



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

IGOR CARIRY CABRAL DE MELO

**SIMULAÇÃO DA MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS POR MEIO DA
APLICAÇÃO DO BIM 4D**

CAMPINA GRANDE
2018

IGOR CARIRY CABRAL DE MELO

**SIMULAÇÃO DA MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS POR MEIO DA
APLICAÇÃO DO BIM 4D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

Coorientador: Prof. M.Sc. Rodrigo Mendes Patrício Chagas

CAMPINA GRANDE

2018

IGOR CARIRY CABRAL DE MELO

**SIMULAÇÃO DA MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS POR MEIO DA
APLICAÇÃO DO BIM 4D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG,
para encerramento do componente curricular e
conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Aprovado em: __/__/__

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho
(Orientador)

Professor M.Sc. Rodrigo Mendes Patrício Chagas
(Coorientador / Examinador externo)

Professor Esp. Marco Aurélio de Teixeira e Lima
(Examinador interno)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que em sua imensa sabedoria, me deu saúde e forças para alcançar o meu sonho.

A Universidade Federal de Campina Grande, assim como toda a Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC), pela estrutura e acolhimento nos últimos 5 anos.

Aos meu pais, Eduardo e Theresa, por ser abrigo, carinho e amor desde o primeiro dia da minha vida. Agradeço pelas preocupações e noites em claro me esperando chegar após madrugadas de estudos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, por quem tenho enorme admiração, pelos ensinamentos transmitidos em sala de aula, os quais vão muito além das técnicas exigidas pela minha futura profissão. A ética, o respeito e a maneira de tratar a todos como semelhantes são somente algumas das heranças que vou levar deste grande profissional pelo resto da minha trajetória.

Ao meu coorientador, Prof. M.Sc. Rodrigo Mendes Patrício Chagas, pelos ensinamentos e por me disponibilizar toda a sua experiência em prol deste trabalho.

Agradeço a Anne Caroline Silva Cavalcanti, meu amor, por dividir cada momento comigo, sempre acreditar em meu potencial e me dar forças mesmo nos piores momentos. Agradeço pela paciência e compreensão nas horas em que a minha atenção tinha que ser voltada aos livros.

Aos meus irmãos, Alan, Caline e Yuri que com suas trajetórias sempre me inspiraram a tirar o melhor de mim.

Agradeço aos companheiros de curso e amigos para a vida, Helker, Victor e Lucas, pelas experiências vividas nestes quase 6 anos. Vocês me fizeram aproveitar cada passo da jornada até aqui.

Aos amigos dos tempos de escola, Pablo, Ado e Rafael, assim como a todos os outros, que são alicerce e sempre que necessário estiveram ao meu lado.

Meus agradecimentos também, a empresa de montagem de estruturas metálicas que me forneceu os dados necessários para o estudo de caso nesta pesquisa.

Enfim, meus agradecimentos a todos que fizeram parte desta trajetória e contribuíram de qualquer forma para que eu pudesse chegar até aqui.

“Strength doesn't come from what you can do. It comes from overcoming the things you once thought you couldn't.” - Rikki Rogers

“Força não vem do que você pode fazer. Vem de superar as coisas que você pensava que não podia.” - Rikki Rogers

RESUMO

Progressivamente, os modelos BIM estão sendo usados para gerar informações de construção, desde cálculos de quantidades, até os processos de fabricação automatizados e simulação de obras. Este último forma a base para seu uso no processo de planejamento, através da adição de tempo ao ambiente do modelo 3D, se torna possível a elaboração de um planejamento 4D. O benefício de usar as informações de “*design*” para formar a base do programa é que as tarefas de interface e atividades logísticas, bem como as restrições relacionadas à precedência de atividades, podem ser identificadas e comunicadas a todos os níveis da equipe de construção por meio de uma imagem visual baseada no tempo. Este estudo tem como principal finalidade, comprovar que a elaboração do planejamento utilizando a tecnologia BIM 4D, na montagem de uma estrutura metálica, possui significativas vantagens, quando comparado ao modelo tradicional de planejamento, de uma empresa sediada na cidade de Queimadas - PB. Para o desenvolvimento da pesquisa foi elaborado um estudo de caso em uma obra executada pela empresa. Foram desenvolvidas onze etapas para a criação de simulações na fase de montagem de estruturas metálicas. Assim como foi analisado como o planejamento 4D poderia ter evitado diversos erros que ocorreram no decorrer da obra. Um “*feedback*” da empresa que executou a obra também foi obtido, visando buscar opiniões de especialistas no assunto, sobre o método desenvolvido. Ficou evidenciado neste trabalho que o BIM 4D não substitui os conceitos tradicionais de planejamento, mas complementa-os com novas ferramentas de análise, garantindo um processo para extração de informações mais precisas e confiáveis.

Palavras-chave: BIM 4D, Planejamento de Obras, Estrutura Metálica

ABSTRACT

Progressively, BIM models are being used to generate construction information, from quantity surveys to automated manufacturing processes and construction simulation. The latter create the basis for its use in the planning process, by adding the variable “time” to the 3D model environment, becoming possible to elaborate a 4D planning. The benefit of using design information to form the basis of the program is that the interface tasks and logistical activities, as well as constraints related to the precedence of activities, can be identified and communicated to the entire construction team through a visual image based on time. The main purpose of this study is to prove that the use of BIM 4D technology in the assembly of a steel structure has significant advantages when compared to the traditional planning routine of a company based in the city of Queimadas - PB. For the development of the research, a case study was elaborated in a construction executed by the company. Eleven steps were developed to create simulations in the assembly phase of steel structures. Also, it was analyzed how the 4D planning could have avoided several mistakes that occurred during the real situation. A feedback from the company that executed the work was also obtained, aiming to seek the opinions of experts on the subject, about the method. It was evidenced in this paper that the BIM 4D does not substitute traditional planning concepts, but complements it with new analysis tools, guaranteeing more accurate and reliable informations for the planning process.

Key Words: BIM 4D, Construction Planning, Steel Structures

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida do projeto (PDCA)	17
Figura 2 - EAP modelo de decomposição para residência em estrutura metálica.....	19
Figura 3 - Tipos de ligações entre atividades	20
Figura 4 - Exemplo de diagrama de blocos – completo	21
Figura 5 - Composição do bloco.....	21
Figura 6 - Exemplo de caminho crítico no cronograma	22
Figura 7 - Modelo BIM	25
Figura 8 - Processo BIM como contraponto ao processo tradicional de projeto.....	27
Figura 9 - Obtenção do modelo 4D de gestão e planejamento e 5D dos custos através do modelo 3D.	28
Figura 10 - Associação do modelo 3D à sequência temporal das atividades da construção	29
Figura 11 - Exemplo de diagrama de montagem.....	31
Figura 12 - Área indicada para armazenagem de peças	36
Figura 13 - Modelo eletrônico da estrutura metálica montada.	40
Figura 14 - Foto da montagem no dia 02/03/18	41
Figura 15 - Foto da montagem no dia 26/02/18	41
Figura 16 - Foto da montagem no dia 13/03/18	41
Figura 17 - Fases de montagem.....	42
Figura 18 - Relações de precedência na montagem	43
Figura 19 - EAP de montagem e cronograma de Gantt.....	44
Figura 20 - Sets do “Navisworks”	45
Figura 21 - Tela do “Navisworks” durante preparo da simulação	46
Figura 22 - Simulação de montagem em BIM 4D.....	47
Figura 23 - Erro 1 - Armazenamento excessivo de peças no canteiro.	50

Figura 24 - Erro 2 - Falha na sequência de montagem.	51
Figura 25 - Erro 3 – Cintas danificadas pelo “munck”	52
Figura 26 - (a) área de trabalho para um planejamento convencional e (b) utilizando o BIM 4D	53
Figura 27 - Controle de execução das atividades no “ <i>TimeLiner</i> ”	54
Figura 28 - Visualização de atividades atrasadas/adiantadas ou dentro do prazo esperado	54
Figura 29 - Ferramenta de comunicação sobre o modelo interativo	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Roteiro do planejamento	18
Quadro 2 - Índices de montagem.....	32
Quadro 3 - Sequência de montagem em galpões metálicos	34
Quadro 4 - Roteiro da pesquisa	38

LISTA DE SIGLAS

BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CPM	Critical Path Method
IFC	Industry Foundation Class
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EUA	Estados Unidos da América
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PDM	Precedence Diagram Method
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
RDO	Registro Diário de Obra
WBS	Work Breakdown Structure

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	O PLANEJAMENTO DE OBRAS	16
2.1.1	A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO	16
2.1.2	TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO.....	17
2.2	“BUILDING INFORMATION MODELLING” (BIM).....	23
2.2.1	BIM – DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS	23
2.2.2	DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO	25
2.2.3	FERRAMENTAS BIM PARA PLANEJAMENTO	28
2.3	ESTRUTURAS METÁLICAS.....	30
2.3.1	PLANEJAMENTO DE MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS.....	30
2.3.2	PLANO DE RIGGER DAS ESTRUTURAS.....	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1	MATERIAIS.....	37
3.2	MÉTODOS	37
3.2.1	ROTEIRO DA PESQUISA	37
4	RESULTADOS E ANÁLISES	40
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	40
4.2	PLANEJAMENTO BIM 4D	41
4.2.1	LEVANTAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	41

4.2.2	ELABORAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE MONTAGEM BIM 4D	42
4.2.3	SIMULAÇÃO 4D	46
4.2.4	RESUMO DAS ETAPAS SUGERIDAS NA ELABORAÇÃO DE SIMULAÇÃO BIM 4D PARA EDIFICAÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA	49
4.3	ERROS CONSTRUTIVOS QUE PODERIAM TER SIDO EVITADOS	50
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO TRADICIONAL DE PLANEJAMENTO E GESTÃO COM O PROCESSO AGREGANDO O BIM 4D	52
4.4.1	PLANEJAMENTO DE MONTAGEM NO PROCESSO TRADICIONAL	52
4.4.2	ACOMPANHAMENTO E CONTROLE DE MONTAGEM	53
4.5	“FEEDBACK” DA EMPRESA RESPONSÁVEL PELA OBRA	55
5	CONCLUSÃO.....	57
5.1	CONCLUSÕES	57
5.2	CONCLUSÃO GERAL.....	58
5.3	SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXOS.....	62

1 INTRODUÇÃO

“Planeje o seu trabalho de hoje e todos os dias, depois trabalhe o seu planejamento” (*Margaret Thatcher*). A aplicabilidade da citação destacada é de grande importância na indústria da construção civil, onde o sucesso de qualquer empreendimento é altamente afetado pelo seu planejamento. De acordo com Tomasi (2003), a atual indústria da construção civil é vista no Brasil como uma indústria atrasada do ponto de vista organizacional, principalmente quando comparada com outros seguimentos da indústria. São razões para este fato, a baixa produtividade do setor, dificuldade no cumprimento de prazos de execução e elevados desperdícios de materiais e de tempo no decorrer de uma obra.

O BIM (Building Information Modelling) vêm sendo vastamente difundido ao longo dos últimos anos em diversos setores da construção civil. Nas indústrias automotivas e robóticas o BIM já é uma tecnologia fundamental e bem estabelecida há décadas. A utilização dos modelos 3D para projetos arquitetônicos, estruturais, elétricos e de instalações hidráulicas já possuem grande aceitação na maior parte do mercado mundial. Mais recentemente a adoção da metodologia BIM foi introduzida também nos setores de planejamento e controle de obras por meio da tecnologia 4D.

Nesta tecnologia os processos construtivos passaram de apenas informações em formatos de gráficos e diagramas, para modelos intuitivos de simulação com visualização tridimensional do que está sendo feito e do momento em que está sendo feito, facilitando a comparação de diversos cenários e planos de execução (planos de ataque) pelo planejador.

Observa-se que a fase de planejamento, na maioria dos projetos em 2D, após a determinação do escopo e levantamento dos quantitativos, determina-se os tempos de duração das atividades, e aplicando-se as técnicas PERT – CPM (Program Evaluation and Review Technique - Critical Path Method), elabora-se o cronograma das atividades. Nesta análise é importante a experiência do planejador no conhecimento das etapas de execução dos serviços a serem planejados.

Com base na experiência de 1 ano trabalhando com orçamento de estruturas metálicas, projetos com este sistema estrutural apresentam cerca de 30% do seu custo total na fase de montagem. Fernandes (2013) ainda cita que o custo de planejamento difere dos demais sistemas

devido à necessidade de planejamento detalhado, prevendo a sequência construtiva e o dimensionamento da mão-de-obra empregada.

1.1 JUSTIFICATIVA

Por se tratar de uma nova tecnologia no Brasil, ainda é limitado o número de pesquisas e bibliografias em âmbito nacional que adotam o uso da técnica 4D para planejamento de montagem de estruturas metálicas. Este trabalho visa, portanto, contribuir com informações que auxiliarão futuros engenheiros à planejar e orçar melhor obras com este tipo de sistema construtivo. Produzir um planejamento mais preciso facilitaria a troca de informações entre os setores de uma empresa de construção, assim como diminuiria os custos com retrabalhos resultantes de erros causados por um mal entendimento ou falha de gestão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral reforçar que a elaboração do planejamento utilizando a tecnologia BIM 4D, na montagem de uma estrutura metálica, possui significativas vantagens, quando comparado ao modelo tradicional de planejamento de uma empresa sediada na cidade de Queimadas - PB.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Apresentar etapas para simulação 4D da montagem de edificações em estruturas metálicas;
- Apresentar situações indesejadas que surgiram na montagem do caso em estudo e que poderiam ter sido evitadas por meio do planejamento 4D;
- Fazer um estudo comparativo o entre modelo tradicional de planejamento e o modelo analítico em BIM 4D;
- Obter “*feedback*” sobre o método, na empresa responsável pela execução da montagem;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O PLANEJAMENTO DE OBRAS

2.1.1 A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO

O setor da construção tem sofrido alterações substanciais nos últimos anos, sendo estas alterações causadas pelo aumento da competitividade, pelo mercado mais globalizado, pela demanda por bens mais modernos, assim como pelo aumento de exigência dos investidores e clientes. Com uma disponibilidade de recursos financeiros reduzida, as empresas aumentaram o investimento em gestão e controle de processos, pois só assim podem gerenciar seus principais indicadores: o prazo, custo, lucro e retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa (MATTOS, 2010).

