

# UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA ESCOLA POLITÉCNICA COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO E ESTRUTURAS

# PAULO VEIGA LARANJEIRA MALHEIROS

# UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM 4D NO PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE OBRAS

Salvador 2014

# PAULO VEIGA LARANJEIRA MALHEIROS

# UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM 4D NO PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE OBRAS

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira

> Salvador 2014

MALHEIROS, Paulo Veiga Laranjeira. Utilização da modelagem 4D no planejamento e acompanhamento de obras. 108 f. il. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

#### RESUMO

Atualmente, um dos principais desafios do engenheiro de obras é poder contar com um planejamento consistente e adaptado à sua obra. Este trabalho visa utilizar a modelagem 4D no planejamento e acompanhamento de obras e avaliar as dificuldades encontradas, os métodos utilizados e as soluções adotadas. Para isso, foi realizado uma revisão bibliográfica do BIM (Building Information Model), termo em inglês para modelagem da informação da construção, dos seus conceitos, dimensões e da parametrização de objetos. Podemos definir BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Para fundamentar o estudo, também foi realizado uma revisão bibliográfica dos conceitos de planejamento e acompanhamento de obras e suas inferências ao BIM. Logo após foi realizado um estudo de caso da obra na qual foi realizado a modelagem 4D pelo software Navisworks. Através dele, vinculou-se o planejamento – criação de tarefas, análises de restrições e determinação de prazos. ao modelo 3D do empreendimento, permitindo realizar simulações da execução da obra e identificar possíveis problemas durante a construção. Após o início da obra, foi realizado o acompanhamento da execução das tarefas, através da utilização do software, permitindo analisar atrasos e folgas no planejamento. Analisou-se ainda diferentes softwares de modelagem 3D, onde foi possível apontar as dificuldades encontradas na criação e a sua interoperabilidade com outros softwares, e determinou-se as vantagens e desvantagens de cada um. Cada um dos modelos tridimensionais proporcionou soluções para diferentes tipos de problemas na concepção da obra, tais como estudos do canteiro de obra e das fachadas. Como resultados, a modelagem 3D e 4D do empreendimento nos permitiu encontrar soluções para estudos de projetos, realizar planejamentos mais consistentes, criar processos automatizados na modelagem e executar um acompanhamento de obras mais rigoroso e eficiente. Por fim, o quanto é utilizado das tecnologias BIM depende dos custos associados para sua implantação e a redução dos custos do gerenciamento em que lhe é proporcionado.

**Palavras-chave**: Modelagem de informação da construção. BIM. Planejamento. Acompanhamento de Obras.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de desenvolvimento do BIM	14
Figura 2 Comparativo entre modelos de gerenciamento de projetos	15
Figura 3 Esquema comparativo de tempo gasto no desenvolvimento do	
empreendimento	15
Figura 4 Gráficos Retorno do Investimento (ROI) e Benefícios do BIM para	
construtoras	17
Figura 5 Modelo 3D gerado no Revit	26
Figura 6 Modelo 3D gerado no SketchUp	27
Figura 7 Tarefa com início antecipado e término atrasado – referência datas rea	is. 34
Figura 8 Tarefa com início atrasado e término atrasado – referência datas reais.	34
Figura 9 Tarefa com início antecipado e conclusão atrasada – referência	
planejamento	35
Figura 10 Tarefa com início atrasado e conclusão atrasada - referência	
planejamento	35
Figura 11 Tarefa com início antecipado e conclusão atrasada - comparação	
planejamento com datas reais	36
Figura 12 Tarefa com início atrasado e conclusão atrasada - comparação	
planejamento com datas reais	36
Figura 13 Organograma de estudo	48
Figura 14 Esquema de planta de situação.	49
Figura 15 Modelo 3D – Fundo	49
Figura 16 Modelo 3D – Frente	49
Figura 17 Planejamento de longo prazo sem inserção de durações, desenvolvido	o no
MSProject	52
Figura 18 Esquema de Fases do Revit – do inglês Phasing.	53
Figura 19 Plugin de exportação do Revit	54
Figura 20 Ferramenta de importação do Navisworks	55
Figura 21 Estrutura de Fases reproduzidas no Selection Tree do Navisworks	56
Figura 22 Importação de arquivos MSProject.	57
Figura 23 Criação das regras de correspondência planejamento e maquete	58
Figura 24 Verificação de correspondência	59

Figura 25 TimeLiner do Navisworks com estrutura do planejamento e Cronogra	ama
de Gantt	60
Figura 26 Simulação da obra - Etapa 01 de 08	61
Figura 27 Simulação da obra - Etapa 02 de 08	62
Figura 28 Simulação da obra - Etapa 03 de 08	62
Figura 29 Simulação da obra - Etapa 04 de 08	63
Figura 30 Simulação da obra - Etapa 05 de 08	63
Figura 31 Simulação da obra - Etapa 06 de 08	64
Figura 32 Simulação da obra - Etapa 07 de 08	64
Figura 33 Simulação da obra - Etapa 08 de 08	65
Figura 34 Opção de canteiro 01	66
Figura 35 Opção de canteiro 02	67
Figura 36 Opção de canteiro 03	68
Figura 37 Canteiro de obras desenvolvido	69
Figura 38 Estudo de fachada	70
Figura 39 Exemplo 01 de execução de vergas e contra-vergas	71
Figura 40 Exemplo 02 de execução de vergas e contra-vergas	72
Figura 41 Caminho crítico	73
Figura 42 Perspectiva de blocos de estacas e seus elementos	74
Figura 43 Planta baixa de blocos de estacas e seus elementos de conexão	75
Figura 44 Modelo 3D de peças estruturais do primeiro pavimento	75
Figura 45 Modelo 3D de peças estruturais do segundo pavimento	76
Figura 46 Modelo 3D de peças estruturais do terceiro pavimento	77
Figura 47 Modelo 3D de peças estruturais do quarto pavimento	77
Figura 48 Modelo 3D do detalhe de blocos e vigas de ligação da portaria	78
Figura 49 Modelo 3D do detalhe de pilares e vigas estruturais da portaria	79
Figura 50 Modelo 3D da estrutura de madeira da cobertura, esquadrias e veda	ação
da portaria	79
Figura 51 Modelo 3D das placas de policarbonato e cimentícia de revestimente	o da
cobertura da portaria	80
Figura 52 Perspectiva de estrutura de madeira de telhado cerâmico e seus	
elementos	81
Figura 53 Planta de estrutura de madeira de telhado cerâmico e seus element	os81

Figura 54 Cronograma de Gantt com comparativo planejado e realizado no	
Navisworks	83
Figura 55 Simulação comparativa da obra - Etapa 01 de 05	84
Figura 56 Simulação comparativa da obra - Etapa 02 de 05	85
Figura 57 Simulação comparativa da obra - Etapa 03 de 05	86
Figura 58 Simulação comparativa da obra - Etapa 04 de 05	87
Figura 59 Simulação comparativa da obra - Etapa 05 de 05	88
Figura 60 Marco referencial do mês 01	105
Figura 61 Marco referencial do mês 03	105
Figura 62 Marco referencial do mês 05	106
Figura 63 Marco referencial do mês 07	106
Figura 64 Marco referencial do mês 09	107
Figura 65 Marco referencial do mês 11	107
Figura 66 Marco referencial do mês 13	108

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Níveis de Dimensões BIM.	18
Quadro 2 Ferramentas associadas à disciplina de projeto	22
Quadro 3 Resumo comparativo entre Revit e SkecthUp	26
Quadro 4 Relação de Status da aba de tarefas do Navisworks	32
Quadro 5 Etapas do acompanhamento	42
Quadro 6 Metodologias adotadas	45
Quadro 7 Abordagem de estudo	46
Quadro 8 Opções de canteiro	68
Quadro 9 Quadro avaliativo do planejamento em relação ao executado	83
Quadro 10 Esquema de Fases - Phases	101

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	.10
1.2	OBJETIVOS	.11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	.12
2	BUILDING INFORMATION MODELING – BIM	.13
2.1	DIMENSÕES BIM	.17
2.2	PARAMETRIZAÇÃO E O FORMATO IFC	.19
2.3	ESCOLHA DE SOFTWARES	.21
2.4	MICROSOFT PROJECT	.23
2.5	AUTODESK REVIT	.23
2.6	SKETCHUP	.24
2.7	ANÁLISE AUTODESK REVIT VERSUS SKETCHUP	.25
2.8	AUTODESK NAVISWORKS MANAGE	.27
2.8.1	Métodos de Operação e Automatização	.29
2.8.2	Conceitos	.30
2.8.3	Ferramentas	.31
2.8.4	Simulação Comparativa	.32
3	PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE OBRA	.37
3.1	PLANEJAMENTO	.37
3.2	ACOMPANHAMENTO	.41
4	METODOLOGIA	.43
5	ESTUDO DE CASO	.46
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA OBRA	.48
5.2	PLANEJAMENTO DA OBRA	.50
5.2.1	Estrutura Analítica de Projeto – EAP	.50
5.2.2	Planejamento da Obra	.51
5.2.3	Modelagem 3D	.52
5.2.4	Modelagem 4D	.54
5.2.5	Simulação da Obra	.61
5.3	ESTUDOS DE PROJETO	.65
5.3.1	Estudo do Canteiro de Obras	.65
5.3.2	Estudo da Fachada	.69
5.3.3	Estudo das Vergas e Contra-Vergas	.70
54	ACOMPANHAMENTO DA OBRA	.72

5.4.1	Identificação do Caminho Crítico	.73	
5.4.2	Cronograma de Marcos	.73	
5.4.3	Detalhamento de Tarefas	.74	
5.4.4	Simulação Comparativa – Identificação de Atrasos	.81	
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	.89	
7	CONCLUSÃO	.91	
REFE	RÊNCIAS	.93	
APÊNDICE A – Estrutura Analítica de Projeto – EAP			
APÊNDICE B – Quadro com Estrutura de Fases101			
APÊN	DICE C – Cronograma de Marcos1	05	

## 1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum que o preço de venda de um produto era a soma algébrica entre custo do projeto e lucro que esperava ter, ou seja, P = C + L, onde P representa o preço de venda, C o custo do projeto e L o lucro esperado. Dentro desta lógica, admitia-se que o custo e lucro eram valores fixos de cada projeto e P a variável que desejava-se encontrar. A construção civil, durante anos, seguiu esta lógica, em função do grande mercado existente. Entretanto, com a baixa da perspectiva atual de mercado, onde a concorrência e a iminência de uma bolha de inflacionária ditam os preços de venda, a lógica inverte-se, sendo L = P – C, tratando o preço de venda fixo e o lucro em função do custo do projeto.

Visando maximizar o lucro, há uma corrida no setor em busca de minimizar os custos, investindo em inovações tecnológicas que impactaram a forma de projetar, planejar, gerenciar e executar um empreendimento. Além disso, como uma forma de diferenciação dentro do mercado, tem-se buscado um melhor atendimento ao cliente, na forma de utilizar melhores padrões de qualidade e maior flexibilidade dentro do projeto, dado como opções ao cliente.

Na tentativa de atender a esses novos padrões e as expectativas dos clientes, surgiram novos métodos e paradigmas para quem atua no desenvolvimento e gerenciamento destes projetos, no qual o tradicional método em que o desenvolvimento do projeto era desvinculado do processo construtivo. A fim de atender essa demanda, há uma tendência de aplicar os conceitos de modelagem da informação da construção, conhecida pelo termo em inglês *Building Information Modeling* (BIM), aos projetos.

