poblacionales**. Disponível em <<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>> Acesso em 5. Jan. 2019.

KEMMER, S.L. **Análise de diferentes tempos de ciclo na formulação de planos de ataque de edifícios de múltiplos pavimentos**. Dissertação de Mestrado. P.38. UFSC. 2006

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location Based Management System for Construction: Planning, Scheduling and Control**. 1 Edição. Pg 50. 2010.

KREIDER, Ralph G.; MESSNER, John I. (2013). **“The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses”**. Version 0.9, September, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. <http://bim.psu.edu>.

NBS. **What is Building Information Modelling (BIM)?**. Disponível em <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>> Acesso em 12.Nov.2018

LACERDA, Daniel. DRESCH, Aline. PROENÇA, Adriano. ANTUNES, José. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. Gest. Prod., São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2013000400001&script=sci_arttext&tlng=pt> . Acesso em 15. Mar. 2020.

LIU, Z. **Feasibility Analysis of BIM Based Information System for Facility Management at WPI**. Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, USA. MSc Thesis. 2010

MARCH, S.; SMITH, G. **Design and natural science research on information technology**. Decision Support Systems 15. 1995.

MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de pesquisa**. 6º Edição revista e ampliada. Editora Atlas. São Paulo, 2003.

MATOS, C. R. **O uso do BIM na fiscalização de obras públicas**. 2016. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM for Infrastructure**. SmartMarket Report. 2012. Disponível em <http://images.autodesk.com/adsk/files/business_value_of_bim_for_infrastructure_smartmarket_report_2012.pdf> Acesso em 4. Jan. 2019.

McKinsey Global Institute. **Reinventing construction through a productivity revolution**. Disponível em <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution#>>. Acesso em 05. Out. 2017

MDIC. **Estratégia Nacional De Disseminação do BIM - Estratégia BIM BR**. 2018. Disponível em <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/ce-bim>>. Acesso em 15. Mar. 2020.

MICELI JUNIOR, G; PELLANDA, P.C; REIS, M.M. **Considerações sobre fluxos de trabalho BIM para desenvolvimento de projetos de obras em organizações públicas**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://www.antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/136>

MOURA, R.S.L.M.; HEINECK, L.F. **Linha de balanço: síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras?** XV ENTAC, 2014

NBIMS - National BIM Standard. **What is a BIM**. Disponível em <<https://www.nationalbimstandard.org/faqs>> Acesso em 12. Nov. 2018.

NBS – National Building Specification . **What is Building Information Modelling (BIM)?**. 2018a. Disponível em <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>> Acesso em 12.Nov.2018

_. **The National BIM Report**. 2018b. Disponível em <<https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018>> . Acesso em 15. Nov. 2018.

_. **What is IFC?**. 2017. Disponível em <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-ifc>>. Acesso em 20. Dez. 2019.

NOGUEIRA, J. S. **Análise dos benefícios do BIM no combate às irregularidades em projetos de obras de edificações públicas e seus aditivos contratuais**. 2016. 125 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

OYEGOKE, Adekunle. **The constructive research approach in project management research**. International Journal of Managing Projects in Business, Vol. 4 Issue: 4, pp.573-595, 2011.

PAPADONIKOLAKI, E.; VRIJHOEF, R.; WAMELINK, H. **Supply chain integration with BIM: a graph-based model**. Structural Survey. Vol. 33 Issue: 3, P.257-277. 2015.

PENN STATE. Computer Integrated Construction Research Group, Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University. **BIM Project Execution Planning Guide** Version 2.1, 2011.

_____. Computer Integrated Construction Research Group, Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University. **BIM Project Execution Planning Guide** Version 2.2, 2019.

PLANBIM. **Estándar BIM para proyectos públicos**. 1ª edição. Santiago, Chile. 2019.

PLASTIGAMA. **Conoce las nuevas librerías Plastigama Wavin para Ecuador**. Disponível em <<http://bim.plastigama.com/es/Paginas/default.aspx>> . Acesso em 15. Mar. 2020.