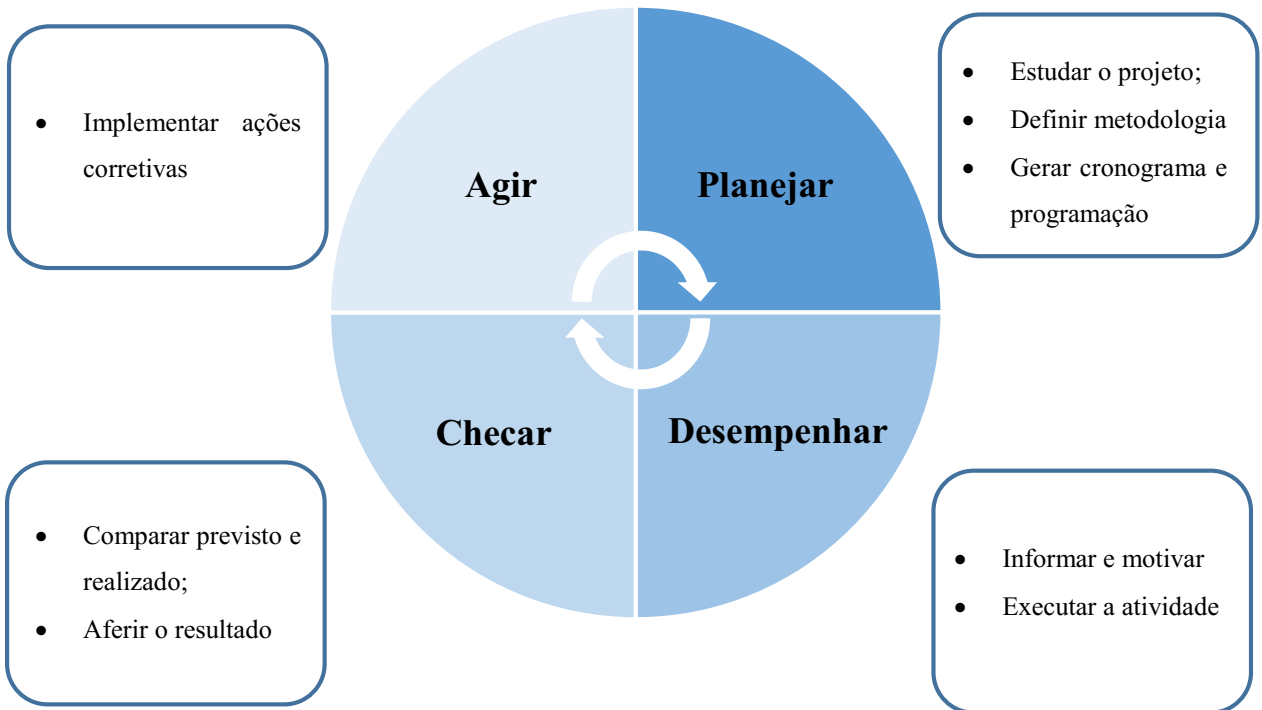
O indicativo de que as falhas no planejamento e controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, assim como da baixa qualidade do seu produto e suas altas perdas, são os diversos estudos realizados sobre este tema no Brasil e no mundo (MATTOS, 2010).

Losso e Araújo (1995 apud NOGUEIRA; ANDRADE, 2010) afirmam que a realização de um empreendimento exige a combinação dos fatores tempo, custo e recurso e ainda acrescentam que o estabelecimento da alocação eficiente de recurso no tempo e a possibilidade de controle somente serão possíveis através de um bom sistema de planejamento e programação das obras.

Acrescenta ainda Nocêra (2016) que além de estabelecer ações, é de fundamental importância definir também os recursos a serem usados, os métodos e os meios necessários para se alcançar os objetivos estipulados. Essa visão do autor estabelece a importância de um plano o qual deve conter todos os caminhos pelos quais um bom planejamento deva passar a fim de chegar a um objetivo pré-estabelecido.

Segundo o PMBOK (2017), o ciclo de vida de um projeto é composto pelas fases de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento. Na figura 1, pode-se observar o ciclo PDCA (Planejar, Desempenhar, Checar e Agir). O conceito PDCA é atualmente aplicado na melhoria contínua de processos de gestão. Ele foi criado na década de 20 por Walter A. Shewhart e já na década de 50 foi disseminado por William Edward Deming.

Figura 1 - Ciclo de vida do projeto (PDCA)



Fonte – Adaptado de Mattos (2010)

2.1.2 TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO

De acordo com Mattos (2010), o roteiro do planejamento de uma obra segue passos bem definidos. Em cada passo, coletam-se elementos dos passos anteriores e a eles se agrega algo. Diante disso o roteiro de um planejamento básico de construção contém os passos descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Roteiro do planejamento

-
- a) Identificação das atividades;
 - b) Definição das durações;
 - c) Definição das precedências;
 - d) Montagem do diagrama de rede;
 - e) Identificação do caminho crítico;
 - f) Geração do cronograma e cálculo das folgas;
-

Fonte – Adaptado de Mattos (2010)

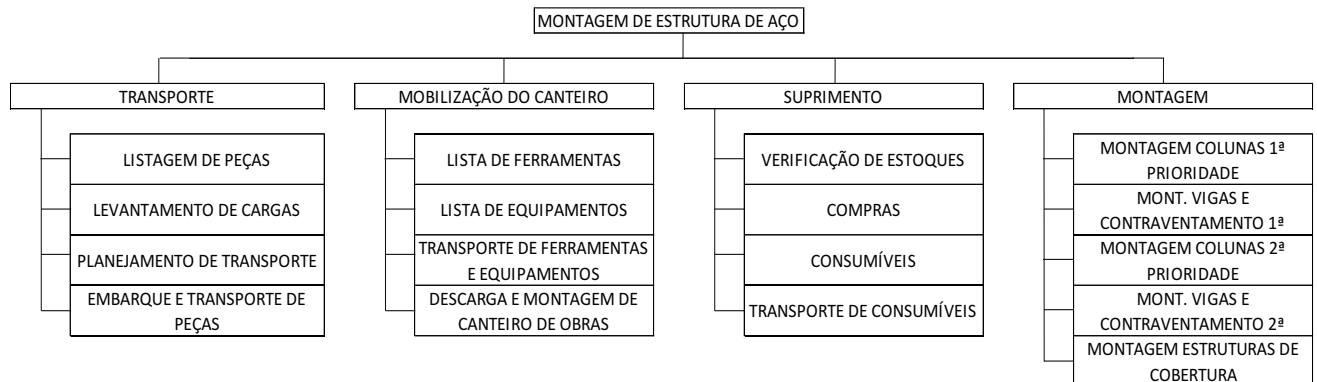
a) IDENTIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES

O primeiro passo de qualquer planejamento consiste em identificar as atividades que serão consideradas pelo planejador e que irão compor o cronograma geral do projeto.

Mattos (2010) cita que separar um projeto em tarefas é um trabalho complexo. Constantemente, exige leitura cuidadosa de desenhos e plantas, assim como experiência prática da metodologia construtiva utilizada e capacidade de representar as atividades de campo em conjuntos de trabalho pequenos e compreensíveis.

Na prática, a decomposição do trabalho do projeto em níveis menores e mais facilmente gerenciáveis gera uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP), também conhecida pela expressão inglesa, “*Work Breakdown Structure*” (WBS) ou “estrutura de decomposição do trabalho”. A EAP organiza o escopo total do projeto originando uma lista ou um diagrama em formato de árvore como o ilustrado na Figura 2. Segundo Nocêra (2016), esse conceito foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA e pela NASA por volta de 1960 e tem sido considerado um dos principais componentes do gerenciamento de projetos desde então.

Figura 2 - EAP modelo de decomposição para residência em estrutura metálica.



Fonte: Adaptado de Pinho (2005)

b) DEFINIÇÃO DAS DURAÇÕES

Mattos (2010, pág 73) cita que:

“Definir a duração de uma tarefa é uma atividade de grande valor, pois constitui o prazo em função do qual o cronograma será gerado. Ela é, portanto, uma das responsáveis pela obtenção do prazo geral da obra e dos marcos intermediários. Durações mal atribuídas podem corromper totalmente o planejamento, distorcendo-o e tornando-o inexecutável ou sem utilidade prática para quem irá gerenciar a obra”

De acordo com Mattos (2010) o planejador deve avaliar as durações uma a uma, adotar o dia normal e só se utilizar de horas extras em último caso; não pensar no prazo total da obra e contar apenas com os dias trabalhados, excluindo folgas. A experiência da equipe, o grau de conhecimento do serviço e o apoio logístico são fatores que afetam diretamente a duração de uma atividade.

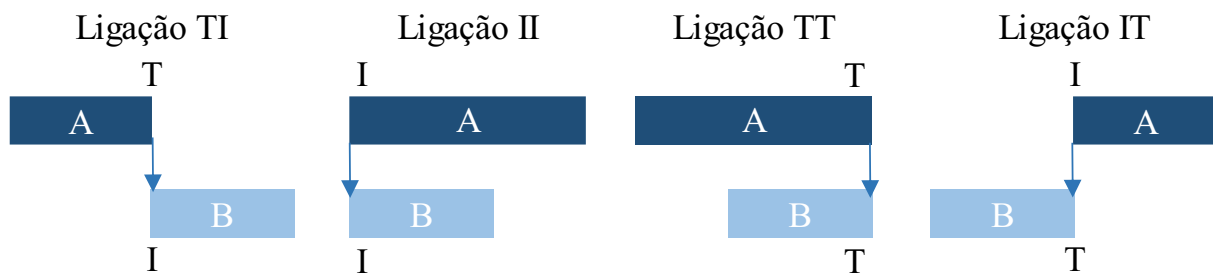
O tamanho da equipe utilizada para uma atividade é inversamente proporcional a sua duração. Tomando como exemplo uma atividade imaginária que seja composta por 320 horas de pedreiro, considerando uma jornada diária de 8 horas, podem significar uma equipe de 4 pedreiros trabalhando 10 dias cada um, ou 8 pedreiros trabalhando 5 dias, ou ainda 10 pedreiros trabalhando por 4 dias. O trabalho permanece constante, já a duração é alterada. O que acontece é que se aumentando o número de recursos (equipe), a quantidade de tempo diminui.

c) DEFINIÇÃO DAS PRECEDÊNCIAS

Mattos (2010) define precedência como a sequência lógica das atividades do projeto. Identificadas as atividades, passa-se a determinar a relação entre elas, isto é, a amarrá-las umas às outras, e definir a precedência. Mesmo que várias atividades possam ocorrer simultaneamente, relações de interdependência devem ser estabelecidas, produzindo uma malha que ilustre tais relações (LIMMER, 1997).

Diversos tipos de dependências podem ser encontrados na prática do planejamento. Na Figura 3 são ilustrados quatro tipos de ligações existentes entre as atividades, sendo elas as ligações TI (término-início), II (início-início), TT (término-término), IT (início-término).

Figura 3 - Tipos de ligações entre atividades



Fonte: Adaptado de Mattos (2010).

d) MONTAGEM DO DIAGRAMA DE REDE

Uma representação gráfica das atividades, que leva em consideração a dependência entre elas, é o diagrama de rede. Nesta etapa do planejamento é feita a transformação das informações duração e precedência em um diagrama, uma malha de flechas ou blocos (MATTOS, 2010).

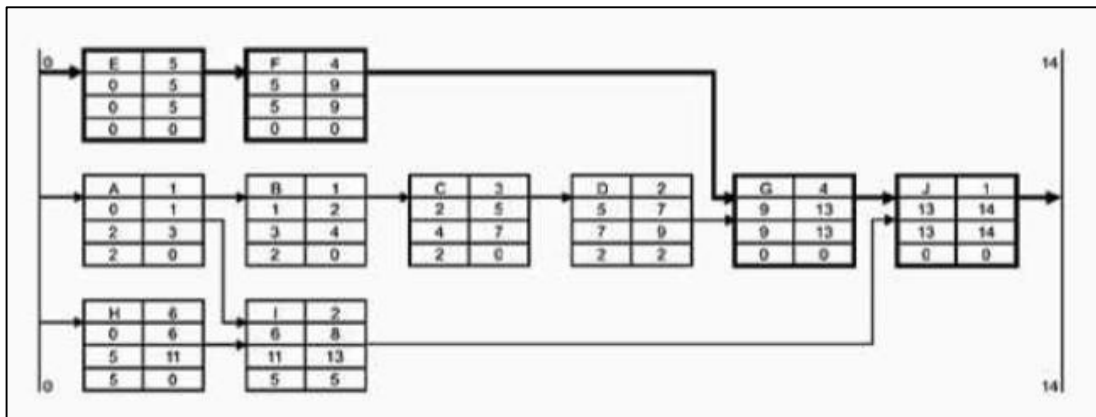
No desenvolvimento dos diagramas de flechas ou de blocos são utilizadas técnicas já consagradas no campo da gestão de projetos. As técnicas denominadas “*Program Evaluation and Review Technique*” (PERT) e “*Critical Path Method*” (CPM) foram independentemente desenvolvidas para o planejamento e controle de projetos. De acordo com Malcolm (1959) a técnica “PERT” foi desenvolvida pela marinha americana no final da década de 50. Já a técnica “CPM”, de acordo com Kelley (1959) surgiu com a parceria de empresas privadas nos Estados

Unidos no ano de 1956. A grande semelhança entre estas técnicas fez com que o termo PERT/CPM seja utilizado corriqueiramente como apenas uma única técnica.

No método das flechas, cada atividade é representada por uma flecha que parte de um evento e termina em outro sendo os eventos representados pelos números múltiplos de 5 e as atividades representadas por letras.

Já no método dos blocos, ou “*Precedence Diagram Method*” (PDM), cada atividade é representada em um bloco como ilustrado pela Figura 4. As atividades são unidas entre si por setas que representam a ligação entre as atividades. O comprimento das flechas não tem nenhum significado. No método dos blocos não há o conceito de evento, que é fundamental no método das flechas. A composição dos blocos está ilustrada na Figura 5.