O BIM se apoia nos conceitos de parametrização, interoperabilidade e na colaboração entre os diversos profissionais deste setor; ou seja, é importante mudar as posturas dos profissionais do setor, por meio de atitudes colaborativas, que visem a multidisciplinaridade e evitem a fragmentação. O surgimento dos *softwares* de computação e da Internet facilitaram o uso deste conceito, em que é possível fazer análises, simulações e visualizações mais precisas e de melhor qualidade remotamente, em equipes diferentes, em locais diferentes.

Visando reduzir custos e retrabalhos e aumentar a produtividade, em função da interdependência das etapas, devemos sempre estudar como os serviços serão executados, analisando o seu fluxo de operação, deste a estocagem de materiais,

disposição de equipamentos e equipes, criando assim um plano de ataque para cada etapa. O modelo de gerenciamento através do BIM permite analisar a execução simultânea das etapas, podendo visualizar possíveis interferências entre elas.

Ainda dentre as funcionalidades da ferramenta está o processo de quantificação dos materiais, equipamentos e mão-de-obra. A depender do *software* utilizado e do nível de detalhamento utilizado pelo projetistas, é possível extrair informação de cada etapa detalhadamente e automaticamente inseri-la ao planejamento. Este processo é útil na forma de elaboração de cronograma de compras e aluguel de equipamentos e na contratação de empreiteiro e mão-de-obra. Ainda aplicável ao exemplo que será estudado, é possível a elaboração de um plano de investimentos, ou seja, dispor quanto e quando cada recurso terá que ser investido.

Este trabalho visa estudar a aplicação deste conceito no gerenciamento e produção de uma obra, através de um estudo de caso, usando para isso *softwares* que permitem esta interoperabilidade, tendo um acompanhamento contínuo das etapas através de simulações da obra, permitindo assim uma tomada de decisões rápida e eficaz, fazendo com que a informação chegue aos responsáveis de maneira eficiente e com mais transparência.

Dentre os *softwares* utilizados estão o Microsoft Project – para execução do planejamento, Autodesk Revit e SketchUp – para execução da maquete eletrônica e Autodesk Navisworks – para gerenciamento de projetos. Foram ainda utilizados Autodesk Autocad – para leituras do projeto arquitetônico original e Microsoft Excel como planilha auxiliar.

#### 1.1 JUSTIFICATIVA

Para gerenciar uma obra, é necessário que um engenheiro tenha total conhecimento do seu planejamento e do seu orçamento. Acontece que dificilmente o responsável pelo planejamento não é o mesmo responsável pelo orçamento, que também não é o mesmo responsável de produção. Além disso, pode haver mudanças de projetos necessárias durante a execução de uma obra, sendo necessário reportar isso ao responsável pelo projeto.

Para a informação chegar a todos os responsáveis, é necessário haver um canal de comunicação e uma maior integração entre todas as áreas. Quanto mais eficiente for este meio, melhor será o fluxo de informações e mais rápidas e eficazes

serão as tomadas de decisões, permitindo a todos os envolvidos uma visão mais ampla da obra.

Segundo Cândido (2013), verifica-se a utilização dos modelos BIM de forma eficaz em outros países tais como EUA, parte da Europa e Japão desde o final da década de 80, apresentando resultados significativos, dentre outras áreas, nas seguintes:

- Geração de quantitativos mais precisos de materiais e serviços;
- Análise de diversos cenários de um projeto do ponto de vista do custo e do planejamento;
- Compatibilização de projetos;
- Planejamento e controle da produção;
- Identificação de conflitos entre atividades;
- Estudos do canteiro de obras do ponto de vista da logística e da segurança.

Pelo que foi exposto acima, verifica-se uma oportunidade de melhoria no gerenciamento de obras e resultados satisfatórios de uso da tecnologia na área em estudo. Este trabalho, então, se justifica na tentativa de busca de novas tecnologias e implementá-las ao nosso meio, trazendo seus pontos positivos e negativos, além de perspectivas em relação à utilização da ferramenta.

# 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos deste trabalho estão apresentados a seguir:

• Objetivo Geral

Avaliar a utilização da modelagem 4D no planejamento e acompanhamento de obras.

# Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- a) Conhecer os princípios da modelagem 4D relativos ao planejamento e acompanhamento de obras;
- b) Aplicar a modelagem 4D para o planejamento e acompanhamento de obras;

 c) Avaliar os resultados obtidos da aplicação da modelagem 4D ao planejamento e acompanhamento de obras.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo dispõe sobre uma introdução ao tema, a justificava de elaboração deste trabalho e os objetivos que se espera alcançar.

O segundo capítulo contém uma revisão bibliográfica sobre os conceitos referente à tecnologia BIM, suas aplicações, restrições e compatibilidades.

No terceiro capítulo são abordados conceito de planejamento e acompanhamento de obras e sua inferências ao BIM.

O quarto capítulo dispõe sobre a metodologia de estudo adotada neste trabalho de forma textual, especificando os objetivos específicos, ferramentas utilizadas e os resultados esperados.

O quinto capítulo discorre sobre o estudo de caso realizado em uma obra com aplicação da modelagem 4D. Em cada subcapítulo, é apresentado um tema específico, a ferramenta utilizada e o resultado alcançado. Para cada subcapítulo, é feita sua análise, abordando os pontos positivos e negativos.

O sexto capítulo contém a conclusão do trabalho, os objetivos alcançados, as oportunidades de melhorias e as expectativas futuras.

#### 2 BUILDING INFORMATION MODELING – BIM

Há anos, o BIM promete promover uma mudança radical no processo de produção da construção civil. Por meio da criação de um modelo 3D que congrega todas as disciplinas de projetos, é possível ter não apenas um modelo visual do edifício, mas também um banco de dados com informações multidisciplinares relativas a todo o ciclo de vida do empreendimento, da concepção ao projeto, orçamento, planejamento, construção e até fase de uso. É possível ainda detectar antecipadamente as incompatibilidades construtivas, além de gerar quantitativos automáticos dos materiais e dados sobre custos e prazos de execução (ROCHA, 2011).

Eastman (2011) define BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Modelos de construção são caracterizados por:

 Componentes de construção, que são representados com representações digitais inteligentes (objetos) que "sabem" o que eles são, e que podem ser associados com atributos (gráficas e de dados) computáveis e regras paramétricas;

 Componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam, conforme são necessários para análises e processos de trabalho, por exemplo, quantificação, especificação e análise energética;

 Dados consistentes e não redundantes de forma que as modificações nos dados dos componentes sejam representadas em todas as visualizações dos componentes;

• Dados coordenados de forma que todas as visualizações de um modelo sejam representadas de maneira coordenada.

Para a Rocha (2011), a primeira mudança profunda que o BIM causa é nas etapas de trabalho dos próprios projetos, na medida em que boa parte das informações que só seriam detalhadas no projeto executivo passa a ser necessária na concepção do empreendimento. No processo convencional, há o estudo preliminar, quando é dada a largada de todas as bases técnicas, legais e de produto; depois vem o projeto legal, o anteprojeto ou pré-executivo, para só então chegar ao executivo, onde todas as informações deverão ser inseridas com detalhes. No caso do BIM, é preciso iniciar o modelo como se estivéssemos no executivo final, com todas as informações e detalhamento do projeto.

O modelo de informação presta-se a diferentes finalidades ao longo do ciclo de vida do empreendimento, desde o seu planejamento inicial até sua operação e manutenção. Para cada etapa, o modelo deve incluir determinadas informações e, com isso, amadurece junto com o empreendimento. O modelo de projeto pode e deve ser levado à construção e à operação, mas para que seja útil a estas etapas deve ser verificado e adaptado às necessidades específicas de cada agente, processos e tecnologia. A garantia de continuidade do modelo de uma etapa para a outra possibilita redução de erros e maximiza ganhos para todos os elos da cadeia (MELLO, 2012). A Figura 1 caracteriza essas necessidades.



#### Figura 1 Ciclo de desenvolvimento do BIM.

BIM no ciclo de vida da edificação. Em amarelo a macro-fase de projeto, em laranja a de construção e em vermelho a de operação e manutenção. Em um período de 20 anos, segundo estudos norte-americanos, a etapa de projeto corresponde a aproximadamente 5% dos custos de um empreendimento, a etapa de construção a cerca de 25% e a de operação e manutenção a cerca de 70%. Fonte: MELLO, 2012

A interação entre todas as disciplinas também muda. Hoje, a elaboração de projetos é feita em círculos: da arquitetura vai para a estrutura. Depois, segue para as instalações elétricas e hidráulicas, e assim por diante. Apenas depois de passar por toda essas etapas, em mãos do construtor, é feita a compatibilização dos projetos e, caso seja necessário, os projetos podem ter de retornar para novamente ser avaliados

pelo responsáveis. Com o BIM, a troca de informações é constante porque todas as disciplinas alimentam um único modelo que deve ser discutido e adaptado o tempo todo (ROCHA, 2011). A Figura 2 compara essas relações.



Figura 2 Comparativo entre modelos de gerenciamento de projetos.

A fim de comprovar estas mudanças de perspectivas, a publicação da Potencial do BIM (2012) detalha que uma das grandes potencialidades do uso correto de softwares BIM é a alteração do cronograma de obras. O arquivo BIM com o modelo 3D gera automaticamente plantas, cortes e elevações nos locais indicados pelo usuário, liberando o tempo que seria usado para a execução destes desenhos para o anteprojeto. Além disso, este sistema elimina inconsistências entre plantas, cortes e elevações, muito comuns em desenhos gerados no sistema CAD, porque os desenhos são gerados a partir do modelo, e não há como, por exemplo, um pilar estar em uma posição no corte e em outra em planta (POTENCIAL DO BIM, 2012). Podemos visualizar essas relações na Figura 3.

Figura 3 Esquema comparativo de tempo gasto no desenvolvimento do empreendimento.



EP significa Estudo de Projetos. AP significa Anteprojeto. PE significa Projeto Executivo. Fonte: POTENCIAL DO BIM, 2012.

O que se observa da alteração do cronograma é uma maior dedicação ao projeto em sua fase de concepção, antecipando os problemas que podem aparecer em obra, principalmente durante a compatibilização de complementares. Como a maioria das decisões são tomadas no anteprojeto, esta é a fase que toma mais tempo. Neste caso, as fases de projeto executivo e obra são exatamente o que o nome diz: fases de execução de projeto. Nestas etapas, surgem poucas novidades, e poucas complicações decorrentes do projeto. Esta condição é oposta ao que acontece no sistema CAD, aonde as etapas de estudo são vencidas rapidamente, e muitos problemas são resolvidos somente em obra, certamente com soluções muito mais pobres do que as que poderiam ter sido adotadas caso o problema tivesse sido descoberto em fase de projeto (POTENCIAL DO BIM, 2012).

Um dos maiores impeditivos para implantação desses conceitos está no custo de implantação e treinamento dos profissionais. Segundo o artigo Gestão Remodelada (2011), implantar o BIM exige, antes de mais nada, gastos expressivos tanto com as licenças dos *softwares* e treinamento dos usuários, quanto com computadores mais potentes. A Matec investiu R\$ 560 mil somente na implantação na área de projetos, envolvendo o custo da licença do *software*, treinamento, consultoria e as horas de trabalho dos funcionários que ficaram afastados da produção durante o treinamento.

Entretanto, o retorno financeiro é esperado em um prazo curto, como sugere o relatório *SmartMarket Report*, produzido pela McGraw-Hill (2012)<sup>1</sup> *apud* Lima (2013): 62% dos usuários de BIM viram um retorno do investimento positivo em 2012, sendo que este retorno está fortemente relacionado ao nível de engajamento na tecnologia BIM, recompensando a firma com alta experiência e nível de implementação. Ainda segundo Lima (2013), para as construtoras o grande benefício é a redução do retrabalho, duração total da obra, redução de erros em documentos, entre outros. A Figura 4 ilustra gráficos sobre o retorno de investimento (ROI, em inglês) e os principais benefícios para as construtoras.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **SmartMarket Report: The business value of BIM in North America**. Massachusetts, 2012.