PMI®. **Guía del PMBOK®**. Sexta edición. | Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017.

SACKS, Rafael; EASTMAN, Chuck; LEE, Ghang; TEICHOLZ, Paul. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers**. Wiley. Kindle Edition. 2018a.

SACKS, R.; KORB, S.; BARAK, R. **Building Lean, Building BIM**. 1a Edição. Routledge. 2018b.

SACKS, Rafael; KOSKELA, Lauri; DAVE, Bhargav; OWEN, Robert. **Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136, No. 9. Pg 968-980. 2010.

SERRA, S. M. B.; OLIVEIRA, O. J. **Development of the Logistics Plans in Building Construction**. INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING. Proceedings of the Second International Conference on Structural and Construction Engineering. Rome, 2003.

SILVA, F. DA; CARDOSO, F. **Applicability of Logistics Management in Lean Construction: a case study Approach in Brazilian building companies**. ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7. Proceedings IGLC-7. Berkeley, 1998.

TAYLOR, David. **Global Cases in Logistics and Supply Chain Management**. Thomson. Pg 1-2. 1997.

VAN NEDERVEEN, Gilles. A.; TOLMAN, Frits. P. **Modelling Multiple views on buildings**. Automation in Construction. P 215-224. 1992. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/092658059290014B>> Acesso em 27. Sept. 2017.

VARGAS, R; MOREIRA, F. **Scheduling optimization with line of balance and star-finish relations**. PMI® Global Congress 2015- EMEA. Londres, 2015. Disponível em <<https://www.PMI.org/learning/library/scheduling-optimization-balance-10614>>. Acesso em 20 Dez. 2019.

WHITLOCK, K.; ABANDA, F. H.; MANJIA, M. B.; PETTANG, C.; NKENG, G. E. **BIM for Construction Site Logistics Management**. Journal of Engineering, Project, and Production Management. 8(1), 47-55, 2018.

WRAP. Achieving Effective Waste Minimisation. Pg 16. 2007. Disponível em <
[http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Waste%20min%20mid%20level%20FINAL1.p
df](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Waste%20min%20mid%20level%20FINAL1.pdf)> . Acesso em 10. Dez. 2018.

YABUKI, N. **Issues and implementation methods for BIM in the civil infrastructure domain.** I INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE URBANIZATION. Hong Kong: [s.n.]. 2010

ZOLFAGHARIAN, S; IRIZARRY, J. **Current Trends in Construction Site Layout Planning.** Construction Research Congress – ASCE. 2014

APÊNDICE A – Formulário de conhecimento sobre BIM em Guayaquil

Para todas as pessoas:
Género

Edad

Profesión

¿Has realizado estudios de posgrado?

Si la respuesta fue sí, ¿en qué país obtuviste u obtendrás dicho título?

Si la respuesta fue sí ¿En qué año obtuviste u obtendrás dicho título?

¿En qué áreas de la construcción actúas?

La empresa donde trabajas o posees cuenta aproximadamente con:

¿Sabes qué es BIM (Building Information Modeling)?

Para as pessoas que afirmaram saber o que é BIM:

¿Dónde tuviste el primer contacto con BIM?

¿Qué entiendes por el término BIM?

¿En cuál o cuáles de los siguientes puntos podría ayudarnos BIM?

¿Sabes lo que es BIM 4D Y 5D?

¿Cuáles de las siguientes aplicaciones conoces?

¿Has utilizado alguna de las aplicaciones anteriormente mencionadas?

Para as pessoas que já trabalharam com BIM

¿En qué fases la construcción utilizaste BIM?

¿Continúas usando BIM hoy?

Para as pessoas que afirmam saber o que é BIM mas nunca usaram:

¿Te interesaría aprender a trabajar con metodología BIM?

¿Sabes dónde puedes capacitarte en el uso de los programas?

Para as pessoas que afirmam saber o que é BIM, que já utilizaram ferramentas BIM mas que não usam mais:

¿Cuál fue el principal motivo por el cual dejaste de usar BIM?