Figura 4 - Exemplo de diagrama de blocos – completo



Fonte: Mattos (2010)

Figura 5 - Composição do bloco

ID	D	ID = Identificação D = Duração
PDI	PDT	PDI = Primeira data de início PDT = Primeira data de término
UDI	UDT	UDI = Última data de início UDT = Última data de término
FT	FL	FT = Folga total FL = Folga livre

Fonte: Adaptado de Mattos (2010).

e) IDENTIFICAÇÃO DO CAMINHO CRÍTICO

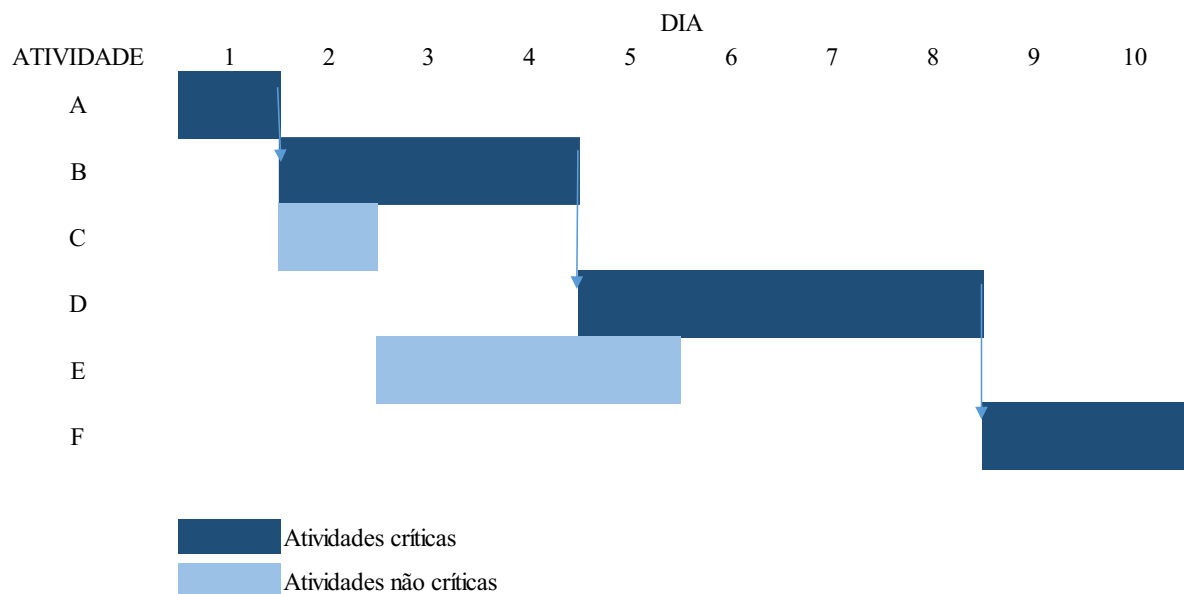
Considerando o fator tempo, o caminho crítico é a sequência de atividades mais importantes do projeto. Ele é composto pelas tarefas que definem a duração total do planejamento. A conclusão do projeto pode ser afetada pelo atraso de qualquer atividade crítica (MATTOS, 2010).

Ainda segundo Mattos (2010, pág.153)

“Uma conclusão importante que decorre é a de que o caminho crítico é justamente a sequência que une os eventos cujos “Tempos Mais Cedo” e “Mais Tarde” são iguais. Portanto, sendo cedo igual à tarde, o evento não tem flexibilidade temporal (folga) e se não for atingido exatamente naquele instante, atrasará o projeto todo.”

Pode-se resumir o caminho crítico como sendo o conjunto das atividades críticas, o caminho mais longo do início ao fim do projeto e o caminho em que qualquer atraso acarreta imediatamente um atraso no prazo total da obra. A Figura 6 exemplifica um caminho crítico no gráfico de Gantt, representado por barras com cores em destaque.

Figura 6 - Exemplo de caminho crítico no cronograma



Fonte: Autoria Própria

f) GERAÇÃO DOS CRONOGRAMAS E TIPOS DE FOLGAS

De acordo com Mattos (2010), o recurso gráfico chamado “cronograma de Gantt”, desenvolvido pelo engenheiro norte americano Henry Gantt no início do século XX, facilita a visualização das atividades com suas datas de início e fim.

No eixo das ordenadas do cronograma de Gantt estão presentes as atividades do projeto, já no centro do cronograma estão as suas respectivas barras desenhadas em uma escala de tempo previamente definida. As durações totais das atividades são representadas no comprimento das barras. (LIMMER, 1997).

No cronograma de Gantt o caminho crítico do projeto exibe cores diferentes e mais chamativas. Já se sabe também que as atividades não críticas possuem alguma margem de tempo que lhes garante determinada flexibilidade. Essa margem flexível é chamada de folga.

De acordo com Mattos (2010) existem quatro principais tipos de folgas, sendo elas a folga total, a folga livre, a folga independente e a folga dependente. Se a folga total for ultrapassada, o projeto atrasa. Se a folga livre for ultrapassada, as sucessoras atrasam. Se a folga independente atrasar, a sucessora não iniciará no seu tempo mais cedo. Já se a folga dependente atrasar o termino mais tarde da predecessora, atrasa por consequência o início da sucessora.

2.2 “BUILDING INFORMATION MODELLING” (BIM)

2.2.1 BIM – DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

De acordo com Eastman (2011), o BIM pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar a construção de modelos. Modelos de construção são caracterizados por:

- Componentes construtivos ilustrados como representações digitais (objetos) que carregam atributos de dados e gráficos computáveis, identificando-os para aplicações de *software*, bem como para regras paramétricas que permitem que eles sejam manipulados de maneira inteligente;

- Componentes que incluem dados e descrevem como eles se comportam, o que é necessário para análises e processos de trabalho. Podem ser citados como exemplo a quantificação, especificação de materiais e análise energética;
- Dados consistentes e não redundantes, de tal forma que as alterações nos dados do componente são representados em todas as visualizações e conjuntos dos quais faz parte;
- Dados coordenados, de modo que todas as vistas de um modelo sejam representadas de forma coordenada.

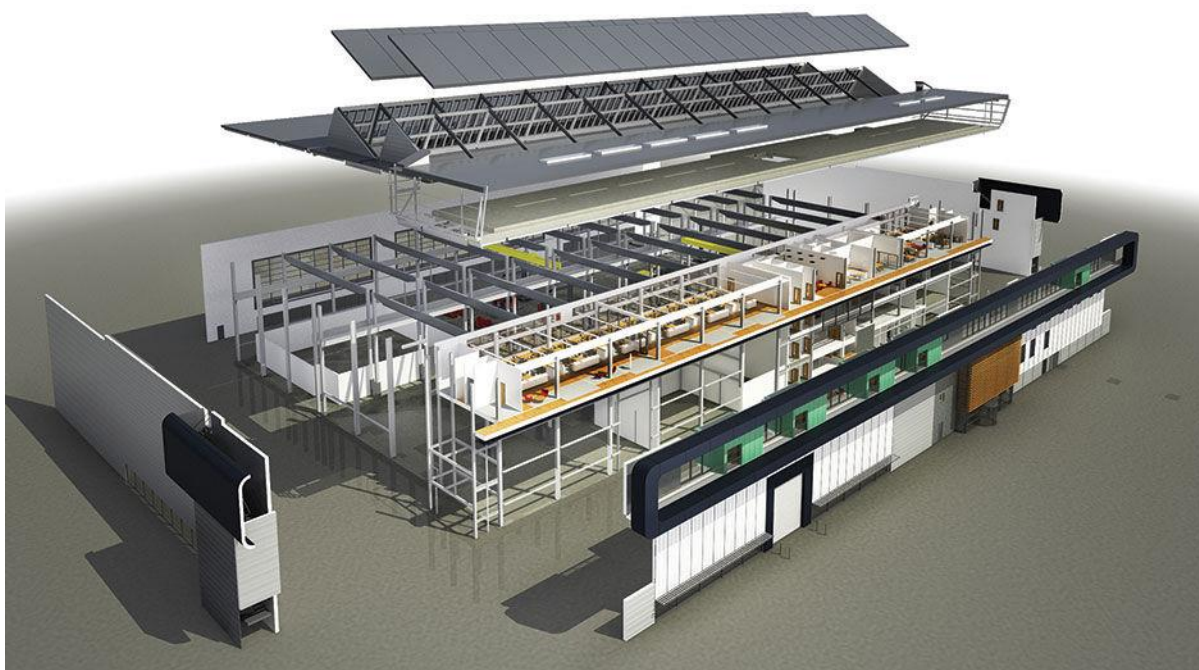
O BIM é a representação digital das características físicas e funcionais de um componente de construção que incorpora “conhecimento” e “informação”. O BIM pode ser considerado como uma nova tecnologia ou uma nova técnica baseada na automação da estrutura das instalações, sequenciamento, estimativa de custos, gerenciamento e avaliação do ciclo de vida (MUBARAK, 2015).

Modelos inteligentes 3D são criados, e todos os componentes dos projetos, arquitetônicos, estruturais, elétricos e mecânicos são codificados, incluindo informação anexada a cada objeto. Durante a codificação, todas as informações sobre os componentes (ou seja, material, trabalho, códigos de equipamentos) são definidos no contexto de objetos e são utilizados para extrair quantitativos e estimar os custos do projeto. Assim, com o uso do BIM, modelos de construção 4D e 5D ricos em detalhes podem ser criados, o planejamento e o custo do projeto podem ser incorporados nos modelos 3D da construção.

Para uma melhor compreensão sobre a importância desta ferramenta, pode-se verificar como está definido pelo *National Institute of Building Sciences* (NIBS, 2009), "Um modelo BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Como tal, serve como um conhecimento compartilhado de recursos para obter informações sobre uma instalação formando uma base sólida para as decisões desde o início do seu ciclo de vida em diante."

A Figura 7 exemplifica um modelo BIM incluindo os vários elementos de uma edificação.

Figura 7 - Modelo BIM



Fonte: Mubarak (2015)

2.2.2 DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

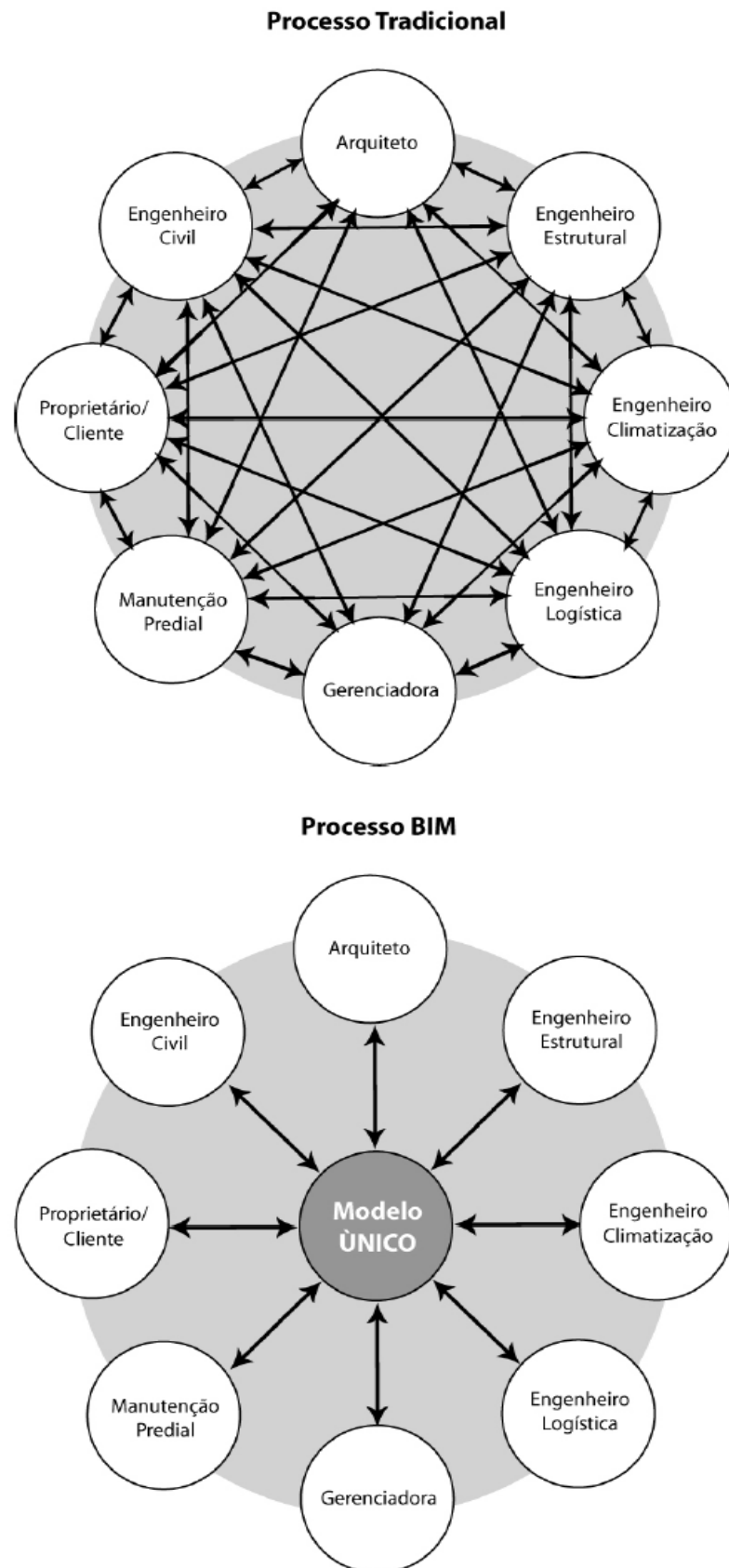
Para o desenvolvimento de modelos BIM em empresas, é exigido tempo para treinamento dos funcionários, assim como para a customização e criação de banco de dados próprios que supram as necessidades da equipe. Enquanto em algumas construtoras estimulam que os seus projetistas elaborem todos os projetos em BIM, integrando os diversos projetos entre si, outras construtoras ainda recebem os projetos em CAD e efetuam a modelagem somente em pontos críticos para detectar possíveis incompatibilidades (ROCHA, 2011).

Por questões comerciais, algumas empresas desenvolvedoras de programas não possibilitam a exportação de projetos para um formato que possa ser utilizado em diversos *softwares*. Por este motivo, os projetistas ficam presos a uma única família de programas, que nem sempre atendem às suas necessidades. Para resolver esse problema, surgiu o formato IFC (*Industry Foundation Classes*) padronizado pela ISO 16.739, para exportação de modelos. O IFC é para o BIM o que o DWG é para o CAD (ROCHA, 2011).

Em relação ao preço, de acordo com Manzione (2014), as licenças dos *softwares* podem chegar próximo a 25 mil reais, dependendo da quantidade de colaboradores. Com esse volume de informações, os computadores demandam capacidade de processamento muito maior, o que pode encarecer ainda mais o processo.

Na Figura 8, foram apresentados dois modelos que representam uma comparação entre o processo tradicional do desenvolvimento de projetos de construção e o processo BIM. Observa-se que no processo tradicional de projeto a comunicação e a troca de arquivos acontece em diversas frentes. Já no processo BIM, tudo se resume em um modelo único.

Figura 8 - Processo BIM como contraponto ao processo tradicional de projeto



Fonte: Revista Construção Mercado (2011)

2.2.3 FERRAMENTAS BIM PARA PLANEJAMENTO

Dentro do contexto de planejamento, a quarta e a quinta dimensão da modelagem BIM possuem ferramentas úteis ao planejamento e gerenciamento físico-financeiro do empreendimento. A quarta dimensão, conforme explica Mattos (2010), traz informações referentes ao cronograma de execução do empreendimento apresentando alternativas ao planejamento e controle da produção. Por outro lado, a 5D contém ferramentas as quais automatizam os processos de orçamentação e análise de custos da obra. Rocha (2011), na Figura 9, ilustra a obtenção dos dados para planejamento a partir de um modelo em três dimensões, o qual é a base para toda a modelagem BIM.

Figura 9 - Obtenção do modelo 4D de gestão e planejamento e 5D dos custos através do modelo 3D.