Figura 4 Gráficos Retorno do Investimento (ROI) e Benefícios do BIM para construtoras.

Fonte: MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2012.

Como comprovação da adesão dos profissionais do setor ao uso desses conceitos, Louzas (2013) apresenta uma pesquisa entre os profissionais. Das 588 respostas da pesquisa, 54,08% foi feita por engenheiros e 45,92% por arquitetos. A maior parte dessa amostra, 62,07%, ainda não trabalha com a tecnologia e, 52,84%, pretende utilizá-la em um a cinco anos. Já 37,78% dos respondentes pretendem implantar a tecnologia no prazo de um ano. Apenas 9,38% não tem intenção alguma em utilizá-la.

# 2.1 DIMENSÕES BIM

O nível de desenvolvimento de projetos sob ótica BIM depende da imersão e do nível de detalhamento que se espera obter e o custo que está disponível a arcar. Para projetos menores, o custo de implantação de determinado nível de dimensionamento pode ser maior do que se espera economizar com o gerenciamento do projeto e tal decisão deve ser observado desde o começo da implantação. Segundo BIM (201-), existem vários níveis de detalhamentos, dentro os quais podemos destacar alguns importantes no Quadro 1.

Quadro 1 Níveis de Dimensões BIM.

NÍVEL DE DIMENSÃO	CARACTERÍSTICA	FUNÇÕES	
	PASSO-A-PASSO DO MODELO	Fornece uma grande ferramenta de visualização permitindo aos projetistas e empreiteiros trabalhar juntos para identificar e resolver problemas com a ajuda do modelo antes de entrar no local.	
3D - MODELO	DETECÇÃO DE CONFLITOS	A maioria dos conflitos são identificados quando o contratante recebe os desenhos de projeto e todos estão no local e trabalham.	
	VISUALIZAÇÃO DO PROJETO	A modelagem BIM permite maquetes virtuais que podem ser feitas e testadas com muito menos custo.	
	PRÉ-FABRICAÇÃO	O nível de informação de construção num modelo BIM significa que a pré-fabricação pode ser utilizada com maior garantia da forma como os componentes pré-fabricados se encaixam no local.	
	PLANEJAMENTO E GESTÃO DA CONSTRUÇÃO	Modelos BIM fornecem um meio de verificar a logística local e operações de medições, incluindo ferramentas para representar visualmente a utilização do espaço de trabalho do local durante a construção de um projeto. O modelo pode incluir componentes temporários, tais como guindastes, caminhões e cercas.	
4D - TEMPO	VISUALIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO	Ao observar a visualização do cronograma, os membros do projeto serão capazes de tomar decisões com base em múltiplas fontes de informações precisas e em tempo real. Dentro do modelo de BIM, um gráfico pode ser utilizado para mostrar o caminho crítico e mostra visualmente a dependência de algumas sequências de outros. À medida que o projeto for alterado, os modelos BIM avançados serão capazes de identificar automaticamente as alterações que irão afetar o caminho crítico e indicar o impacto correspondente que terá na entrega total do projeto.	
5D - CUSTO	QUANTIFICAÇÃO	Para determinar o custo e as exigências de construção de um projeto, empreiteiros tradicionalmente realizar quantificação dos materiais manualmente, um processo repleto de potencial de erro. Com o BIM, o modelo inclui informação que permite que um empreiteiro gere de forma precisa e rápida uma série de informações essenciais para estimativa, tais como as quantidades de materiais e seus custos, estimativas de tamanho e área e as projeções de produtividade. Conforme são feitas as mudanças, as informações de estimação se ajusta automaticamente, permitindo uma maior produtividade contratante.	

NÍVEL DE DIMENSÃO	CARACTERÍSTICA	FUNÇÕES		
	ESTIMATIVA DE CUSTO EM TEMPO REAL	Em BIM, os dados de custos podem ser adicionados no modelo a cada objeto que permita calcular automaticamente uma estimativa aproximada de custos de material. Isso fornece uma ferramenta valiosa para os projetistas, permitindo-lhes realizar engenharia de valor.		
6D - GESTÃO	GERENCIAMENTO DO CICLO DE VIDA	Quando um modelo é criado pelo projetista e atualizado durante a fase de construção, terá a capacidade de se tornar um modelo " <i>as-built</i> ", que também pode ser entregue ao proprietário. O modelo será capaz de conter todas as especificações, manuais de operação e manutenção e informações de garantia, útil para manutenção futura.		
DE INSTALAÇÕES	CAPTURA DE DADOS	Sensores podem dar retorno e registrar dados relevantes para a fase de operação de um edifício, permitindo que o BIM seja usado para modelar e avaliar a eficiência energética, monitorar os custos do ciclo de vida de um edifício e otimizar a sua eficiência de custos. Ele também permite que o proprietário avalie o custo/efetividade de todas as atualizações propostas.		

Fonte: BIM, 201-.

# 2.2 PARAMETRIZAÇÃO E O FORMATO IFC

Na modelagem BIM, os elementos construtivos são paramétricos, interconectados e integrados. Com o aprimoramento das capacidades de parametrização contidas nos programas gráficos, é possível alterar seus componentes já modelados e obter atualizações instantâneas que repercutem em todo o projeto. A consequência disso é a diminuição dos conflitos entre elementos construtivos, a facilitação das revisões e o aumento da produtividade (FLORIO, 2007).

Ainda segundo Florio (2007), os três tipos de parametrização – a parametrização de componentes; a relacional entre elementos; e a por regras, restrições e fórmulas – potencialmente podem servir tanto para gerar e encontrar a forma a partir de restrições e regras impostas pelo projetista, como para configurar e inter-relacionar com outros elementos paramétricos do projeto. Na parametrização relacional, pode-se estudar como um componente pode afetar o outro conectado a ele. Portanto, a parametrização pode servir tanto para criar como para desenvolver formas e elementos necessários para o projeto: dependerá das ferramentas disponíveis no *software* utilizado.

Segundo Eastman (2011), objetos BIM paramétricos são definidos da seguinte maneira:

a) Consistem em definições geométricas e dados e regras associadas.

b) A geometria é integrada de maneira não redundante e não permite inconsistências. Quando um objeto é mostrado em 3D, a forma não pode ser representada internamente de maneira redundante, por exemplo, como múltiplas vistas 2D. Uma planta e uma elevação de dado objeto devem sempre ser consistentes. As dimensões não podem ser "falsas".

c) As regras paramétricas para os objetos modificam automaticamente as geometrias associadas quando inseridas em um modelo de construção ou quando modificações são feitas em objetos associados. Por exemplo, uma porta se ajusta imediatamente a uma parede, um interruptor se localizará automaticamente próximo ao lado certo da porta, uma parede automaticamente se redimensionará para se juntar a um teto ou telhado, etc.

d) Os objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação, então podemos definir uma parede, assim como seus respectivos componentes. Os objetos podem ser definidos e gerenciados em qualquer número de níveis hierárquicos. Por exemplo, se o peso de um subcomponente de uma parede muda, o peso de toda a parede também deve mudar.

e) As regras dos objetos podem identificar quando determinada modificação viola a viabilidade do objeto no que diz respeito a tamanho, construtibilidade. etc.

f) Os objetos têm a habilidade de vincular-se a ou receber, divulgar ou exportar conjuntos de atributos, por exemplo, materiais estruturais, dados acústicos, dados de energia, etc, para outras aplicações e modelos.

Segundo Rocha (2011), o problema apontado por quase todos os agentes da cadeia de projetos e considerado essencial para um bom funcionamento do BIM é a interoperabilidade dos *softwares*. Por questões comerciais, existem fabricantes que não possibilitam a exportação de projetos para um formato que possa ser compartilhado em programas de outras marcas que não a sua. Com isso, os arquitetos, projetistas de estruturas, hidráulicos e elétricos ficam preso a uma única família de programas, que nem sempre atendem às suas necessidades.

A fim de manter a parametrização e interoperabilidade entre softwares, assim evitando perdas de dados ou informações, foi criado o formato IFC. Para Rocha (2011), é preciso que todos os *softwares* adotem 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.

Para Eastman (2011), interfaces abertas devem permitir a importação de dados relevantes (para criação e edição de um projeto) e exportação de dados em vários formatos (para dar suporte à integração com outras aplicações e fluxos de trabalho). Eastman (2011) define duas abordagens para essa integração:

I. Usar somente produtos de determinado fornecedor de *software*, permitindo uma integração mais intensa entre os produtos, em múltiplas direções. Por exemplo, modificações no modelo de arquitetura irão gerar mudanças no modelo estrutural e vice-versa. Isso requer, no entanto, que todos os membros de uma equipe de projeto usem aplicativos do mesmo fornecedor.

II. Usar software de vários fornecedores que podem intercambiar dados usando padronizações amparadas pela indústria. Utiliza tanto padronizações proprietárias quanto de código aberto, publicamente disponíveis e suportadas, criadas para definir objetos de construção (IFCs).

Essas padronizações podem proporcionar um mecanismo para a interoperabilidade entre aplicações com diferentes formatos internos. Essa abordagem oferece mais flexibilidade em troca de uma redução na interoperabilidade, especialmente se os vários programas utilizados em dado empreendimento não suportam os mesmos padrões de intercâmbio. Isso permite que objetos de uma aplicação BIM sejam exportados ou importados para/de outro *software* (EASTMAN, 2011).

#### 2.3 ESCOLHA DE SOFTWARES

Para cada etapa do processo, existem diversas opções de escolha de *softwares*, com suas características, pontos fortes e aspectos possíveis de serem melhorados. O Quadro 2 lista uma série de *softwares* disponíveis de diferentes fabricantes para cada etapa do processo.

Disciplinas de projeto	Ferramentas BIM			
Arquitetura	Revit Architecture			
	ArchiCAD			
	Vectorworks			
	Bentley Architecture			
	All plan			
	DDS-CAD Architect			
	Tekla Structures			
Estrutura	Revit Structure			
LSUUUIA	CAD / TQS			
	Bentley Structural			
	Revit MEP			
Elétrica	Bentley - Building Electrical Systems			
	DDS-CAD Electrical			
	Revit MEP			
Hidráulica / HVAC	Bentley Mechanical Systems			
	DDS-HVAC			
	Navisworks			
Gerenciamento de projetos	Synchro			
	Solibri			
	Vico Software			
	Volare / TCPO			
Coronciamonto o orcamonto	Primavera			
de obras	MSProject			
	Tron-orc			
	Orca Plus			
	Orçamento Expresso PINI			

#### Quadro 2 Ferramentas associadas à disciplina de projeto.

Fonte: Rocha, 2011.

Este trabalho atua sobre as disciplinas de arquitetura, gerenciamento de projetos e gerenciamento e orçamento de obras. A partir do momento que a construtora possui licenças de uso para MSProject, há necessidade de escolha dos *softwares* para as outras disciplinas.

Para escolha dessas ferramentas BIM, antes é necessário fazer uma análise de interoperabilidade de *softwares*. Segundo Rocha (2011), para o BIM funcionar bem como um banco de dados, não só para análise de incompatibilidades, os *softwares* das diferentes marcas precisam ser compatíveis entre si. Hoje, o formato IFC permite que se crie um projeto em um determinado aplicativo e exporte para outro, que não precisa ser necessariamente do mesmo fabricante. O problema é que ocorrem, em alguns casos, perdas de dados na transição.

A fim de se evitar perdas de dados, foi feita a escolha de utilizar de ferramentas de mesmo fabricante e que possuíssem versão de análise gratuita. Dentre os *softwares* compatíveis, observou ainda que a melhor opção seria as ferramentas da Autodesk, pois a versão de estudante e a versão de teste ainda possuí todos os recursos da versão comercial.

## 2.4 MICROSOFT PROJECT

O Microsoft Project ajuda a planejar projetos e colaborar com outras pessoas com facilidade. Possibilita manter-se organizado e ter controle dos projetos com o único sistema de gerenciamento de projetos. É possível ainda ter conhecimento do resultado das suas tarefas e identificar as que são as mais críticas para o sucesso do seu projeto podendo realçar o caminho crítico no gráfico de Gantt (MICROSOFT, 2013).

Permite elaborar relatórios prontos para uso, ou personalizar relatórios próprios com uso semelhante ao Excel para medir rapidamente o progresso e se comunicar de forma eficaz a equipe, executivos e participantes (MICROSOFT, 2013).

Possibilita ainda antever as mudanças usando ferramentas aprimoradas, a fim de ver e corrigir problemas em potencial antes que possam afetar o cronograma da obra. Permite trabalhar de forma integrada com outras pessoas para acompanhar o status e gerenciar mudanças com eficácia (MICROSOFT, 2013).

### Terminologia dos Arquivos Usados

Arquivo Plano de Projeto – Microsoft *Project Plan* (MPP), formato de arquivo padrão para um projeto, que usa a extensão *mpp*. É compatível com todos as versões do *softwares* a partir da versão 2000-2002 (MICROSOFT, 2013).

### 2.5 AUTODESK REVIT

O software Revit foi desenvolvido especificamente para a Modelagem de informação da Construção (BIM), possibilitando que os profissionais de projeto e construção levem suas ideias da concepção até a elaboração, com uma abordagem por modelos coordenada e consistente. O Revit é um aplicativo individual que inclui recursos para projeto arquitetônico, construção e de engenharia estrutural e de instalações (AUTODESK, 2014b).

## • Detalhes de Modelagem – Criação de Fases

Alguns projetos arquitetônicos, podem proceder em fases – traduzido do inglês *phases*, e correspondem ao intervalo de construção entre duas etapas consecutivas. Segundo a Autodesk (2014b), as fases têm as seguintes características:

- a) Fases representam períodos distintos em um ciclo de vida do projeto.
- b) O tempo de vida de um elemento dentro de um edifício é controlado por fases.
- c) Cada elemento tem uma fase de construção, mas apenas os elementos com um tempo de vida finito tem uma fase de destruição.
- Terminologia dos Arquivos Usados

Arquivo Projeto Revit – Revit Project (RVT) é a terminologia básica de trabalho do Revit. Apesar de trabalhar com outras fontes de trabalho, todas são lidas, convertidas e salvas em arquivo rvt. Entretanto, o Revit permite importar e exportar para diversos tipos de arquivos, inclusive DWG e NWC.

## 2.6 SKETCHUP

Criado para proporcionar uma experiência próxima do desenho à mão e de modelagem com objetos reais, o SketchUp vem conquistando uma legião de usuários fiéis ano após ano.

O SketchUp se destaca pela rapidez e facilidade de criação de objetos e estudos volumétricos. A qualidade da apresentação, bastante original, que foge de padrões usados normalmente, e a capacidade de trocar dados entre vários programas do segmento CAD também são diferenciais importantes.

O programa também traz outras inovações, como a integração com o Google Earth e a disponibilização de várias bibliotecas gratuitamente, pelo site Armazém 3D.

### Terminologia dos Arquivos Usados

Arquivo SketchUp – Arquivo básico de projeto SketchUp (SKP) possui compatibilidade com várias outras fontes de trabalho. Além disso, permite exportar modelos nos formatos de arquivo 3DS, DWG, DXF, OBJ, XSI, VRML e FBX.

## 2.7 ANÁLISE AUTODESK REVIT VERSUS SKETCHUP

O software SketchUp possui um extenso uso em escritórios de arquitetura, tanto por existir uma versão gratuita com várias recursos e também pela simplicidade de uso – diminuindo a dificuldade de modelagem além de permitir execução de objetos fora do padrão, como detalhes de fachada ou modelagem de terreno, além de ser possível a interoperabilidade com o *software* Navisworks. A construtora em questão já fazia uso de tal recurso.

Entretanto, o SketchUp não é considerado um *software* BIM, ou seja, em seu módulo básico, não possui recursos de parametrização e também não fornece informação de fases assim como Revit. Segundo Eastman (2011), modelos que contenham apenas dados 3D e nenhum (ou poucos) atributos de objetos, não é considerado tecnologia BIM. Estes são modelos que podem apenas ser usado para visualizações gráficas e não tem inteligência ao nível do objeto. Eles são bons para a visualização, mas não fornecem suporte para integração de dados e análise de projeto. SketchUp é um exemplo de aplicação na qual é excelente para desenvolvimento rápido de desenhos esquemáticos de construções, mas uso limitado para qualquer outro tipo de análises porque não tem conhecimento dos objetos nos desenhos além de sua geometria e aparência para visualização.

Sendo assim, visando evitar perder informações entre os *softwares* e também a criação de grupos para automatização do processo, optou se pelo uso dos *softwares* da Autodesk – Revit e Navisworks, com exceção dos estudo de projeto de canteiro e de fachada, em que não há necessidade de se obter parâmetros além das informações de tamanho e posição dos itens e também visando a facilidade de modelagem. Segundo Barros (2010), o Quadro 3 resume as principais vantagens para cada *software*:

Quadro 3 Resumo comparativo entre Revit e SkecthUp.

Autodesk Revit		SketchUp	
٠	O projeto trabalhado fica armazenado em	•	Modelagem rápida e intuitiva;
	uma biblioteca, o que permite a vários	•	Possui uma versão em Português gratuita e
	usuários trabalharem com o mesmo arquivo		totalmente funcional;
	simultaneamente;	•	Imensa biblioteca gratuita de componentes
•	Planos, seções, elevações e legendas são		(blocos) que podem ser baixados
	todos interligados, qualquer alteração em		diretamente do programa;
	um afeta todas as vistas;	•	Poucos botões e interface amigável;
•	Desenho a partir de parâmetros;	•	Interação com o Google Earth, permitindo
•	Documentação automática do trabalho e		posicionamento georeferenciado do projeto;
	extração de dados do projeto (planilha de	•	Centenas de Tutorias gratuitos disponíveis
	orçamentos);		na internet;

Fonte: BARROS, 2010.

As Figuras 5 e 6 demonstram os modelos 3D no Revit e SketchUp, respectivamente.

Figura 5 Modelo 3D gerado no Revit.



Fonte: Autor.



Figura 6 Modelo 3D gerado no SketchUp.

Fonte: Autor.

#### 2.8 AUTODESK NAVISWORKS MANAGE

O software de análise de projetos Navisworks ajuda profissionais de arquitetura, engenharia e construção a analisar de modo geral os modelos e dados integrados com os envolvidos, a fim de ter um controle melhor sobre os resultados do projeto. As ferramentas de integração, análise e comunicação ajudam as equipes a coordenar disciplinas, resolver conflitos e planejar os projetos antes do início da construção ou reforma (AUTODESK, 2014a).

Para este estudo, foi utilizada a versão Autodesk Navisworks Manage 2014. Dentro os novos recursos inseridos nessa versão, o aspecto necessário para execução deste trabalho foi a exportação de tarefas da *TimeLiner* para *Sets*. Tal recurso permite exportar a lista de tarefas do *TimeLiner* diretamente para o gerenciamento de *Sets*, criando toda a hierarquia e ligações, economizando tempo na criação. Os *Sets* criados possuem a mesma nomenclatura das tarefas além de já estar automaticamente interligado. • Terminologia dos Arquivos Usados

Segundo Autodesk (2012)<sup>2</sup> apud Nunes (2013), temos a seguir uma explicação da terminologia de arquivos usados no *softwares* Navisworks:

# a) Arquivos de Cache (NWC)

Quando qualquer arquivo nativo do CAD ou Revit estiver aberto ou anexado, o Autodesk Navisworks cria um arquivo em cache (NWC), caso a opção gravar em cache estiver ativada. Quando o arquivo é aberto ou anexado da próxima vez, o Autodesk Navisworks irá ler os dados do arquivo de cache correspondente em vez de reconverter os dados originais se o cache for mais novo do que o arquivo original. Se o arquivo original for alterado, o Autodesk Navisworks irá recriar o arquivo de cache da próxima vez que for carregado. Os arquivos de cache aceleram o acesso aos arquivos de uso comum. Eles são particularmente úteis para modelos compostos de muitos arquivos, entre os quais apenas alguns são modificados entre as sessões de visualização. Os arquivos de cache também podem ser exportados de alguns aplicativos de CAD onde um leitor de arquivo nativo não está disponível com o Autodesk Navisworks.

# b) Arquivos De Dados Publicados (NWD)

Os arquivos NWD publicados são úteis ao se desejar obter um instantâneo do modelo em determinado momento. Toda a informação de geometria e revisão é salva nos arquivos NWD, não podendo assim ser alterada. Os arquivos NWD publicados também podem conter informações sobre o arquivo, assim como são capazes de serem protegidos por senha e marcados no tempo para fins de segurança. Estes arquivos são também bem pequenos, comprimindo os dados em até 80% de seu tamanho original.

# c) Arquivos Revisados (NWF)

Os arquivos de revisão são úteis ao utilizar os arquivos anexados ao Autodesk Navisworks. Eles armazenam a localização dos arquivos anexados, junto com

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> AUTODESK. **Ajuda do Autodesk Navisworks Simulate.** 2012. Disponível em: <a href="http://docs.autodesk.com/">http://docs.autodesk.com/</a> Acesso em: 07/04/2013.

quaisquer revisões do projeto feitas no Autodesk Navisworks, como comentários, linhas de marcação, pontos de vista, animações e assim por diante.

Se um grupo de arquivos é anexado a uma cena do Autodesk Navisworks e salvo como um arquivo NWF, então, ao reabrir este arquivo NWF mais tarde, uma vez que os arquivos originais tenham sido alterados, os arquivos atualizados serão carregados na cena para revisão.

### 2.8.1 Métodos de Operação e Automatização

Dentro das possibilidade de operação, apontaremos duas alternativas. A principal diferença entre estas opções é a ordem de execução entre as etapas e a interoperabilidade entre os *softwares*.

I.A primeira possiblidade é a criação independente do modelo 3D e do planejamento. Neste caso, por ter liberdade de utilização, a operação de modelagem e planejamento se torna mais rápido e flexível, podendo ser alterado à medido que for construído. Entretanto a operação do Navisworks se torna um trabalho basicamente manual, pois dispende-se muito mais tempo fazendo a correspondência entre o modelo 3D e o planejamento. Apesar disso, possíveis erros de planejamento e/ou modelagem podem ser corrigidos durante a operação do Navisworks.

II. Outra possibilidade é a criação a partir de uma estrutura hierárquica inicial, aqui denominada Estrutura Analítica de Projeto – EAP. Nesse caso, devido à necessidade de seguir uma estrutura, é preciso dispender um tempo maior na criação da EAP, da modelagem e do planejamento. Este método não permite flexibilidade de mudanças na criação, entretanto, torna a operação do *software* Navisworks automatizado, reduzindo drasticamente o tempo dispendido. Além disso, essa opção parametriza

a relação entre o modelo 3D e o planejamento, podendo ser facilmente identificadas e analisadas.