Fonte: Adaptado de Rocha, 2011

Segundo Monteiro e Martins (2011), uma das vias de desenvolvimento nas ferramentas BIM é a introdução da dimensão tempo nos seus modelos. Esta dimensão torna possível um planejamento de atividades integrado ao modelo. Através da integração deste tipo de funcionalidade num modelo tridimensional BIM, surge o BIM 4D.

No âmbito da gestão, planejamento e acompanhamento de obras, assim como no gerenciamento dos projetos, a aplicabilidade das tecnologias BIM influenciam diretamente nos aspectos destacados abaixo:

- Detecção de erros e omissões de projeto;
- Obtenção automática de listas de quantidades e estimativa de custo;
- Análise e planejamento da construção;
- Suporte adicional integrado na gestão da construção;

- Auxílio no uso de elementos pré-fabricados;
- Verificação e acompanhamento das atividades da construção.

De acordo com Antunes (2013), os diagramas de barras e diagramas de rede, usualmente utilizados no planejamento e controle da produção, não relacionam diretamente a configuração espacial do projeto com as atividades, nem vinculam essas atividades com o modelo. Deste modo, apenas algumas pessoas totalmente familiarizadas com o projeto e com o modo de como será construído podem avaliar se o planejamento realizado é exequível e plausível. As associações temporais tornam certas antecipações possíveis, pois, aliadas ao modelo 3D, exportam dados do sequenciamento de execução das atividades gerando uma visualização interligada do planejamento da construção.

A Figura 10 torna visual o conceito abordado acima, pois traz uma imagem gerada por um programa que utiliza a plataforma BIM especificamente com ferramentas de gestão 4D. A parte superior da imagem traz o modelo 3D o qual recebeu informações do usuário sobre a ordem correta de execução de cada elemento possibilitando a criação automática da planilha correspondente ao planejamento e controle da produção mostrada na parte inferior.

Figura 10 - Associação do modelo 3D à sequência temporal das atividades da construção



Fonte: Antunes (2013)

Essas simulações e associações geradas pelas ferramentas 4D dos programas de gestão da construção trazem inúmeras vantagens aos usuários utilitários da plataforma, pois abre mão de um planejamento limitado a informações físicas sobre o empreendimento, contido somente em planilhas de gestão, em detrimento de um planejamento visual da obra fazendo uso da geração automática das planilhas de dados à medida que o projeto ou as atividades são alteradas, consequentemente, reduzindo as falhas no planejamento físico das atividades.

À medida que a execução do projeto vai sendo simulada, interferências advindas da falta de compatibilização entre diferentes projetos, ou mesmo de falhas, como, diferenças entre dimensões de projeto e execução, ou falta de planejamento da execução de estruturas temporárias como tapumes vão aparecendo antes do início da obra.

2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS

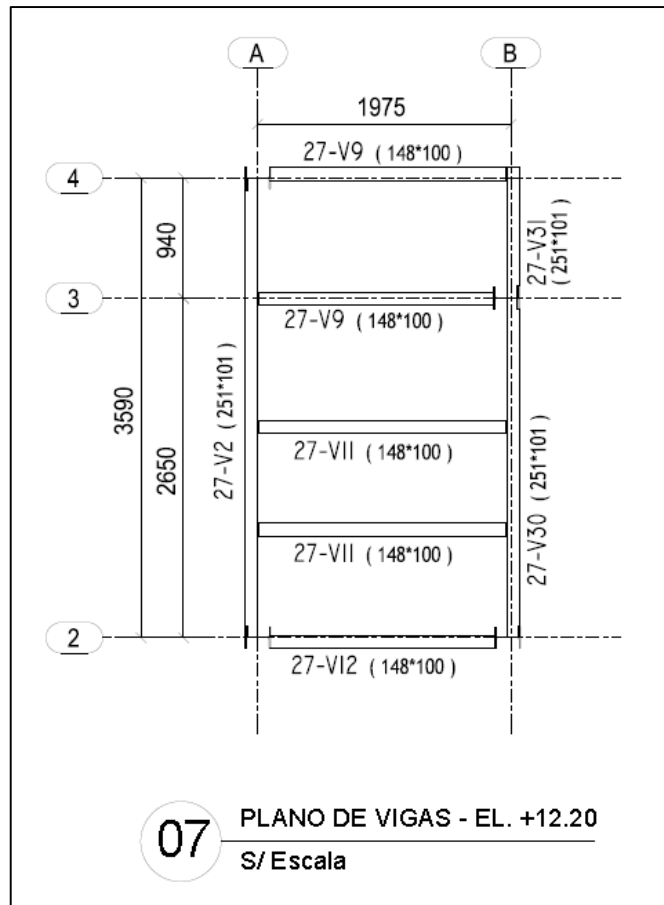
2.3.1 PLANEJAMENTO DE MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS

A construção metálica é em geral considerada como uma modalidade mais industrializada dentre as diversas modalidades e técnicas utilizadas no setor. As peças são produzidas com finalidades pré-estabelecidas, na maioria das vezes, fora do canteiro de obras em um local destinado à fabricação dos elementos. Isto torna possível que cada peça possua um lugar específico na estrutura. Diagramas de montagem têm como principal função indicar a posição de cada peça para a equipe de campo (PINHO, 2005). A Figura 11 ilustra parte de um diagrama de montagem.

Almeida (2009) cita que:

“A montagem de estruturas metálicas necessita de um planejamento detalhado, com a sequência pré-estabelecida, permitindo economizar homens-hora e ao mesmo tempo manter a estabilidade do conjunto em todas as fases. As pré-montagens de seções no solo devem ser as maiores possíveis, dentro da capacidade dos guindastes. ”

Figura 11 - Exemplo de diagrama de montagem



Fonte: Autoria Própria

A pré-montagem, ou a união de peças treliçadas, mãos francesas, vigas soldadas, dentre outras, deve sempre ser utilizada para que seja simplificada a montagem em campo. Esta pré-montagem forma uma peça única que será içada de uma só vez ao local definitivo (FERNANDES, 2013). A definição do melhor processo de montagem é realizada com diversos estudos, considerando os equipamentos, acesso a obra, prazos, viabilidade e economia.

Fernandes (2013) diz que a etapa de montagem do empreendimento requer um planejamento específico próprio para que os trabalhos sejam executados dentro do prazo e padrão, garantindo uma sequência organizada. O autor ressalta que cada galpão metálico tem um “layout” diferente e, portanto, tem particularidades específicas. Além disso, são executadas sob diferentes condições climáticas e podem ser executados em locais insalubres ou perigosos. Nestas condições, pode-se concluir que é uma atividade de risco e requer mais precisão e flexibilidade por parte do planejamento.

O Quadro 2 apresenta índices de montagem para diversas estruturas metálicas.

Quadro 2 - Índices de montagem

ESTRUTURA	Índice de montagem
	[Hh/t]
Estrutura pesada (peso/área ≥ 70 kg/m²)	30
Estrutura média (peso/área entre 40 e 70 kg/m²)	50
Estrutura leve (peso/área ≤ 40 kg/m²)	70
Chapas de piso	50
Chaparia	60
Escadas	160
Estruturas de cobertura de galpões	80
Passarelas	70
Plataforma de sustentação de equipamentos pesados	40
Plataformas de sustentação de equipamentos leves	80
Treliças	100

Fonte: adaptado de Fernandes (2013)

Para o cálculo das durações das atividades presentes na EAP, Pinho (2005, pág. 125) cita que:

“A melhor maneira de se aferir a produção da equipe será conferindo a quantidade de estruturas montadas num período de tempo. A quantidade de estruturas montadas por esta equipe básica durante um período de tempo pode ser expressa numericamente em toneladas, por exemplo.




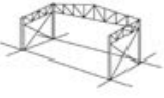




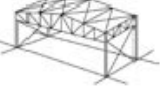




A adoção de um Hh/t médio para toda a obra é adequado para se estimar sua duração total, mas resultaria em distorções para o cálculo de cada atividade distinta. Portanto, o mais correto será a adoção de uma produtividade para cada atividade ou tipo de peça.”

A primeira premissa básica de definição da sequência de montagem de um edifício em estrutura metálica é em função do apoio de cada peça (primeiro colunas, depois vigas, etc.). A segunda premissa é que as peças já montadas não devam obstruir a montagem das peças subsequentes, seja criando um bloqueio entre o local previsto em projeto e o solo ou interferência na lança do guindaste. A última premissa prevê que o pessoal de montagem deva ter um caminho seguro entre o ponto de ligação e a estrutura. Logo, a sequência lógica para a montagem é, segundo Pinho (2005):

- Montagem de algumas colunas do núcleo de contraventamento;
- Montagem das vigas principais que interligam as colunas entre si;
- Montagem das estruturas de contraventamento das colunas;
- Montagem das vigas secundárias;
- Verificação do prumo, alinhamento e esquadro;
- Torque das ligações parafusadas;
- Solda das ligações soldadas;
- Seguir com a montagem a partir do núcleo já montado.

Pinho (2005) aponta que, para a montagem de galpões metálicos, parte dos elementos dependem de outros para permanecerem estáveis. Por exemplo, algumas tesouras da cobertura são instáveis se apoiadas sobre as colunas sem um travamento adequado. Uma sugestão deste sequenciamento é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Sequência de montagem em galpões metálicos

ETAPAS	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
1	Montagem das colunas do vão de contraventamento	
2	Montagem dos contraventamentos verticais	
3	Montagem das vigas de beiral e de tapamento de interligação entre as colunas	
4	Montagem da viga de pórtico entre as colunas do primeiro eixo	
5	Estaiamento do pórtico	
6	Montagem da segunda viga de pórtico	
7	Interligação do primeiro e do segundo pórticos com as terças de cobertura	
8	Montagem dos contraventamentos do plano da cobertura	
9	Remoção dos estais; Montagem dos demais eixos repetindo a sequência das etapas seguintes	
10	Montagem das colunas vizinhas ao vão de contraventamento	
11	Montagem das vigas de beiral e de tapamento de interligação entre as colunas	
12	Montagem da viga de pórtico entre as colunas	
13	Interligação do núcleo contraventado com o novo pórtico montando as terças de cobertura	

Fonte: adaptado de Pinho (2005)

2.3.2 PLANO DE RIGGER DAS ESTRUTURAS

Um dos pontos de maior importância a ser considerado na montagem de estruturas metálicas, é o que diz respeito as operações de levantamento e movimentação das cargas, algo que demanda planejamento pois têm altos custos e riscos de acidentes. Um planejamento de transporte e levantamento de cargas bem feito, pode reduzir consideravelmente o tempo de montagem e conseqüentemente o custo com equipamentos nesta etapa da obra (FERNANDES, 2013).

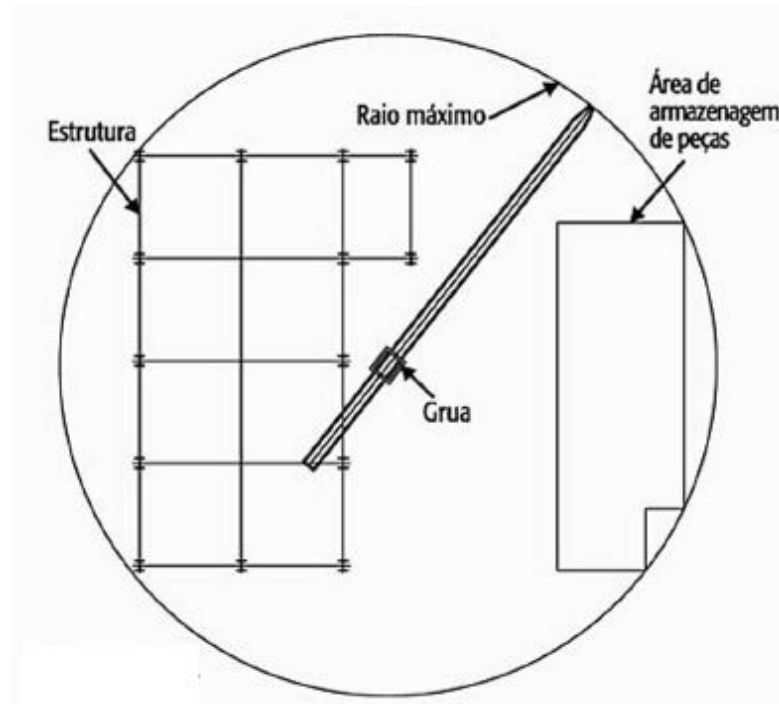
O plano de Rigger define o equipamento a ser utilizado na montagem e o seu posicionamento no canteiro. Segundo Fernandes (2013), a definição da posição da máquina influencia também em:

- Deslocamento de peças ou equipamentos, permitindo acesso e recebimento de novas estruturas;
- Posicionamento das peças a montar mais próximo do local de içamento, mas sem quebrar a sequência de montagem;
- Seleção de equipamentos de movimentação para auxiliar na logística.

Segundo Almeida (2009) as equipes de “rigging” são responsáveis pelas atividades de transporte e içamento de cargas, equipe composta por profissionais treinados e qualificados para execução da tarefa. O plano de “rigging” deve ser elaborado por um profissional qualificado, conhecido como “Rigger”. Ele, estuda as movimentações de carga, desenvolve projetos e coordena as operações de movimentação.

Cada equipamento de içamento tem uma capacidade de cargas e uma área de alcance máximo. Peças a serem içadas devem ficar armazenadas na área delimitada pela capacidade do equipamento. Plantas prévias de situação do terreno assim como um estudo sobre as logísticas do canteiro de obras, são de grande importância para uma análise segura da operação (BELLEI, 2014). A Figura 12 ilustra a área de atuação de uma grua, assim como indica a área de armazenagem das peças.

Figura 12 - Área indicada para armazenagem de peças



Fonte: Bellei (2014)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritos os materiais e métodos utilizados neste trabalho acadêmico.

3.1 MATERIAIS

a) Softwares: A elaboração deste trabalho contou com a utilização de *softwares* compatíveis com a tecnologia BIM 4D, sendo eles:

- **Tekla Structures**: *Software* utilizado pela empresa fornecedora dos dados. O programa é utilizado na fase de modelagem e detalhamento de fabricação das estruturas metálicas, podendo ser utilizado também para a elaboração de projetos em concreto armado ou de instalações;
- **Autodesk Revit 2018**: *Software* utilizado para efetuar modificações nos modelos IFC gerados pelo “Tekla Structures”, preparando toda a logística do canteiro de obras e separando as peças em grupos de montagem diária para importação direta ao Navisworks;
- **Autodesk Navisworks 2018**: O *software* apresenta todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento do atual trabalho, tais como simulação 4D, possibilidade de criar sets de seleções, importar e exportar modelos em diversos formatos, possibilidade de importar/exportar cronogramas e conectá-los ao modelo, além de exportar listas de quantitativos. Outro ponto importante foi a disponibilidade de licenças gratuitas para estudantes;

b) Informações da obra executada: As informações obtidas por meio de dados da empresa, sediada na cidade de Queimadas - PB juntamente com toda a fundamentação teórica necessária, auxiliarão na elaboração do planejamento BIM 4D. As informações fornecidas foram:

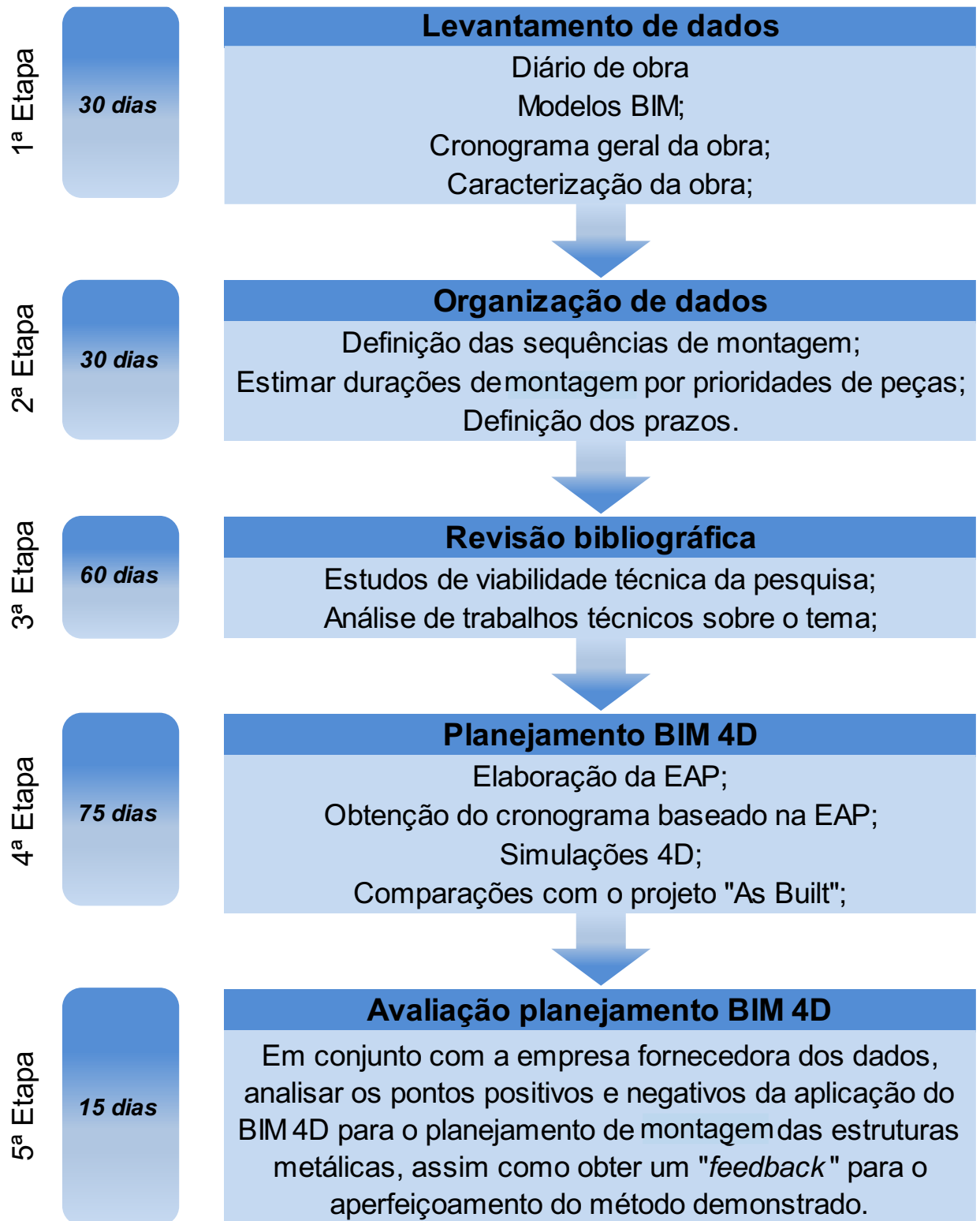
- Diários de obra;
- Modelos 3D paramétricos (arquivos no formato IFC);
- Relatório de montagem externa;
- Cronograma geral da obra.
- Fotografias do andamento da obra.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 ROTEIRO DA PESQUISA

Este trabalho está dividido em 5 etapas ilustradas no Quadro 4.

Quadro 4 - Roteiro da pesquisa



Fonte: Autoria Própria

Optou-se por não informar o nome da empresa neste trabalho para preservar a sua integridade técnica e moral.

A primeira etapa, envolveu o levantamento de todos os dados descritos sobre a etapa de montagem juntamente com a empresa responsável, tanto pela fabricação quanto pela montagem da estrutura.

Já na segunda etapa foram analisados dados de cada uma das fontes. Cada “registro diário de obra” e os documentos de planejamento da montagem feitos pelo responsável técnico, assim como as fotografias de acompanhamento tiradas pelo engenheiro residente, o que teve uma grande serventia na elaboração da ordem cronológica em que a simulação ocorreria.

A terceira etapa apresentou um estudo geral sobre técnicas de planejamento e gestão de obras, as técnicas e práticas usuais de montagens em estruturas metálicas, assim como um estudo mais aprofundado sobre as aplicações do BIM 4D.

Na quarta etapa, toda a EAP foi elaborada com base nos níveis de prioridades das peças a serem montadas e as suas durações, as quais foram obtidas tirando uma média da quantidade de peças montadas em um dia produtivo, descrito nos “RDO’s”. A seguir simulou-se a real execução da obra utilizando o *software* Autodesk Navisworks Manage 2018. A compilação destes documentos proporcionou uma visualização e sistematização da sequência de montagem real da obra dentro do *software*. Esta visualização proporcionou a completa compreensão da sequência de montagem da obra.

Na quinta etapa do processo, foi preparada uma apresentação para representantes da empresa, em que foi discutido sobre as metodologias utilizadas e sobre os resultados obtidos com o comparativo da simulação BIM 4D e o modelo “*As Built*”, obtendo-se assim um “*feedback*” para que o método possa ser aperfeiçoado.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

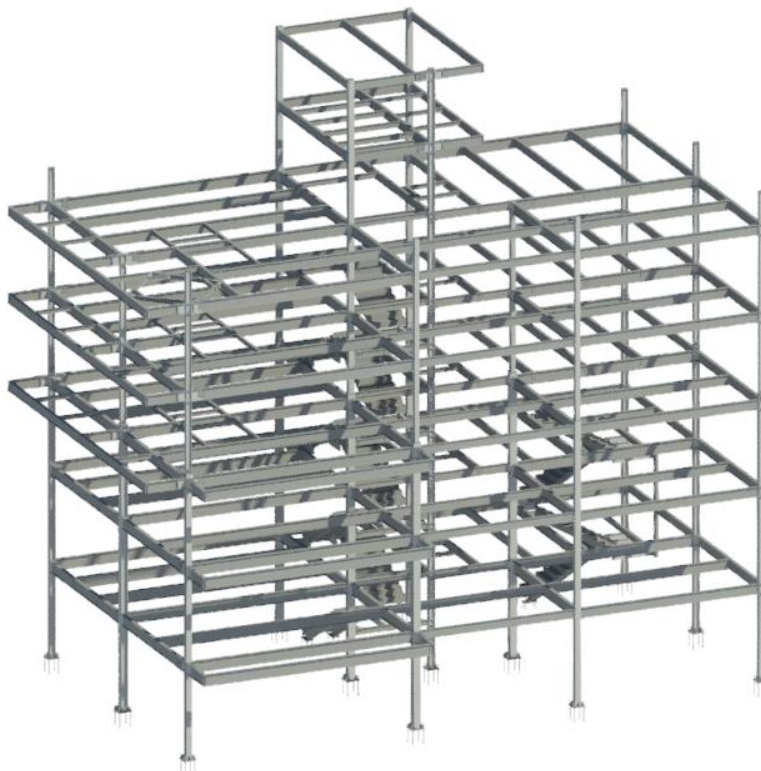
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A estrutura metálica cujos dados foram cedidos pela empresa sediada em Queimadas – PB, responsável pela fabricação e montagem, foi a de um prédio empresarial localizado em Garanhuns – PE. Algumas das características da estrutura, são:

- Área total – 1.420 m²;
- Peso total – 58,4 toneladas;
- Quantidade de peças metálicas (vigas, pilares e etc) – 420 peças;
- Vãos – A obra é composta por modulação em vigas de até 7 metros.

A partir do arquivo IFC disponibilizado pela equipe de engenharia da empresa (ilustrado na Figura 13), foi possível ter uma visualização mais clara da estrutura e de todas as peças que a compõe.

Figura 13 - Modelo eletrônico da estrutura metálica montada.



Fonte: Autoria Própria

4.2 PLANEJAMENTO BIM 4D

4.2.1 LEVANTAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A empresa cedeu diversas fontes de informação sobre a estrutura e os entornos de montagem desta obra. Para o desenvolvimento da simulação, as informações mais importantes foram os Registros Diários de Obra (RDO), fotografias de montagem e o arquivo IFC da estrutura.

Nos RDO's (exemplo presente no Anexo I), eram registradas informações como data, condição atmosférica, quantidade de funcionários, equipamentos locados, registro de acidentes ocasionais, itens montados na respectiva data e observações gerais do que ocorreu durante o dia produtivo.

As Figuras 14, 15 e 16, representam algumas das fotografias tiradas pela engenheira responsável para um melhor acompanhamento do setor de projetos da empresa.

Figura 15 - Foto da montagem no dia 26/02/18



Fonte: Autorial Própria

Figura 14 - Foto da montagem no dia 02/03/18



Fonte: Autorial Própria

Figura 16 - Foto da montagem no dia 13/03/18



Fonte: Autorial Própria

4.2.2 ELABORAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE MONTAGEM BIM 4D

O planejamento da montagem deste trabalho seguiu recomendações do roteiro proposto por Bellei (2014) no livro “Edifícios de múltiplos andares em aço” e em experiências próprias.

Como apresenta a Figura 17, foram criadas dezenove fases do projeto de montagem sendo as vigas, material de maior quantidade e maior influência na montagem, divididas em 6 prioridades. Isto se torna necessário para o agrupamento das peças desde a fabricação até o transporte das mesmas e obedece a uma sequência lógica de montagem, evitando assim o acúmulo de peças inutilizadas em um canteiro reduzido e facilitando a divisão das peças na elaboração da simulação 4D.

Figura 17 - Fases de montagem.

PASSADO	
Nome	Descrição
1 Início	Local de Início da Obra
2 Logística	Preparo do Canteiro de Obras
3 1/2 Pilares 1º Prioridade	Montagem inicial dos pilares de 1º Prioridade
4 2/2 Pilares 1º Prioridade	Montagem final dos pilares de 1º Prioridade
5 1/2 Vigas 1º Prioridade	Montagem inicial de Vigas principais de 1º Prioridade
6 2/2 Vigas 1º Prioridade	Montagem final de Vigas principais de 1º Prioridade
7 1/2 Vigas 2º Prioridade	Montagem inicial de Vigas principais de 2º Prioridade
8 2/2 Vigas 2º Prioridade	Montagem final de Vigas principais de 2º Prioridade
9 1/2 Pilares 2º Prioridade	Montagem inicial dos pilares de 2º Prioridade
10 2/2 Pilares 2º Prioridade	Montagem final dos pilares de 2º Prioridade
11 1/2 Vigas 3º Prioridade	Montagem inicial das vigas de 3º Prioridade
12 2/2 Vigas 3º Prioridade	Montagem final das vigas de 3º Prioridade
13 1/2 Vigas 4º Prioridade	Montagem inicial das vigas de 4º Prioridade
14 2/2 Vigas 4º Prioridade	Montagem final das vigas de 4º Prioridade
15 1/2 Vigas 5º Prioridade	Montagem inicial das vigas de 5º Prioridade
16 2/2 Vigas 5º Prioridade e Escada	Montagem final das vigas de 5º Prioridade e escadas
17 1/3 Vigas 6º Prioridade	Montagem inicial das vigas de 6º Prioridade
18 2/3 Vigas 6º Prioridade	Montagem intermediária das vigas de 6º Prioridade
19 3/3 Vigas 6º Prioridade	Montagem final das vigas de 6º Prioridade

FUTURO

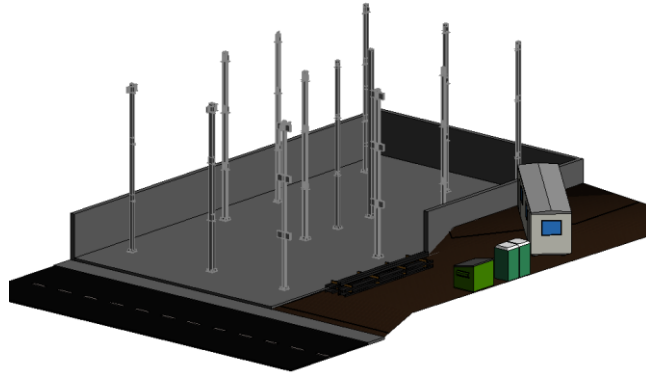
Fonte: Autoria Própria.

As peças foram separadas por prioridades de montagem, tendo, por exemplo, os pilares da cota +0,00 até +10,00 maior prioridade do que os pilares da cota +10,00 até +20,00, pois a montagem destes últimos teria uma relação de término-início com os primeiros, ou seja os

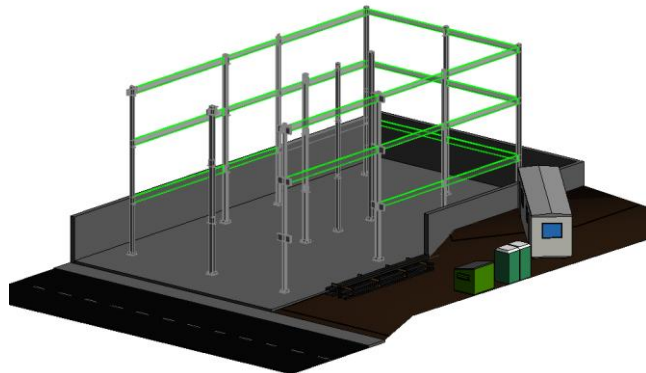
primeiros seriam predecessores dos últimos. Este raciocínio foi utilizado durante toda a elaboração da EAP. A Figura 18 ilustra algumas destas dependências.