#### 2.8.2 Conceitos

#### a) Linha do Tempo – *Timeliner*

Corresponde à área de importação e criação dos dados do planejamento. Segundo a Autodesk (2014a), a janela acoplável *TimeLiner* permite anexar itens do modelo 3D para as tarefas do projeto, e simular cronogramas de projetos. Devido a ambiguidade da tradução, foi optado por utilizar neste o termo em inglês – *TimeLiner*.

### b) Pasta de Trabalho de Quantitativos – Quantification Workbook

Este espaço permite quantificação de itens, materiais e quantidades. Ainda segundo Autodesk (2014a), o *Quantification Workbook* é o espaço chave de trabalho. A partir daqui é possível executar um quantitativo do modelo (automático) ou um quantitativo virtual (manual). É possível mudar o modo de exibição do *Quantification Workbook* para visualização dos objetos ou visualização dos recursos.

#### c) Árvore de Seleção – Selection Tree

Este espaço lista todos os modelo 3D importados criado em outros *softwares* e os ordena em vários tipos de modo, gerando visualizações automáticas do modelo. A Autodesk (2014a) define como uma janela acoplável, o qual exibe uma grande variedade de vistas hierárquicas da estrutura do modelo, tal como definido pela aplicação CAD em que o modelo foi criado. Devido à ambiguidade da tradução, optouse por utilizar neste o termo em inglês – *Selection Tree*.

#### d) Conjuntos – Sets

A janela de Sets exibe uma vista hierárquica do modelo. Estes Sets podem ser criados pelo próprio operador do Navisworks, ou gerados automaticamente pelo conteúdo do *TimeLiner*. Diferentemente da *Selection Tree*, o conteúdo dos *Sets* podem ser modificados a qualquer momento, adicionando ou removendo itens, alterando posição hierárquica ou ainda simplesmente apagando o *Set* por inteiro. Devido à ambiguidade da tradução, foi optou-se por utilizar neste trabalho o termo em inglês – *Sets*.

#### e) Detecção de Colisões – Clash Detective

A janela acoplável *Clash Detective* permite definir as regras e as opções para os seus testes de interferência, ver os resultados, classificá-los e produzir relatórios (AUTODESK, 2014a). Esta interface permite realizar testes de interferências no modelo. É possível analisar, compartilhar entre outros operadores, acompanhar resoluções e gerar relatórios.

#### 2.8.3 Ferramentas

#### a) Selecionar e Procurar – Select & Search

Esta aba contém as ferramentas de seleção e procura. É possível selecionar vários arquivos individualmente ou arrastando o cursor. Permite também modos de pesquisa de itens por vários modos. Nesta aba estão contidos os botões de visualização Selection Tree e Sets.

#### b) Visibilidade – Visibility

Esta aba contém as ferramentas de visualização. Permite ocultar objetos para tornar a seleção de objetos mais efetivas. Possui ferramentas de ocultar, exibir, restringir, ocultar não selecionados e de exibir todos itens.

## c) Anexar – Append

Esta ferramenta permite anexar arquivos de modelo oriundos de outros *softwares*. O Navisworks possui uma lista extensa de *softwares* com interoperabilidade; entretanto, nem todos possuem total compatibilidade, podendo haver perdas de dados. Entre os formatos suportados, estão DWG, DGN, DXF, 3DS, entre outros.

#### d) Vincular Automaticamente Usando Regras – Auto-Attach Using Rules

Ferramenta disponível na janela *TimeLiner*. Permite introduzir diversos tipos de opção de regras de correspondência entre os itens do modelo e as tarefas do planejamento. Dentro as opções de correspondência, pode associar aos Sets ou ainda ao itens contidos no *Selection Tree*, usando diversos tipos de associação, tais como nome, id, fase, propriedades, entre outros. A economia de tempo alcançada através

desta ferramenta está interligado ao modo de como for criado modelo 3D, atendendo a regras ou padrões.

## e) Exportar Para Sets - Export To Sets

Esta ferramenta também está disponível na janela *TimeLiner*. Permite reproduzir a estrutura das tarefas do *TimeLiner* na janela de Sets, inclusive mantendo suas relações hierárquicas. Caso as tarefas estejam com correspondências aos itens do modelo, tal correspondência também é reproduzido aos Sets.

## f) Simular – Simulate

Esta ferramenta permite realizar simulações com base no cronograma estabelecido no time *TimeLiner* e o modelo 3D. Esta ferramenta está disponível na aba *Simulate* da janela *TimeLiner* e é possível executar a simulação da obra inteira e identificar erros, incompatibilidades e interferências relacionadas à execução da obra. Pode-se incluir também ferramentas e equipamentos à simulação.

## 2.8.4 Simulação Comparativa

A partir do momento em que se insere dados do acompanhamento de obras ao cronograma, é possível analisar o quanto as possam estar atrasadas Para uma análise rápido e pontual, na aba *Tasks* ou *Simulate* da janela *TimeLiner* é possível identificar as etapas que estão com problemas através da coluna *Status*, conforme Quadro 4:

ÍCONE INFORMAÇÃO		ÍCONE	INFORMAÇÃO
	Concluído antes do início planejado.		Início na data, término atrasado.
	Início antecipado, término antecipado.		Início atrasado, término antecipado.
	Início antecipado, término na data.		Início atrasado, término na data.
	Início antecipado, término atrasado.		Início atrasado, término atrasado.
	Início na data, término antecipado.		Início após a data de término.
	Início e término na data.		Sem comparação.

Quadro 4 Relação de Status da aba de tarefas do Navisworks.

Fonte: Autor.

O Navisworks permite a execução de simulação comparativa entre uma linha de base e os dados de início e término reais de cada tarefa, para que seja possível realizar uma análise mais detalhada. Antes de discutir sobre os diferentes tipos de análise, precisamos conceituar alguns termos utilizados pelo Navisworks:

• *Task Type Start Appearance* – Como a tarefa é representada no modelo assim que ela começa a ser executado no cronograma;

 Task Type Early Appearance – Como a tarefa é representada no modelo assim que ela começa a ser executado antecipado ao planejado no cronograma;

• *Task Type Late Appearance* – Como a tarefa é representada no modelo assim que ela começa a ser executado atrasado ao planejado no cronograma.

Sendo assim, entre os modos de análise disponíveis, a Autodesk (2014a) classifica:

a) Real – Actual

Esta análise simula somente o planejamento real (ou seja, utiliza somente as datas de Início real e final real).

b) Real (Diferenças Planejadas) – Actual (Planned Differences)

Esta análise simula o "planejamento Real" contra o "planejamento Planejado". Esta vista somente realça os itens anexados na tarefa na faixa de datas reais (ou seja, entre inicial real e final real. As figuras 7 e 8 trazem uma representação gráfica). Para períodos de tempo onde as datas Reais estão dentro das datas Planejadas (no prazo), os itens anexados na tarefa serão exibidos na Aparência de *Task Type Start Appearance*. Para períodos de tempo onde as datas Reais estão antecipadas ou atrasadas em comparação às datas de Planejadas (há uma variação), os itens anexados na tarefa serão exibidos em *Task Type Early* ou *Late Appearance*, respectivamente.



Figura 7 Tarefa com início antecipado e término atrasado – referência datas reais.

Fonte: Autodesk, 2014a.

Figura 8 Tarefa com início atrasado e término atrasado – referência datas reais.



Fonte: Autodesk, 2014a.

# c) Planejado - Planned

Escolhe-se esta análise para simular somente o "planejamento planejado" (ou seja, somente utilizar as datas inicial planejado e final planejado).

# d) Planejado (Diferenças Reais) – Planned (Actual Differences)

Esta análise simula o "planejamento real" contra o "planejamento planejado". Esta vista somente realçará os itens anexados à tarefa na faixa de datas Planejadas (ou seja, entre Início Planejado e Término Planejado. As figuras 9 e 10 trazem uma representação gráfica). Para períodos de tempo onde as datas Reais estão dentro das datas Planejadas (no prazo), os itens anexados à tarefa serão exibidos em *Task Type Start Appearance*. Para períodos de tempo onde as datas Reais estão antecipadas ou atrasadas em comparação às datas Planejadas (há uma variação), os itens anexados na tarefa serão exibidos em *Task Type Early* ou *Late Appearance*, respectivamente.



Figura 9 Tarefa com início antecipado e conclusão atrasada - referência planejamento.

Figura 10 Tarefa com início atrasado e conclusão atrasada - referência planejamento.



Fonte: Autodesk, 2014a.

# e) Planejado contra Real – Planned Against Actual

Escolhe-se esta vista para simular o "planejamento Real" contra o "planejamento planejado". Isso realçará os itens anexados à tarefa em toda a faixa de datas planejadas e reais (ou seja, a primeira data de início real e planejado e na última data de término real e planejado. Veja as Figuras 11 e 12 para uma representação gráfica). Para períodos de tempo onde as datas reais estão dentro das datas planejadas (no prazo), os itens anexados à tarefa serão exibidos em *Task Type Start Appearance*. Para períodos de tempo onde as datas reais estão antecipadas ou

Fonte: Autodesk, 2014a.
atrasadas em comparação às datas planejadas (há uma variação), os itens anexados na tarefa serão exibidos em *Task Type Early* ou *Late Appearance*, respectivamente.



Figura 11 Tarefa com início antecipado e conclusão atrasada - comparação planejamento com datas reais.

Figura 12 Tarefa com início atrasado e conclusão atrasada - comparação planejamento com datas reais.



Fonte: Autodesk, 2014a

Fonte: Autodesk, 2014a.

#### **3 PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE OBRA**

Planejar e acompanhar obras são duas tarefas de grande importância para a engenharia. Atualmente, a construção civil é uma atividade que envolve grande quantidade de variáveis e se desenvolve em um ambiente particularmente dinâmico e mutável. Gerenciar uma obra adequadamente não é um dos trabalhos mais fáceis e, no entanto, muito de improvisação ainda tem lugar nos canteiros por todo o mundo.

Mattos (2010) define planejamento da obra como um dos principais aspectos do gerenciamento, conjunto de amplo espectro, que envolve também orçamento, compras, gestão de pessoas, comunicações, etc. Ao planejar, o gerente dota a obra de uma ferramenta importante para priorizar suas ações, acompanhar o andamento dos serviços, comparar o estágio da obra com a linha de base referencial e tomar providências em tempo hábil quando algum desvio é detectado.

## 3.1 PLANEJAMENTO

Segundo Walker (2002)<sup>3</sup> apud Santos (2010), uma definição para o planejamento da construção como sendo o planejamento, coordenação e controle de um projeto desde a concepção até à conclusão (incluindo a concessão) em nome de um cliente requerendo a identificação dos objetivos do cliente em termos de utilidade, função, qualidade, tempo e custo, e o estabelecimento de relações entre recursos, integrando, monitorizando e controlando os envolvidos no projeto e a sua contribuição, e avaliando e selecionando alternativas com o objetivo de satisfazer o cliente com o resultado do projeto.

## Conceitos

Abaixo é conceituado alguns dos principais termos utilizados no planejamento de obras:

#### a) Estrutura Analítica de Projeto

A Estrutura Analítica de Projeto (EAP) consiste no desdobramento do Projeto em unidades menores, até chegar aos Pacotes de Trabalho, elementos discretos

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> WALKER, A. – Project Management in Construction, 4. ed., Blackwell Science, 2002.

(discreto aqui entendido obviamente como o oposto de contínuo, ou seja, discreto significa pacotes enumeráveis), e mutuamente exclusivos, o que significa que não deve haver elementos de escopo contidos em mais de um pacote de trabalho. A Estrutura Analítica de Projeto fornece o adequado arcabouço para a estimativa de custo de cada item, bem como possibilita a adequada construção do cronograma (STONNER, 2013).