Figura 18 - Relações de precedência na montagem

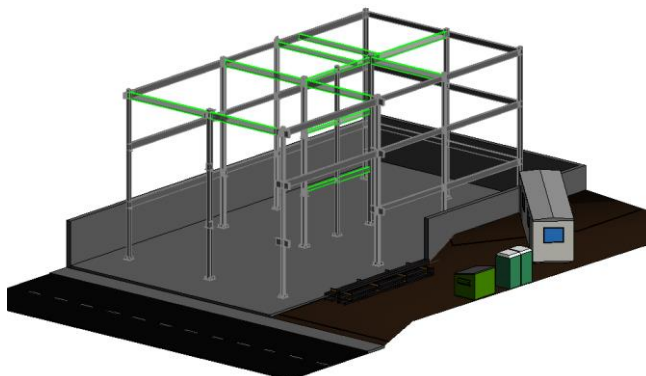
a) Pilares de 1º prioridade



b) Vigas de 1º prioridade



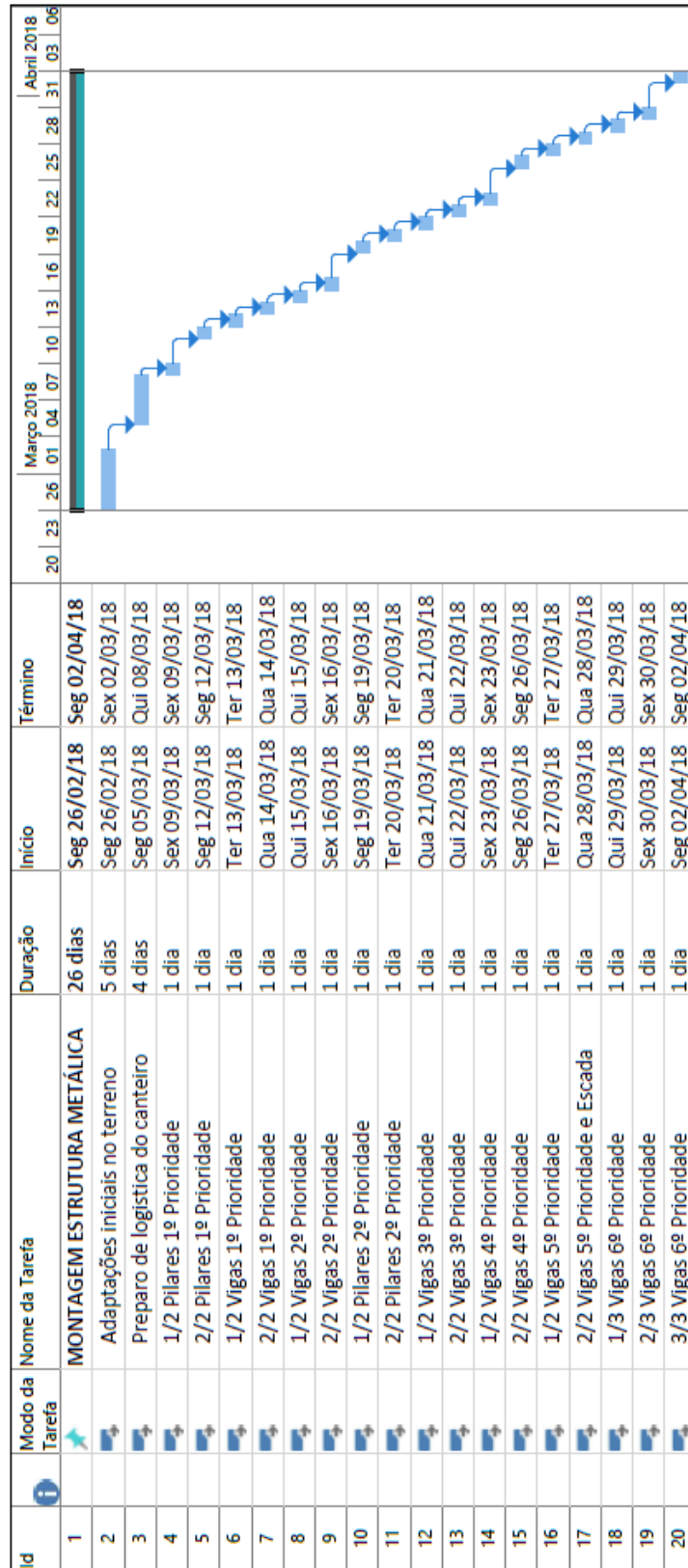
c) Vigas de 2º prioridade



Fonte: Autoria Própria

A “estrutura analítica do projeto” obtida pelo autor está descrita na Figura 19, juntamente com um gráfico de Gantt, cujo método de cálculo das durações será especificado mais adiante.

Figura 19 - EAP de montagem e cronograma de Gantt



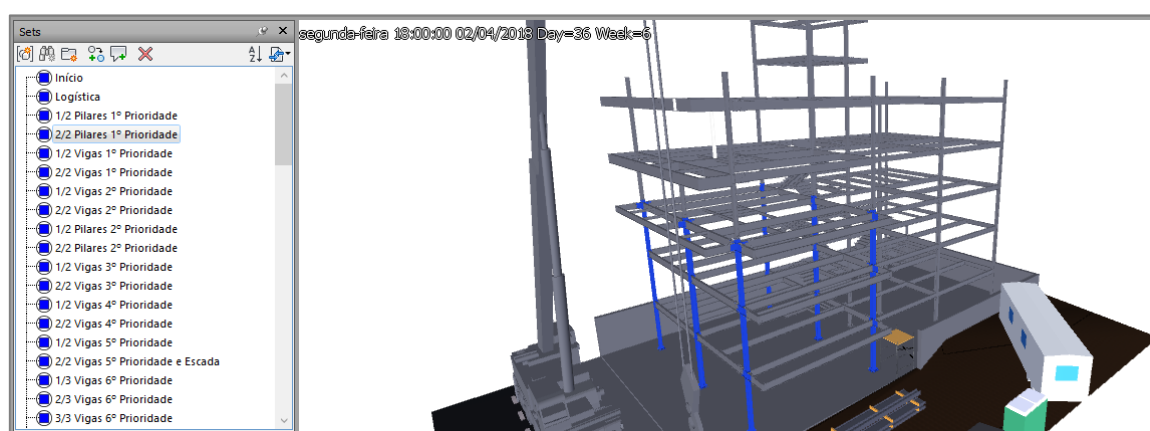
Fonte: Autoria Própria

Como ponto de partida para o plano de montagem pode-se quantificar a mão-de-obra necessária para cada atividade. A quantidade básica será expressa em Homem X Hora, (Hh), que expressa numericamente o consumo total de horas trabalhadas por todos os operários envolvidos na execução das atividades.

Por questões de simplificação do projeto a estimativa de duração das atividades foi feita com base em uma média produtiva pelo tempo total de operação e a quantidade total de peças a serem montadas, incluindo pilares, vigas e escadas.

Após a importação para o Autodesk Navisworks do arquivo preparado em Revit, assim como do planejamento elaborado no *software* Microsoft Project 2016, foi possível dar início ao processo de simulação da montagem, parte fundamental do BIM 4D. De início foi necessário criar uma série de “Sets” no Navisworks e associar a estes “sets” as fases da montagem desenvolvidas no Revit, as quais foram descritas na Figura 17. A cada “set” criado estão associadas algumas peças da estrutura que deverão obedecer a uma ordem de montagem pré-estabelecida, como ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Sets do “Navisworks”

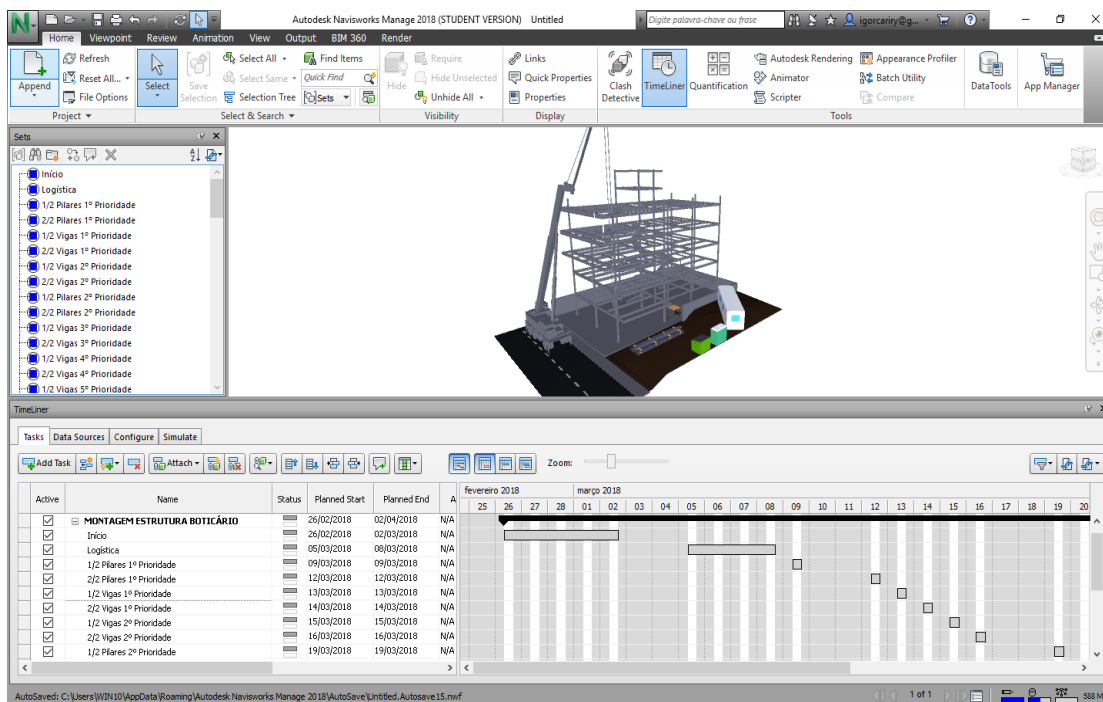


Fonte: Autoria Própria

O próximo passo foi ativar a função “*Timeliner*” no Navisworks e importar o planejamento elaborado no *Microsoft Project*. Após a organização dos “sets” de montagem foi criado um “*link*” entre estes e as atividades do planejamento importado. Foram mantidos sempre os mesmos nomes nas atividades e nos “sets” por conta de uma função do Navisworks em que ele automaticamente conecta estes dois, se os nomes forem iguais.

Na Figura 21 pode-se observar a tela completa do *software* Navisworks, constando os itens de “sets”, visualização 3D e “timeliner”, que inclui um gráfico de Gantt similar ao produzido no MS Project.

Figura 21 - Tela do “Navisworks” durante preparo da simulação



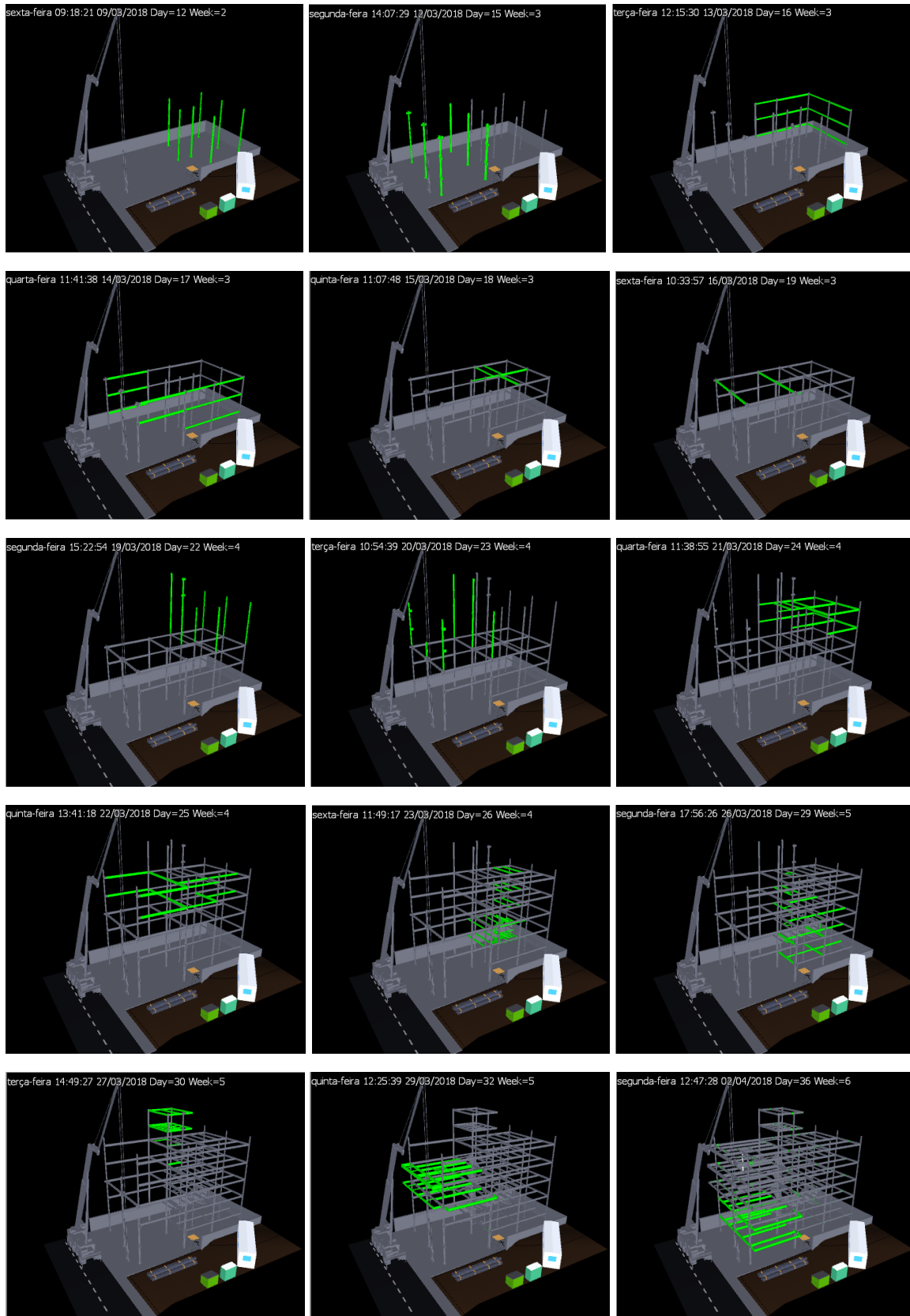
Fonte: Autoria Própria

Finalmente, simulou-se a real execução da obra, a fim de identificar potenciais falhas na fase de montagem e oportunidades de melhoria nos processos da empresa.

4.2.3 SIMULAÇÃO 4D

Como etapa final do planejamento BIM 4D, uma simulação da montagem da obra foi gerada. Essa simulação é resultado da conexão do modelo 3D paramétrico com o planejamento desta obra, o qual está retratado na sequência de imagens da Figura 22. Este planejamento é compreensível por qualquer pessoa, uma vez que há a possibilidade de visualização e percepção das relações entre atividades, o que não é evidente através de um diagrama de barras ou cronograma na forma de tabela. Diversas informações podem ser exibidas durante a simulação do planejamento, tais como data, dias de obra, semanas transcorridas, porcentagens das etapas e do projeto, etc.