Para Mattos (2010), para se planejar uma obra é preciso subdividi-la em partes menores. Esse processo é chamado decomposição. Por meio da decomposição, o todo — que é a obra em seu escopo integral — é progressivamente desmembrado em unidades menores e mais simples de manejar. Os grandes blocos são sucessivamente esmiuçados, destrinchados na forma de pacotes de trabalho menores, até que se chegue a um grau de detalhe que facilite o planejamento no tocante à estipulação da duração da atividade, aos recursos requeridos e à atribuição de responsáveis.

A estrutura hierarquizada que a decomposição gera é chamada de Estrutura Analítica do Projeto (EAP). Basta pensar em uma árvore genealógica, com o avô em um nível, seus filhos em um nível mais abaixo, os netos no nível imediatamente inferior e assim por diante. Essa é a configuração da EAP, uma árvore com ramificações (MATTOS, 2010).

#### b) Diagrama de Gantt

A visualização das atividades com suas datas de início e fim pode ser conseguida lançando-se mão do recurso gráfico chamado de diagrama de Gantt, assim batizado em homenagem ao engenheiro norte-americano Henry Gantt, que introduziu o diagrama de barras como ferramenta de controle de produção de atividades, sobretudo na construção de navios cargueiros no início do século XX (MATTOS, 2010).

O diagrama de Gantt é um gráfico simples: à esquerda figuram as atividades e à direita, as suas respectivas barras desenhadas em uma escala de tempo, O comprimento da barra representa a duração da atividade, cujas datas de início e fim podem ser lidas nas subdivisões da escala de tempo (MATTOS, 2010).

O diagrama de Gantt constitui uma importante ferramenta de controle, porque é visualmente atraente, fácil de ser lido e apresenta de maneira simples e imediata a posição relativa das atividades ao longo do tempo. Qualquer pessoa com um mínimo de instrução pode manusear um cronograma e dele extrair informação sem dificuldade (MATTOS, 2010).

c) Caminho Crítico

O Caminho Crítico é a sequência de atividades que concorrem para a determinação da duração total. Ele é o conjunto de atividades que define o prazo total da rede. Antes desse prazo, o projeto não pode ser concluído de acordo com os dados informados (MATTOS, 2010).

O Caminho Crítico é formado pelas atividades críticas e define o prazo da obra. As atividades críticas não têm folga — um dia de atraso em uma delas atrasa em um dia o prazo total do projeto. Já as atividades não críticas têm folga. As atividades críticas são aquelas que unem os eventos críticos (MATTOS, 2010). Ainda segundo Mattos (2010), a sequência contínua de atividades críticas é o caminho crítico.

## d) Cronograma de Marcos

Marcos são pontos notáveis que se destacam em um cronograma. Um marco é um instante particular que define o início ou o final de uma etapa do projeto, ou o cumprimento de algum requisito contratual, O termo inglês *milestone* também é utilizado (MATTOS, 2010).

Mattos (2010) ainda define que marcos são pontos de controle. Representá-los no cronograma ajuda a rápida visualização da data em que o projeto alcança esses instantes. Do ponto de vista do planejamento, o marco é uma atividade de duração zero, inserido no cronograma unicamente para fins de referência.

# e) Planejamento de Curto Prazo ou Operacional – Cronograma de Atividades Semanais

A nível de curto prazo, que deve ser atualizado semanalmente, o objetivo é realmente planejar a produção do período. São inseridos no curto prazo os pacotes de trabalho cujas restrições foram completamente removidas no horizonte de médio prazo, possibilitando a produção sem maiores problemas. O planejamento de curto prazo também deve contemplar ações direcionadas à proteção da produção contra os efeitos da incerteza rotineira da obra. Assim, se pode proteger a produção através da

utilização de planos passíveis de serem atingidos, e que foram submetidos a uma análise do cumprimento de seus requisitos e das razões pelas quais as tarefas planejadas não são cumpridas (ROLIM, 2012).

f) Planejamento de Médio Prazo ou Tático - Planejamento de Aquisições

Segundo Formoso et al.(2001), o Plano de Médio Prazo é feito bimestralmente e é comumente denominado como *lookahead planning*, ou seja, "planejamento olhando à frente", devido a sua mobilidade. Suas principais funções são:

- Estabelecer uma sequência do fluxo de trabalho da melhor forma possível, de maneira a facilitar o cumprimento dos objetivos do empreendimento;
- Identificar com precisão a carga de trabalho necessária e a quantidade de recursos requerida para atender o fluxo de trabalho estabelecido;
- III. Decompor o plano de longo prazo em pacotes de trabalho;
- IV. Desenvolver métodos para a execução do trabalho;
- V. Atualizar e revisar o plano de longo prazo da obra.

Uma vez definido o conjunto de pacotes de trabalho a ser realizado, deve ser procedida uma análise de restrições à execução deste pacote. Desta forma, a intenção do planejamento de médio prazo é identificar a maior quantidade possível de restrições a serem removidas em determinado prazo, a fim de que o pacote de trabalho possa ser executado conforme planejado. São exemplos de restrições: a aquisição e entrega de materiais e equipamentos, a realização de inspeções, a obtenção de permissões e aprovações, a disponibilização de projetos, a liberação de espaço, etc (ROLIM, 2012).

O planejamento de médio prazo é considerado o mais importante dos três horizontes, pois é ele o responsável por "puxar" o pacote de produção do longo prazo e inseri-lo para produção no curto prazo, a partir da eliminação de todas as restrições àquele pacote. Desta forma, o engenheiro da obra elabora o planejamento, mas todos os setores podem contribuir com suas restrições, de modo a tentar abranger a maior quantidade possível de restrições a serem removidas (ROLIM, 2012).

g) Planejamento de Longo Prazo ou Estratégico

O Plano de Longo Prazo consiste em um planejamento estratégico, mais abrangente e com a menor quantidade possível de detalhes. O interessante neste momento é ter uma visão geral do empreendimento, do tempo total de execução da obra e de possíveis interferências externas (ROLIM, 2012).

Ainda segundo Rolim (2012), devido às incertezas geradas no processo produtivo, o planejamento de longo prazo deve oferecer um baixo nível de detalhes. Além disso, também serve de base para o estabelecimento de contratos, fornecendo um padrão de comparação no qual o desempenho dos empreendimentos pode ser monitorado.

## 3.2 ACOMPANHAMENTO

O planejamento de uma obra não se esgota na preparação do cronograma inicial. É preciso monitorar o avanço das atividades e averiguar se o cronograma é obedecido ou se há variação entre o que foi previsto e o que vem sendo realizado no campo (MATTOS, 2010).

De nada vale planejar uma obra com critério e boa técnica se o planejamento for desprovido do acompanhamento, pois o construtor precisa comparar permanentemente o previsto com o realizado para saber se sua pretensão inicial de prazos está sob controle ou se são necessárias medidas corretivas (MATTOS, 2010).

Segundo Mattos (2010), o acompanhamento obedece a três etapas sucessivas, conforme Quadro 5.

Quadro 5 Etapas do acompanhamento.

Aferição do progresso das atividades	Nesta etapa, o progresso das atividades é aferido no campo para posterior comparação com o que havia sido planejado para aquele período. Nesta fase, a equipe registra o avanço de cada tarefa em quantidade (m*, t, kg) ou porcentual.
Atualização da planejamento	Nesta etapa, os dados de campo são cotejados com o planejamento referencial – comparação previsto x realizado. O cronograma é então recalculado de acordo com o que falta ser feito. Em função do progresso real das atividades, o caminho critico pode ter se alterado, tendo migrado para outro ramo.
Interpretação do desempenho	A atualização do planejamento deve ser acompanhada de uma avaliação crítica da tendência de atraso ou adiantamento da obra. Nesta etapa, o planejador e a equipe da obra analisam as causas de desvio do cronograma e inferem se as discrepância ocorreram por um motivo pontual ou se representam uma tendência.

Fonte: MATTOS, 2010.

Conceitos

Abaixo é conceituado alguns dos principais termos utilizados no acompanhamentos de obras:

## a) Linha de Base

Mattos (2010) define Linha de Base como planejamento inicial concluído e aprovado pela equipe executora da obra. Ele é, por assim dizer, o ideal a ser perseguido pela equipe do projeto, pois contém todas as atividades, reflete a lógica executiva, mostra os recursos alocados e identifica o caminho crítico.

## b) Boletim de Medição

Boletim de Medição tem a função de controlar o quantitativo de serviços que foi executado. Cada boletim de medição refere-se a um intervalo de tempo determinado e apenas a um tipo de atividade e um profissional ou equipe determinada.

## 4 METODOLOGIA

Este trabalho, a princípio consiste de revisão bibliográfica sobre modelagem de informação da construção, incluindo seu conceitos e suas aplicações práticas na construção civil. Dentro deste tópico, foi feita uma revisão sobre as ferramentas dos *softwares* que serão utilizados nesse estudo, dentro os quais constam o MSProject, Revit, SketchUp e Navisworks, as interações existentes entre eles, as dificuldades encontrados e as soluções sugeridas.

Em um segundo momento, foi feita uma revisão bibliográfica dos conceitos de acompanhamento de obras e suas aplicações com a utilização das ferramentas disponíveis nos *softwares* estudados. Foi explorada a interação entre os conceitos BIM – aqui incluindo sua interoperabilidade e parametrização – e gerenciamento de obras. Nesta revisão foram utilizados livros, revistas especializadas, artigos científicos, monografias de graduação e dissertações de mestrado, sendo que boa parte da bibliografia utilizada encontra-se em língua inglesa.

Após a conclusão das revisões descritas, foi realizado um estudo de caso com a intenção de aplicar as ferramentas BIM em um gerenciamento de uma determinada obra. Primeiramente foi feita uma caracterização da obra a fim de ser estabelecida limites e as particularidades para a experiência em estudo.

Logo após foi executada a Estrutura Analítica do Projeto – EAP, que consiste em traçar cada uma das etapas e sub etapas do projeto. Baseados na EAP, foram construídos um modelo 3D no Revit e um Planejamento de Longo Prazo – PLP, no MSProject, utilizando para ambos a mesma estrutura.

Em seguida, ambos foram importados ao Navisworks. Devido à interoperabilidade do *software*, que permite leitura de vários tipos de arquivos, existem inúmeras formas de operar o *software*. Seguindo a linha de trabalho, logo após foi criada uma regra de leitura entre as etapas do planejamento e as fases do modelo 3D. Ao final do processo, foi gerado uma *TimeLiner*, uma planilha que integra o cronograma ao modelo, e realizado a simulação da obra, objeto de estudo do trabalho.

Após esse processo, foram feitos estudos em relação aos projetos da obra, entre eles, estudos de canteiro, de fachadas e de vergas e contra-vergas. Para isso, utilizamos imagens geradas pelos *softwares* em corte, planta ou perspectiva. Depois disso, foi apresentado resultado do acompanhamento da obra utilizando as ferramentas disponíveis, através da *TimeLiner*. Dentro das atividades exercidas no planejamento, destaca-se neste trabalho a identificação do caminho crítico e possíveis atrasos de obras, além da execução do Cronograma de Marcos e a possibilidade de detalhar através de modelos 3D as tarefas a serem executadas.

Ao final de todo processo, foi possível observar os benefícios trazidos pelas ferramentas e os conceitos BIM aplicado ao planejamento e acompanhamento de obras. O Quadro 6 associa os objetivos específicos às atividades exercidas, às ferramentas utilizadas e aos resultados esperados.

Quadro 6 Metodologias adotadas.

OBJETIVO GERAL	Avaliar a utilização da modelagem 4D no planejamento e acompanhamento de obras.				
OBJETIVOS	METODOLOGIA				
ESPECÍFICOS	ATIVIDADES	FERRAMENTAS	RESULTADOS ESPERADOS		
Conhecer os princípios da modelagem 4D relativos ao planejamento e acompanhamento de obras.	Estudar os conceitos da metodologia BIM através da bibliografia apresentada.	Livros, revistas, artigos, dissertações e monografias de graduação.	Compreensão dos principais conceitos da metodologia BIM e sua aplicabilidade ao gerenciamento de obras.		
	Estudar os conceitos teóricos do planejamento e acompanhamento de obras através da bibliografia apresentada.	Livros, revistas, artigos, dissertações e monografias de graduação	Compreensão dos principais conceitos do planejamento e acompanhamento de obras.		
	Elaborar EAP - Estrutura Analítica de Projeto.	Reunião entre as equipes de produção e projeto.	EAP de estudo, com mesma estrutura e nomenclatura a ser adotada no planejamento e na modelagem.		
	Elaborar PLP - Planejamento de Longo Prazo, seguindo a estrutura e nomenclatura da EAP.	<i>Software</i> MSProject.	Planejamento de Longo Prazo compatível com o modelo 3D.		
Aplicar a modelagem 4D para o planejamento e acompanhamento de	Elaborar modelo 3D da obra seguindo a estrutura e nomenclatura da EAP.	Software Revit.	Modelo 3D compatível com o planejamento da obra.		
obras.	Executar interoperabilidade entre planejamento e modelo 3D.	Software Navisworks.	Modelo 3D associado ao cronograma da obra, com possibilidade de interações.		
	Estudo de Projeto.	Software Navisworks e SketchUp.	Soluções para estudos de canteiro, fachada e vergas e contra-vergas.		
	Acompanhamento da Obra.	Software Navisworks e planilhas auxiliares.	Identificação de caminho crítico e possíveis atrasos em obra. Imagens com Cronograma de Marcos e detalhamento de tarefas.		
Avaliar os resultados obtidos da aplicação da modelagem 4D ao planejamento e acompanhamento de obras.	Avaliar a utilidade das ferramentas utilizadas. Propor recomendações e restrições de uso.	<i>Software</i> Navisworks e planilhas auxiliares.	Mostrar usabilidade e confiabilidade dos resultados obtidos Estudo de Projeto e acompanhamento de obras.		

Fonte: Autor.

## 5 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso tem como objetivo avaliar a aplicação da tecnologia BIM no acompanhamento de obras, dentro dos aspectos de planejamento, modelagem e controle de obras. Serão analisados as dificuldades encontradas durante o processo, as ferramentas utilizadas e os resultados obtidos, sempre que possível analisando alternativas às tecnologias adotadas.

## • Organograma de Estudo

A princípio será feito estudo do desenvolvimento de um planejamento da obra, desde a concepção da EAP até a finalização do PLP.

Em seguida, será feito a modelagem 3D da obra, discorrendo sobre as dificuldades encontradas, as opções de soluções possíveis e quais foram adotadas.

Com o planejamento e a modelagem em mãos, se irá trabalhar com interoperabilidade através do *software* Autodesk Navisworks, analisando as características e funcionalidades do *software*.

Após executado todas as configurações necessárias, serão utilizadas as ferramentas dos *softwares* para auxiliar nas necessidades e problemas encontrados antes e durante o acompanhamento da obra.

A Quadro 7 resume a metodologia adotada no estudo de caso, mostrando as etapas e as ferramentas utilizadas. Logo após, a Figura 13 apresenta o organograma da abordagem utilizada no estudo de caso.

Item	Programa Utilizado	Execução	Produto	Pré- requisito	Observações
1		Estrutura Analítica de Projeto	EAP	Projetos	Deve-se atentar para não ter etapas com nomes coincidentes.
2	Project	Planejamento de Longo Prazo	PLP	Projetos, EAP	Manter a estrutura da EAP; Criar coluna texto com informação <i>Construct, Demolish</i> ou <i>Temporary</i>
3	Revit	Maquete Eletrônica	Modelo 3D Revit	Projetos, EAP	Não precisa manter a estrutura da EAP, apenas a nomenclatura.

Quadro 7 Abordagem de estudo.

Item	Programa Utilizado	Execução	Produto	Pré- requisito	Observações
4		Gerar NWC projeto			Deve-se utilizar plugin de exportação.
5		Importar PLP e NWCs		PLP, NWC	Atentar-se às correspondências entre colunas.
6	Navisworks	Criar e aplicar regra de correspondência entre planejamento e maquete			
7		Verificar erros		TimeLiner	Nomenclatura, fases trocadas Revit, tarefas com execução coincidente.
8	Project	Corrigir erros			Verificar erro na nomenclatura das etapas do planejamento.
9	Revit	Corrigir erros			Verificar erro na nomeclatura das fases.
10		Atualizar PLP e NWC			
11	Navisworks	Gerar Sets		Navisworks 2014	
12		Atualizar PLP	Projeto Executivo	PLP corrigido	
13		Realizar simulação da obra		Projeto Executivo	
14	SketchUp	Elaborar Modelo 3D no SketchUp	Modelo 3D SketchUp		
15		Elaborar opções de fachada	Estudo das Fachada	Modelo 3D SketchUp	
16		Elaborar opções de canteiro de obra	Estudo do Canteiro de Obras	Modelo 3D SketchUp	
17	Neuder	Elaborar imagens vergas e contra- vergas	Estudo das Vergas e Contra- Vergas	Modelo 3D Revit	
18	Navisworks	Estabelecer marcos e elaborar imagens	Cronograma de Marcos	Projeto Executivo	
19		Elaborar imagens e detalhamento das tarefas			
20		Executar simulação comparativa		Projeto Executivo	Identificar etapas em atrasos e possíveis mudanças de caminho de caminho crítico.

Fonte: Autor.



Fonte: Autor.

## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

A obra consiste de uma vilage residencial situado em Stella Maris, na região metropolitana de Salvador. Trata-se de uma edificação de três pavimentos e oito unidades, sendo quatros unidades no pavimento térreo com 39,82 m<sup>2</sup>, e quatro duplex nos pavimentos superiores com 73,09 m<sup>2</sup>. Ambas unidades possuem dois quartos, sendo uma suíte, um banheiro social, cozinha, sala, circulação interna e área de serviço. A unidade do pavimento superior ainda possui duas varandas e um duplex que contém sanitário, sala *home-theater* e terraço.

O terreno possui uma área de 690,00 m<sup>2</sup> e o empreendimento ocupa uma área construída de 550,72 m<sup>2</sup>, incluindo área de lazer, *hall* de acesso, casa de gás e portaria. Está localizado em local de fácil acesso, próximo à avenida principal da região e a menos de um quilômetro da Avenida Paralela, próximo aos principais fornecedores de Salvador e Lauro de Freitas.

A Figura 14 apresenta esquema de planta de situação do empreendimento e as Figuras 15 e 16 apresentam o modelo 3D.

Figura 14 Esquema de planta de situação.



Fonte: Autor.

Figura 15 Modelo 3D – Fundo.



Fonte: Autor.

Figura 16 Modelo 3D – Frente.



Fonte: Autor.

## 5.2 PLANEJAMENTO DA OBRA

Neste tópico, é executado o planejamento da obra, desde a concepção da EAP, definição de prazos, predecessoras e sucessoras. Também é executado a modelagem 3D e a criação da regra de correspondência entre o planejamento e a modelagem, tendo como resultado o modelo 4D do empreendimento, possibilitando executar a simulação da obra.

## 5.2.1 Estrutura Analítica de Projeto – EAP

Durante desenvolvimento do planejamento e modelagem da obra, foram feitas reuniões com o engenheiro responsável pelo empreendimento. Tanto a classificação das etapas do projeto e a definição dos pré-requisitos foram determinadas pela construtora responsável pelo empreendimento.

A estrutura analítica de projeto foi desenvolvida no MSProject com base em formatos de obras já executados pela própria construtora e consiste em organizar em formato de tabelas e colunas, separando as etapas, sub etapas e serviços a serem executados. Este estrutura deverá ser utilizada em todo o processo de planejamento, modelagem e acompanhamento de obras, sendo assim de fundamental importância a sua execução e sua estrutura e nomenclatura deverão ser estritamente respeitados.

Para elaboração da EAP, o empreendimento foi dividido em duas áreas distintas de construção: o prédio principal e a portaria, que será iniciada somente após a retirada do barração de obras. Antes do início da construção da EAP, foram determinados os métodos construtivos a serem adotados:

- Fundações do prédio em estaca-raiz e fundações da portaria e escadas de acesso em sapatas simples;
- Elementos construtivos comuns: pilar, vigas e lajes;
- Lajes pré-moldadas em EPS, exceto lajes apoiadas no terreno;
- Bloco cerâmico com dimensões de 9 cm x 19 cm x 24 cm (e x h x l);
- Massa única para paredes;
- Impermeabilização com manta asfáltica apenas nas calhas, corredor técnico e terraço. Demais áreas molhadas, a impermeabilização será feita com argamassa polimérica;

- Revestimento apenas no box do banheiro;
- Fachada em textura;
- Será deixado espera de pontos de antena, de rede frigorígena e de rede de gás.

Após isso, o empreendimento é dividido por etapas de construções, aglomeradas por tipo de serviço. Por ser um prédio com poucos pavimentos, não apresenta significativamente repetição dos serviços, portanto a linha de balanço<sup>4</sup> não é muito representativa. Sendo assim, a divisão prioritária é por tipo de serviço e somente depois foi feita a divisão por pavimentos.

Com a EAP concluída, partiremos para execução do planejamento e da modelagem 3D, seguindo estritamente a estrutura. Estes processos são executados em paralelo, sendo um independente do outro. Uma tabela com EAP completa encontra-se no Apêndice A.

#### 5.2.2 Planejamento da Obra

A partir da EAP, foi desenvolvido o Planejamento de Longo de Prazo da obra, respeitando exatamente a sua estrutura. Foi preenchida a coluna com as atividades predecessoras e sucessoras e feita toda análise de restrição das atividades, com critérios cedidos pela construtora responsável. Nesta etapa do projeto, as durações das atividades foram determinadas pela construtora através de critérios próprios. Podemos analisar a qualidade destes destas informações no processo de acompanhamento de obras. Neste planejamento, foi inserida uma coluna de texto com referências sobre o tipo da atividade – *Construct, Demolish* ou *Temporary* – uma informação requerida pelo Navisworks quando formos executar a simulação do empreendimento.