Figura 22 - Simulação de montagem em BIM 4D



Fonte: Autoria Própria

A união da sequência de montagem com o modelo 3D paramétrico, gerou a visualização da sequência construtiva baseada nas informações da obra em BIM 4D. Esta união permitiu um melhor entendimento de como a obra foi executada, através da visualização dinâmica do modelo BIM 4D, cujas relações entre atividades ficaram mais claras. A sequência de imagens da Figura 22 demonstra apenas algumas das etapas na simulação do modelo BIM 4D.

Ao início do processo de simulação foram posicionados, de acordo com a logística do terreno, o canteiro de obras, o espaço para o armazenamento das peças metálicas e o guindaste ou qualquer outro equipamento de içamento. Devido às limitações no terreno estes são fatores muito importantes os quais podem ocasionar tanto uma antecipação da obra, quando bem planejada, ou a um atraso da mesma, quando ocorrerem erros de logística.

Algumas informações puderam ser visualizadas de forma mais clara a partir do cronograma apresentado na forma de simulação, dentre elas podem ser destacadas:

- “*Layout*” do canteiro de obras;
- Percentual concluído de cada atividade e projeto;
- Atividades em atraso ou adiantadas;
- Posicionamento do guindaste no andamento da montagem;
- Espaço de trabalho com peças armazenadas;
- Peças sucessoras de outras no momento de montagem.

Novas simulações podem e devem ser realizadas a partir do planejamento BIM 4D, para otimização das equipes de trabalho, subdividindo-as para ter frentes de trabalho simultâneas, análise do espaço físico e dimensionamento de equipamentos.

A utilização de diferentes simulações pode alertar ao planejador sobre novos “planos de ataque” ou novas formas de como conduzir a montagem da estrutura, uma vez que o cronograma está conectado ao modelo.

4.2.4 RESUMO DAS ETAPAS SUGERIDAS NA ELABORAÇÃO DE SIMULAÇÃO BIM 4D PARA EDIFICAÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA

1ª Etapa: Preparar modelo da estrutura metálica já calculada, dimensionada e compatibilizada em *softwares* que façam o uso da tecnologia BIM e exportem o modelo em IFC;

2ª Etapa: Separar as peças da estrutura por níveis de prioridade na montagem utilizando a função “Fases” no *software* Autodesk Revit;

3ª Etapa: Elaborar plano de “*Rigging*” para verificação dos níveis de prioridades das peças;

4ª Etapa: Calcular duração para cada uma das fases criadas, utilizando dados históricos da empresa;

5ª Etapa: Organizar cronograma e gráfico de Gantt com todas as fases, durações e precedências;

6ª Etapa: Importar cronograma ao *software* Autodesk Navisworks e realizar configurações iniciais no *software*;

7ª Etapa: Criar “sets” no Navisworks e efetuar ligação com as “fases” elaboradas no Revit;

8ª Etapa: Anexar as tarefas do cronograma importado ao Navisworks aos “sets”, na ferramenta *Timeliner*;

9ª Etapa: Modificar o tipo das tarefas na ferramenta *Timeliner* para “construct”;

10ª Etapa: Definir a duração total da simulação na aba “*Simulate – Settings*” e dar início a mesma;

11ª Etapa: Analisar se será preciso alguma modificação na sequência de montagem. Se for preciso, é necessário retornar a 2ª Etapa e ajustar em todas as etapas seguintes o erro encontrado.

4.3 ERROS CONSTRUTIVOS QUE PODERIAM TER SIDO EVITADOS

Após diálogo com a Engenheira responsável pela montagem da estrutura e análise das fotografias, podem ser destacadas algumas falhas de execução. Estas, poderiam ter sido mais facilmente identificadas e evitadas se fossem utilizadas as ferramentas de planejamento discutidas neste trabalho. Citam-se nessa análise erros de:

- a) Disposição e armazenamento das peças no canteiro;
 - b) De planejamento de montagem;
 - c) De planejamento do “*layout*” ou de escolha de equipamentos.
- Erros de disposição e armazenamento das peças no canteiro

Na Figura 23 pode ser notado um armazenamento excessivo de peças. Em um canteiro com espaço limitado, como era o caso, isto afetou a movimentação tanto dos colaboradores, quanto dos equipamentos para içamento, o que leva a um decréscimo de produtividade no canteiro. Com a execução de uma simulação 4D de montagem, tem-se a ordem exata de execução da estrutura, o que nos permite planejar o transporte das peças de modo que o armazenamento excessivo seja evitado.

Figura 23 - Erro 1 - Armazenamento excessivo de peças no canteiro.



Fonte: Autoria Própria.

- Erros de planejamento de montagem

Após um certo tempo de montagem foi necessária a utilização de um guindaste para a instalação de peças em alturas mais elevadas. Ao se instalar na obra, o operador da máquina solicitou que uma das vigas, que já havia sido montada e parafusada, fosse retirada para que se evitasse o choque com o “braço” do guindaste, o que ocasionou em perda de tempo e em prejuízo para a empresa responsável. As Figuras 24 “a” e “b” ilustram respectivamente a montagem da viga e o “braço” do guindaste operando no lugar onde a mesma estava instalada.

Figura 24 - Erro 2 - Falha na sequência de montagem.



Fonte: Autoria Própria.

- Erros de planejamento do “layout” ou de escolha de equipamentos

Para as peças mais leves e em alturas até 12 metros foi utilizado um “munck” para o içamento. Como este é um equipamento mais compacto e o espaço da obra era reduzido, ele operou internamente no canteiro e causou diversos transtornos no local. Na Figura 25 são mostradas cintas de concreto armado da estrutura, que foram danificadas pelo “munck” e tiveram que ser refeitas. Com a utilização de um guindaste que pudesse operar de distâncias maiores, o que ocorreu mais à frente na obra, este problema poderia ter sido evitado.

Figura 25 - Erro 3 – Cintas danificadas pelo “munck”



Fonte: Autoria Própria

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO TRADICIONAL DE PLANEJAMENTO E GESTÃO COM O PROCESSO AGREGANDO O BIM 4D

4.4.1 PLANEJAMENTO DE MONTAGEM NO PROCESSO TRADICIONAL

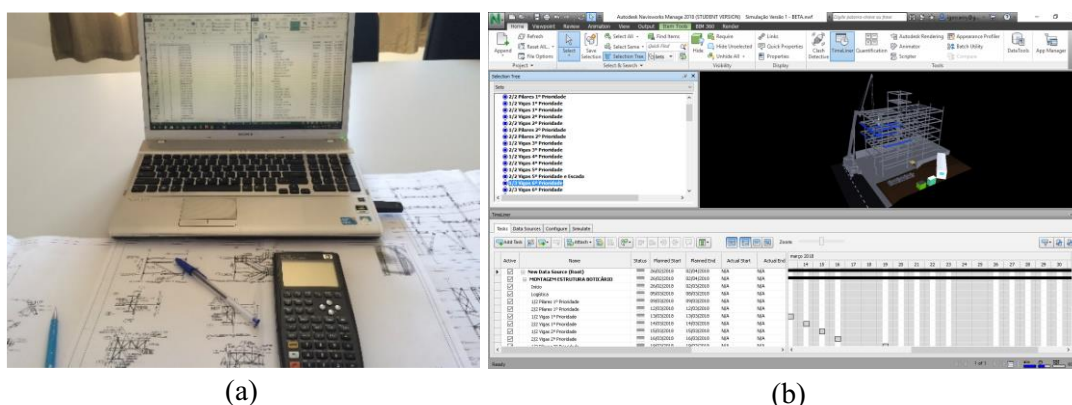
No modelo tradicional de planejamento utilizado pela empresa fornecedora dos dados, a equipe de engenharia analisa o modelo BIM da estrutura preparada no “*software*” Tekla Structures e, baseado nas experiências adquiridas em obras anteriores, define um plano de ataque seguindo uma sequência lógica de montagem. Tal sequência sofre influências do tipo de estrutura, prazo contratual da obra, equipe de montagem, equipamentos disponíveis para o içamento, prazo de fabricação das peças, dentre outras. Após a elaboração de um cronograma geral utilizando dados de produtividades em obras antigas, sendo em sua maioria em dias por metro quadrado ou dias por toneladas, o prazo total da obra é estimado.

Após uma análise completa e detalhada, a equipe de planejamento comunica o(a) engenheiro(a) responsável pela execução da montagem qual será a estratégia utilizada e por quais eixos deve ser iniciada a obra. Tal metodologia acarreta, na prática, em falhas de comunicação entre as partes, o que leva o(a) responsável pela obra a tomar certas decisões de

modo unilateral, o que muitas vezes leva a problemas na fase de montagem. Como a equipe de engenharia tem funções diversas e não apenas o planejamento e acompanhamento de obras, tais erros se acumulam no canteiro, algo que poderia ser evitado por meio da aplicação da metodologia BIM 4D.

As Figuras 26 “a” e “b” ilustram os ambientes de trabalho para o planejamento convencional da empresa e o ambiente utilizando o BIM 4D.

Figura 26 - (a) área de trabalho para um planejamento convencional e (b) utilizando o BIM 4D



Fonte: Autoria Própria

4.4.2 ACOMPANHAMENTO E CONTROLE DE MONTAGEM

O acompanhamento e controle das atividades no canteiro de obras é feito, pela equipe de engenharia da empresa responsável, por meio de visitas ocasionais, recebimentos de RDO's, fotografias e principalmente por contato telefônico com o engenheiro residente. Após estes contatos, a equipe é responsável pela comunicação com a diretoria da empresa, clientes e investidores sobre o andamento da obra.

Com a utilização da tecnologia BIM 4D, o controle é feito inserindo as datas de início e término da atividade em campo específico da ferramenta “*Timeliner*”, como destaca a Figura 27. Assim, ao rodar a simulação, atividades adiantadas ou atrasadas serão destacadas de acordo com a configuração pré-estabelecida. No exemplo da Figura 28, adotou-se a cor vermelha para demonstrar que tal atividade está atrasada e a cor verde para indicar que a atividade está dentro da programação regular.

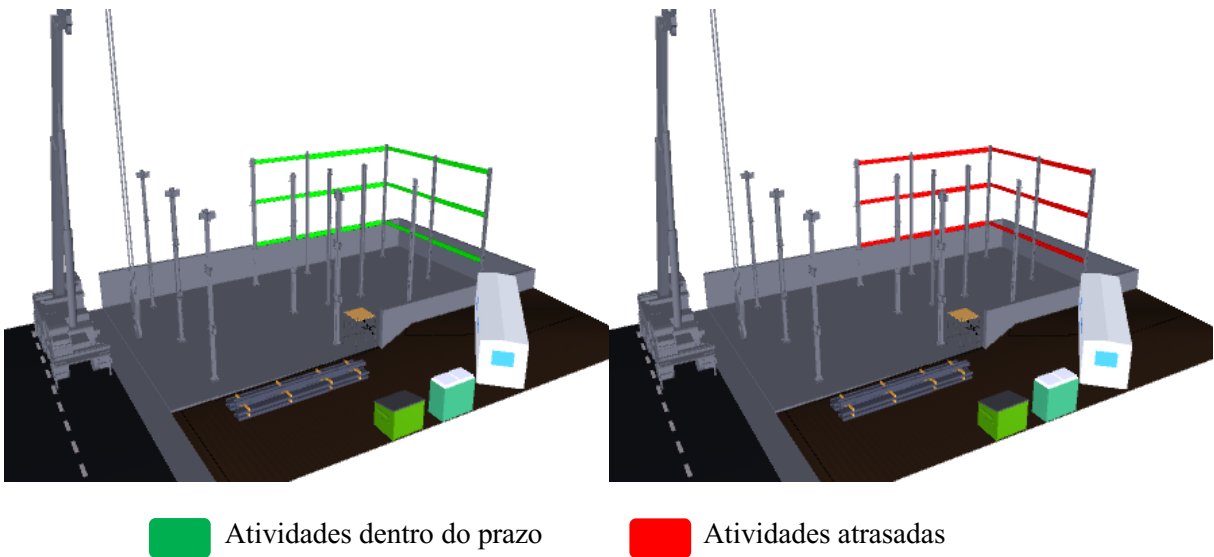
Figura 27 - Controle de execução das atividades no “TimeLiner”

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type	Attached
<input checked="" type="checkbox"/>	Início		26/02/2018	02/03/2018	N/A	* N/A	Construct	Sets->Início
<input checked="" type="checkbox"/>	Logística		05/03/2018	08/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->Logística
<input checked="" type="checkbox"/>	1/2 Pilares 1º Prioridade		09/03/2018	09/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->1/2 Pilares 1º Prior...
<input checked="" type="checkbox"/>	2/2 Pilares 1º Prioridade		12/03/2018	12/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->2/2 Pilares 1º Prior...
<input checked="" type="checkbox"/>	1/2 Vigas 1º Prioridade		13/03/2018	13/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->1/2 Vigas 1º Priorid...
<input checked="" type="checkbox"/>	2/2 Vigas 1º Prioridade		14/03/2018	14/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->2/2 Vigas 1º Priorid...
<input checked="" type="checkbox"/>	1/2 Vigas 2º Prioridade		15/03/2018	15/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->1/2 Vigas 2º Priorid...
<input checked="" type="checkbox"/>	2/2 Vigas 2º Prioridade		16/03/2018	16/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->2/2 Vigas 2º Priorid...
<input checked="" type="checkbox"/>	1/2 Pilares 2º Prioridade		19/03/2018	19/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->1/2 Pilares 2º Prior...
<input checked="" type="checkbox"/>	2/2 Pilares 2º Prioridade		20/03/2018	20/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->2/2 Pilares 2º Prior...
<input checked="" type="checkbox"/>	1/2 Vigas 3º Prioridade		21/03/2018	21/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->1/2 Vigas 3º Priorid...
<input checked="" type="checkbox"/>	2/2 Vigas 3º Prioridade		22/03/2018	22/03/2018	N/A	N/A	Construct	Sets->2/2 Vigas 3º Priorid...

*N/A – “Not Available” ou seja, sem os dados.

Fonte: Autoria Própria

Figura 28 - Visualização de atividades atrasadas/adiantadas ou dentro do prazo esperado

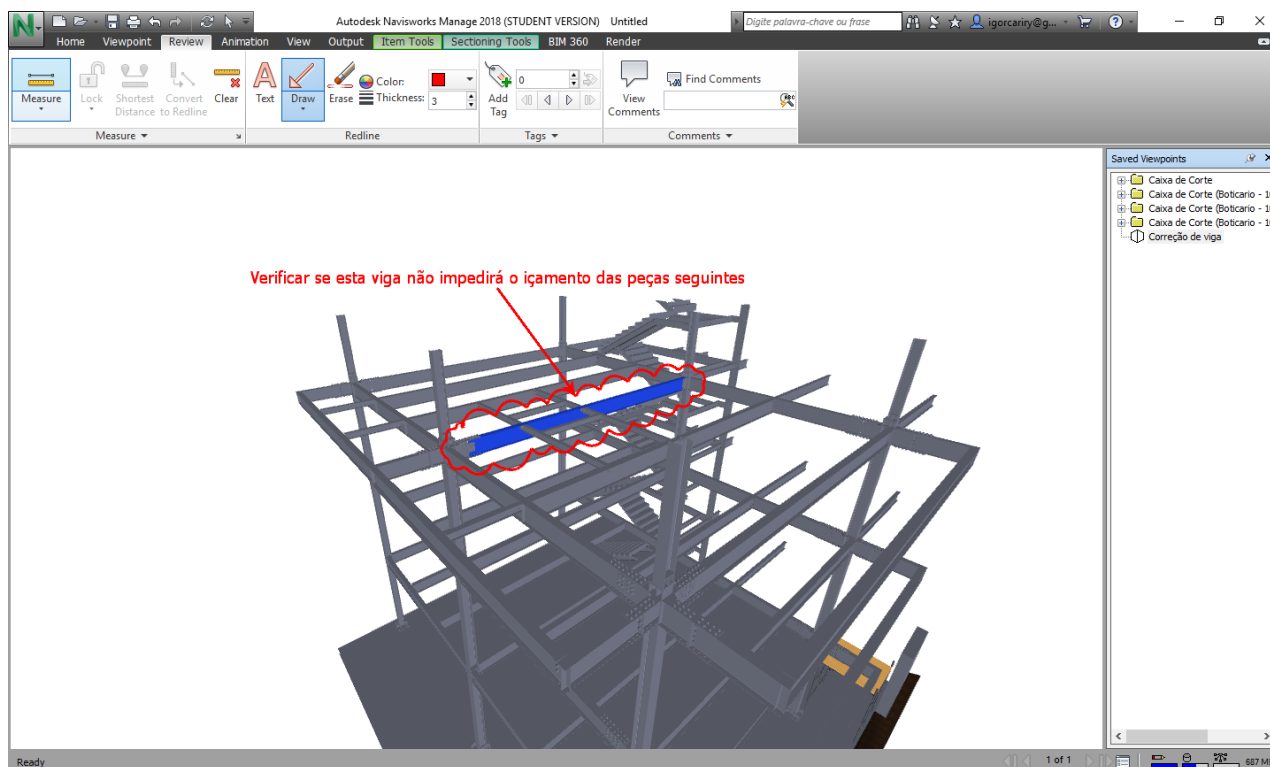


Fonte: Autoria Própria

A visualização tridimensional do andamento do projeto pode ter grande utilização, não somente nas etapas de planejamento e controle das montagens, como também pode transmitir confiabilidade a um cliente ou um investidor em potencial que poderá receber relatórios diários para o acompanhamento da obra, podendo ser ele composto por atualizações em modelo BIM no website da empresa, ou até enviado diretamente aos interessados.

A comunicação de situações indesejadas descobertas por meio do planejamento 4D da obra, pode ser feita no mesmo *software* em que foi elaborada a simulação. A Figura 29 ilustra como esta ferramenta poderia ter auxiliado na troca de informações entre os setores da empresa, em um dos erros ocorridos em campo, destacado no item 4.3.2.

Figura 29 - Ferramenta de comunicação sobre o modelo interativo



Fonte: Autoria Própria

4.5 “FEEDBACK” DA EMPRESA RESPONSÁVEL PELA OBRA

Após apresentar a simulação BIM 4D e as análises elaboradas neste trabalho ao gerente do departamento de montagens da empresa que executou a obra, foram discutidas algumas questões sobre a aplicabilidade deste recurso na situação atual da empresa. As respostas obtidas dizem respeito principalmente a:

- Plano de Rigging: de acordo com o gerente, diversas obras executadas pela empresa apresentaram problemas no momento de içamento das peças, seja por erros de sequência construtiva, falhas no “*layout*” do canteiro ou erros na análise de capacidade do

guindaste contratado. Por isso, a utilização dos recursos demonstrados neste trabalho, trariam um ganho de produtividade neste quesito;

- Falta mão de obra qualificada: segundo o gerente, a empresa já está ciente destes recursos que o BIM 4D apresenta, porém, a falta de gente qualificada para atuar neste departamento ainda é uma realidade;
- Tempo curto de planejamento: ainda segundo o gerente, na maior parte das obras que são executadas pela empresa, o tempo entre as assinaturas dos contratos e o início da obra é muito curto, por se tratar em sua maioria de estabelecimentos comerciais, os clientes exigem um prazo de fabricação e montagem muito reduzido. Para que o planejamento pudesse fazer a utilização destas ferramentas, seria exigida uma equipe relativamente grande para o porte desta empresa.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÕES

Por meio da análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que:

a) Das etapas de simulação:

Foram elaboradas e sugeridas 11 etapas para a preparação de simulações e planejamentos utilizando os recursos do BIM 4D no setor de estruturas metálicas. Tais etapas podem ser seguidas para diversos tipos de estruturas, desde edifícios múltiplos andares, até galpões industriais.

b) Das situações indesejadas:

Algumas falhas de execução e planejamento no caso estudado foram analisadas, podendo-se concluir que a utilização das ferramentas de simulação BIM 4D facilitariam a previsão destas falhas, diminuindo os tempos de execução e o número de situações indesejadas no canteiro de obras.

c) Da análise comparativa dos modelos:

Após análise comparativa entre o modelo tradicional de planejamento da empresa e o modelo analítico BIM 4D, conclui-se que o BIM 4D não substitui os conceitos tradicionais de planejamento, mas complementa-o com novas ferramentas de análise, garantindo um processo para extração de informações mais preciso, confiável, rápido e de fácil entendimento e visualização.

d) Do “Feedback” da empresa fornecedora dos dados:

Após diálogo com o gerente do departamento de montagem, da empresa que executou a obra utilizada como estudo de caso, conclui-se que a empresa já tem conhecimento dos recursos e benefícios do BIM 4D. Apesar disso, ainda existe certa resistência quanto a sua utilização, principalmente dos níveis hierárquicos superiores da empresa, o que é intensificado pela dificuldade em encontrar mão de obra qualificada no mercado.

5.2 CONCLUSÃO GERAL

Como conclusão geral, entende-se que “*softwares*” de planejamento BIM, não substituirão em hipótese alguma a capacidade e experiência profissional do planejador, mas permitirão a tomada de decisão qualificada, aliando ferramentas usuais como o Gráfico de Gantt à realidade do canteiro, resultando em um melhor plano de ataque da obra a ser executada. Além disso, a visualização 4D amplia a capacidade de detecção de falhas, melhora a comunicação entre os profissionais de projeto, produção, proprietários e canteiro, antecipando os problemas.

Uma das principais limitações encontradas pelo autor do trabalho, foi a de não ter participado ativamente da montagem do caso estudado. Por isso, várias situações que ocorreram no canteiro de obras não foram abordadas.

Embora haja uma atitude negativa percebida em relação ao uso da tecnologia BIM no setor da construção, e além disso, que o processo de monitoramento usando a interface de planejamento 4D exponha muita informações no ambiente visual, as gerências de execução precisam estar cientes de que se não implementarem a tecnologia para melhorar a entrega dos seus projetos, os clientes provavelmente levarão seus negócios a outras empresas, pois acabam pagando pelas ineficiências das metodologias atuais.

5.3 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para futuros trabalhos sobre o tema, pode-se indicar:

- Estudos de viabilidade econômica para implementação do BIM 4D em empresas de montagem de estruturas metálicas;
- Estudo sobre a simulação de obras em estruturas pré-fabricadas de concreto armado;
- Estudos do impacto, em obras de grande porte, da utilização da tecnologia de planejamento BIM 4D.

REFERÊNCIAS

1. AUTODESK. **Ajuda do Autodesk Navisworks Simulate 2018**. Disponível em:<<http://docs.autodesk.com/>> Acesso em: 01 de Agosto de 2018..
2. ALMEIDA, Jorge. **Tecnologias da montagem eletromecânica**. Rio Grande: FURG-CTI, 2009.
3. ANTUNES, J. M. P. **Interoperacionalidade em Sistemas de Informação**. 2013. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2013.
4. AZEVEDO, O. J. M. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na Direção Técnica de Obras**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade do Minho, Portugal, 2009.
5. BELLEI, Ildony H. **Edifícios industriais em aço**. 2.e.d. São Paulo: Pini, 1998.
6. BELLEI, Ildony H. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço**. 2.e.d São Paulo: Pini, 2014
7. COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. **Modelagem de informações para construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil**. In: Workshop brasileiro - gestão do processo de projetos na construção de edifícios, 8.e.d, São Paulo, 2008.
8. EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2ª ed. Hoboken: Wiley, 2011.
9. FARIA, J. A. **Gestão de Obras e Segurança - Planejamento de Obras**. FEUP. 2013
10. FARIA, Renato. **Construção Integrada**. Revista Técnica: São Paulo, 2007. Disponível em <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/127/imprime64516.asp>>. Acesso em 01 de agosto de 2018.
11. FERNANDES, Paulo S.T. **Montagens industriais: planejamento, execução e controle**. 4.e.d. São Paulo: Artliber Editora. 2013.
12. FOUQUET, Jean. **Planejamento de edifício utilizando software 4d**. Dissertação de Mestrado. UFSCar. São Carlos/SP. 2010
13. KELLEY, James E ; WALKER, Morgan R. **Critical-Path Planning and Scheduling**. In: Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, 1959
14. LIMMER, Carl Vicente. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997
15. LOSSO, Iseu Reichmann; ARAÚJO, Hércules Nunes. **Aplicação do Método da Linha de Balanço: Estudo de Caso**. In: VI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995. V.1

16. MALCOLM, D.G ; ROSEBOOM, J.H ; CLARK, C.E. Application of a technique for research and development program evaluation. Chicago, Illinois, 1959.
17. MANZIONE, Leonardo. **BIM: qual o valor para entrar no jogo?** Disponível em: <https://www.coordenar.com.br/bim-qual-o-valor-para-entrar-no-jogo/>. Acesso em: 01 de agosto de 2018.
18. MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. 1º Ed. São Paulo. PINI, 2010.
19. MONTEIRO, André; MARTINS, João; **Building Information Modeling (BIM): teoria e aplicação**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, Covilhã. Anais eletrônicos. Covilhã: UBI, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/69849>>. Acesso em: 01 de agosto de 2018.
20. MUBARAK, Saleh. **Construction Project Scheduling and Control**. 3ª Ed. Hoboken, NJ. Wiley, 2015.
21. NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. JBIM - **Journal of Building Information Modeling. An official publication of the National Institute of Building Sciences. buildingSMART alliance. Fall 2009**. Disponível em: <http://www.wbdg.org/references/jbim.php>. Acesso em: 01 de agosto de 2018.
22. NOCÊRA, Rosaldo de Jesus. **Planejamento e controle de obras com o MS-Project 2016: Avançado**. 1º Ed. Santo André, SP. Editora do autor, 2016.
23. NOGUEIRA FILHO, Antônio Gil; ANDRADE, Bruno da Silva. **Planejamento e controle em obras verticais**. Trabalho de conclusão de curso, apresentado a Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – CCET- Bruno da Silva Andrade Planejamento e controle em obras verticais UNAMA / CCET Belém - PA 2010
24. **Notas de aula da disciplina de Gestão de Obras**, ministrada pelo Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), período 2018.1.
25. PINHO, Mauro O. **Transporte e montagem**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2005. (Série Manual de Construção em Aço, 8).
26. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, INC. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)**, Newton Square, Pennsylvania, EUA, 2017
27. PULCINELLI, Marcelo. Construtoras apostam no BIM 4D para melhorar assertividade do planejamento de obras. **Téchne**. v213, dez. 2014. Entrevista concedida a Juliana Nakamura.
28. ROCHA, Ana Paula. **Por dentro do BIM**. Revista Téchne, ed. 168: São Paulo, 2011. Disponível em < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/168/por-dentro-do-bim-em-fase-de-teste-em-287822-1.aspx>>. Acesso em 15 de novembro de 2018.
29. SANTOS, Eduardo; Barison, Maria. **BIM e as universidades**. Revista Construção Mercado, São Paulo, SP, v115, fev. 2011.

30. TOMASI, A.P.N. **“A modernização da construção civil e os impactos sobre a formação do engenheiro no contexto atual de mudanças”**. COBENGE. Belo Horizonte, 2003

ANEXOS

A seguir serão apresentados os anexos I e II.

ANEXO I – Modelo da ficha de Registro Diário de Obra

REGISTRO DE DIÁRIO DE OBRA						
Código:	Cliente:	Data:	Turno 01:	Turno 02:		
		13/03/2018	07:00 as 17:00			
SITUAÇÃO						
CONDIÇÃO ATMOSFÉRICA			FUNCIONÁRIOS		EQUIPAMENTOS	
Período	Chuva:	Vento:	Engenheira	1	Ajudante	0
Manhã	Inexistente	Fraco	Encarregado	1	Soldador	0
Tarde	Inexistente	Fraco	Operador	0	Outros	0
Noite	Inexistente	Fraco	Montador	5	TOTAL	7
					Guindaste	1
					Munck	1
					Plataforma	1
					TOTAL	3
ACIDENTE			PARALIZAÇÕES			
Tipo:	Situação:	Motivo:	Período:			
	Afastamento?	<input type="checkbox"/>				
	Afastamento?	<input type="checkbox"/>				
	Afastamento?	<input type="checkbox"/>	TOTAL HORAS PARALIZADAS <input type="checkbox"/>			
ATIVIDADES						
ITENS						
Vigas:	V22, V61, V36, V73, V97, V122, V121, V126, V125, V123, V127, V99, V124, V69, V143, V96, V145, 3V70, V67, V93, V95, V66, 3V71, 5V16 e 2V148					
Pilares:	PB10					
Demais Elementos:						
Telhas:						
RESUMO			RETRABALHOS E LIMITAÇÕES			
Elementos:	Quantidade:	Peso (Kg):				
Pilares	1	66,80				
Vigas	34	2.710,30				
Demais	0	0,00				
TOTAL	35	2.777,10				
Coberta:	Quantidade (m ²):					
Telhas						
OBSERVAÇÕES GERAIS						
<p>Conclusão de montagem das vigas do 4º e 5º pavimento;</p> <p>Dispensa do guindastes às 9h;</p> <p>Movimentação de peças do terreno onde houve o descarregamento para o local de montagem da obra;</p> <p>Montagem de vigas do 3º, 2º e 1º pavimento.</p>						

ANEXO II – Imagens para acompanhamento da montagem estrutural, tiradas nos dias:



Figura 30 – 26/02/18



Figura 31 – 28/02/18



Figura 32 – 01/03/18



Figura 33 – 01/03/18



Figura 34 – 02/03/18



Figura 35 – 02/03/18



Figura 36– 05/03/18



Figura 37– 06/03/18



Figura 38– 06/03/18



Figura 39– 07/03/18



Figura 40– 10/03/18



Figura 41– 13/03/18



Figura 42– 19/03/18



Figura 43– 22/03/18



Figura 44– 23/03/18