A Figura 17 apresenta esquema do desenvolvimento das atividades e suas restrições – assim como consta também a coluna com informações sobre o tipo de atividade.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Linha de Balanço: A técnica da Linha de Balanço se resume ao conceito de que as tarefas são repetidas inúmeras vezes ao longo de uma unidade de repetição.

	a	Nome da tarefa	Início	Término	Duração	Texto1	2013
	, U		· •	•	· · · · ·	•	Jan/13 Fev/13 Mar/13 Abr
1	-	- Prédio	Seg 07/01/13	Qui 21/03/13	51 dias?		31 07 14 21 28 04 11 18 25 04 11 18 25 01
2	-	- Servico preliminar	Seg 07/01/13	Qua 09/01/13	3 dias?		<b>•</b>
3	-	Retirada de Venetação / Limpeza do Terreno	Seg 07/01/13	Sec 07/01/13	1 dia?	Demolish	
4	-	Demolição e Terranlenanem	Ter 08/01/13	Ter 08/01/13	1 dia?	Demolish	
5	-	Construção de Barração	Oua 09/01/13	Oua 09/01/13	1 dia?	Construct	
6		Fechamento do Canteiro com Tanumes e Portão	Que 09/01/13	Que 09/01/13	1 dia?	Construct	
7	-	Locação de Obra / Gabarito	Qua 09/01/13	Qua 09/01/13	1 dia?	Construct	2 <b>2</b>
8	-	- Infraestrutura	Qui 10/01/13	Qua 06/02/13	20 dias?	Construct	
9		Execução de Estaças-Raiz	Qui 10/01/13	Qui 10/01/13	1 dia?	Construct	1 <del>1</del> 1
10	-	Blocos de Estacas	Qui 17/01/13	Qui 17/01/13	1 dia?	Construct	· · ·
11	-	Vigas Baldrames	Qui 24/01/13	Qui 24/01/13	1 dia?	Construct	
12		Reforço de Estrutura	Qua 06/02/13	Qua 06/02/13	1 dia?	Construct	
13		Superestrutura	Seg 28/01/13	Sex 15/02/13	12 dias?		
14		Laje N01	Seg 28/01/13	Seg 28/01/13	1 dia?	Construct	
15		Pilares N01	Ter 29/01/13	Ter 29/01/13	1 dia?	Construct	
16		Vigas N02	Qua 30/01/13	Qua 30/01/13	1 dia?	Construct	
17		Laje N02	Qui 31/01/13	Qui 31/01/13	1 dia?	Construct	
18		Pilares N02	Sex 01/02/13	Sex 01/02/13	1 dia?	Construct	
19		Vigas N03	Seg 04/02/13	Seg 04/02/13	1 dia?	Construct	
20		Laje N03	Ter 05/02/13	Ter 05/02/13	1 dia?	Construct	
21		Pilares N03 e N04	Qua 06/02/13	Qua 06/02/13	1 dia?	Construct	
22		Vigas N05	Qui 07/02/13	Qui 07/02/13	1 dia?	Construct	
23		Laje N05	Sex 08/02/13	Sex 08/02/13	1 dia?	Construct	
24		Pilares N05	Qua 13/02/13	Qui 14/02/13	1 dia?	Construct	
25		Vigas N06	Qui 14/02/13	Sex 15/02/13	1 dia?	Construct	
26		Vedação	Qua 27/02/13	Seg 11/03/13	8 dias?		
27		Levante Alvenaria N01	Qua 27/02/13	Qui 28/02/13	1 dia?	Construct	Elevação 101/201;E
28		Levante Alvenaria N02	Seg 04/03/13	Ter 05/03/13	1 dia?	Construct	Elevação 101/20
29		Levante Alvenaria N03 e N04	Qui 07/03/13	Sex 08/03/13	1 dia?	Construct	Flevação 101/2
30		Levante Alvenaria N05	Sex 08/03/13	Seg 11/03/13	1 dia?	Construct	Elevação 101.
31		Revestimento Básico	Ter 26/02/13	Qui 14/03/13	12 dias?		
32		<ul> <li>Regularização Sarrafeada</li> </ul>	Ter 26/02/13	Sex 08/03/13	8 dias?		
33		Regularização Sarrafeada N01	Ter 26/02/13	Qua 27/02/13	1 dia?	Construct	
34		Regularização Sarrafeada N02	Sex 01/03/13	Seg 04/03/13	1 dia?	Construct	
35		Regularização Sarrafeada N03 e N04	Qua 06/03/13	Qui 07/03/13	1 dia?	Construct	
•						E E	

Figura 17 Planejamento de longo prazo sem inserção de durações, desenvolvido no MSProject.

Fonte: Autor.

## 5.2.3 Modelagem 3D

Inicialmente, para execução da modelagem 3D da obra foi utilizado o *software* Autodesk Revit. Toda a modelagem foi executada em fases, com nomenclatura idêntica à EAP de projeto, conforme Figura 18.

		Phasing		
ject F	Phases Phase Filters Graphic Overrides			
	PAST			
	Name	Description		Insert
20	Name Assentamento de Dires o Revestimentos Anto102	Assentamento de Dises o Payestimentos		Before
39	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto 102	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
40	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto 103	Assentamento de Pisos e Revestimentos		After
41	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto 104 e Lazer	Assentamento de Pisos e Revestimentos		Cambina with:
42	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto201	Assentamento de Pisos e Revestimentos		Combine with:
45	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto202	Assentamento de Pisos e Revestimentos		Previous
44	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto205	Assentamento de Pisos e Revestimentos		Next
45	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto204 e Lazer	Assentamento de Pisos e Revestimentos		Mexi
40	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto201	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
47	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto202	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
40	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto203	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
49 50	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais No1	Instalação de Bançadas em Dedras Naturais		
51	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais NOT	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais		
52	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais No2	Instalação de Dancadas em Pedras Naturais		
52	Imstalação de bancadas em Pedras Naturais Nos e No4	Instalação de balicadas em Fedras Ivaturais		
54				
55	Instalação Vit Dosta Pronta	Fraundrin		
56	Instalação Kil Polta Plonta	Frauadria		
57	Instalação Esquadrias de Vidro	Esquadria		
50	Instalações dos banneiros			
50	Estrutura de Madeira	Cabatura		
29	Estrutura de Madeira	Cobertura		
60	Execução de Caina	Cobertura		
62		Cobertura		
62	Instalação de Kulo			
64	Instalação Porto Gesso Liso			
65		Serviços Complementares		
66	Escada de Acesso ao Apartamento	Serviços Complementares		
67	Escada de Acesso ao nome	Serviços Complementares		
60	Escada de Acesso ao Reservacióno	Serviços Complementares		
60	Escotilha do Acorso à Laio Técnica	Serviços Complementares		
70	Dintura Interna	Dintura		
70	Pintura Externa	Distura		
72	Permohilização - Barração	Cenvico Final		
72	Concretariem de Sanatas	Scrviço Final		
74	Estrutura - Vigas Laies e Dilaren	Estrutura - Penfella		
75	Levante Alvenaria Portaria	Vedação - Deriferia		
76	Regularização Sarrafeada Dortaria	Revestimento Bácico - Deriferia		
77	Massa Unica Interna Portaria	Revestimento Bácico - Periferia		
78	Massa Unica em Fachada Portaria	Revestimento Básico - Periferia		
70	Massa Unica em Nuro	Revestimento Bácico - Periferia		
80	Imnermeabilização de Banheiro Portaria	Revestimento Bácico - Periferia		
81	Arestamento de Alvenaria Portaria	Revestimento Básico - Periferia		
82	Ascentamento de Disos e Revestimentos Dortaria	Revestimento Acabamento - Periferia		
			¥	
<			>	
	FUTURE			

#### avverse de Cesse de Devit ala inariân Dhanairea

Fonte: Autor.

As fases não precisam seguir a ordem de construção do empreendimento e a estrutura de desenvolvimento da EAP não precisa ser reproduzida, mas sim deve-se adotar a ordem lógica de construção do modelo 3D. Entretanto, a nomenclatura deve ser estritamente igual à utilizada na EAP de projeto. Cada fase engloba toda estrutura das fases anteriores, sendo que no método de execução adotado, o próprio software Navisworks interpretará que as atividades daquela etapa corresponde à diferença entre fases consecutivas. Segue no Apêndice B o Quadro 08 com a estrutura completa de fases.

Logo após deve-se exportar o modelo em um formato de leitura compatível com o *software* Navisworks. O arquivo em Revit foi exportado no formato de arquivo NWC. A opção de exportar pode ser feita através de *plugin*<sup>5</sup> do Revit, e estará disponível caso esteja instalado na mesma estação o Autodesk Revit e Navisworks. Na Figura 19 pode-se ver o *plugin* de exportação para NWC.



Figura 19 Plugin de exportação do Revit.

Fonte: Autor.

## 5.2.4 Modelagem 4D

Neste tópico será executado a correspondência entre o planejamento e a modelagem 4D. Será executado em três etapas, sendo a primeira a importação dos arquivos para o ambiente Navisworks. A segunda etapa é a criação da regra de correspondência e a terceira etapa trata-se da verificação de possíveis erros de correspondências.

## a) Importar PLP e NWC

Neste momento, deve-se importar os dados anteriores: o arquivo de planejamento MPP e o arquivo de modelagem NWC. Com o *software* Navisworks aberto, usaremos a ferramenta Anexar (do inglês *Append*), situado na aba *Home*, para importar o arquivo de modelagem NWC, conforme pode-se ver na Figura 20.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Plugin foi usado como neologismo da palavra em inglês plug-in. Neste caso, traduz-se como o sendo um programa ou aplicativo, usado para adicionar funções a outros programas maiores.

Home Viewpoint Review Animation	M	Append			
Append	Examinar:	🔰 nwc 🗸	G 🌶 🖻 🛄 -		
Merge	Locais recentes Área de Trabalho Bibliotecas	Nome E.157.130606 E.157.130610 E.157.130611 E.157.130613 E.157.130617 E.157.130625 E.157.130704 E.157.130708 - barracão E.157.130708	Data de modificaç 06/06/2013 14:05 10/06/2013 13:57 13/06/2013 13:43 13/06/2013 15:48 17/06/2013 15:14 04/07/2013 11:32 25/06/2013 15:14 04/07/2013 11:00 08/07/2013 13:32 08/07/2013 13:13 12/07/2013 09:02	Tipo Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache	1~
	Computador	mm E.157.130730 mm E.157.130816 mm E.157.130827 mm E.157.131014	30/07/2013 15:34 16/08/2013 14:02 27/08/2013 09:11 14/10/2013 07:47	Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache Navisworks Cache	>
	Rede	Nome: Tipo: Navisworks Cache (*.nwc)		V Ab	rir :elar

Figura 20 Ferramenta de importação do Navisworks.

Fonte: Autor.

A importação dos arquivos no formato RVT pelo Navisworks consome mais tempo do que demais métodos. Conclui-se que a importação do arquivo no formato RVT é boa, mas apenas para arquivos pequenos. Projetos maiores, com mais detalhamento e maior número de projetos devem ser exportados no formato NWC, pois o arquivo do Navisworks fica muito mais leve e rápido para carregar e atualizar. Para isto funcionar bem, poderá ser utilizado como rotina, após o desenvolvimento dos projetos e exportação para o Navisworks, sempre exportar o projeto do Revit após a realização de qualquer alteração (NUNES, 2013).

Todo o projeto modelado no Revit é então carregado no Navisworks. Ao clicar no botão *Selection Tree*, na aba *Home*, podemos ver a estrutura do projeto. Podemos verificar a estrutura de fases ao clicar no menu suspenso *Standard*, selecionar a opção *Properties* e clicar no ícone + (ícone com símbolo de mais) ao lado da família *Phase Created* e novamente no botão + da família *Name*, conforme figura abaixo. A Figura 21 apresenta toda a estrutura de fases criada no Revit reproduzida igualmente no Navisworks.

N D D R H H H H H H H	2 =		Autodesk Na	visworks Manage 2	014		
Home Viewpoint Review A	nimation View Output F	Render 🛥 🗸		2			
Append Refresh Reset File All Options	t Save Select Select Same	Selection Tree Select Tree Selection	Hide Require	Hide Unhide	Links Quick Properties Cl Properties	ash TimeLiner Quantification ective	Autodesk Rendering
Project 👻	Select & Searc	ch 🔻	V	isibility	Display		_
Selection Tree		e x					
Describe	,						
Truseuds	estimentos Apto101 estimentos Apto102 estimentos Apto104 e Lazer estimentos Apto201 estimentos Apto202 estimentos Apto202 estimentos Apto202 estimentos Home Apto202 estimentos Home Apto203 estimentos Home Apto203 estimentos Home Apto204 estimentos Home Apto204 estimentos Portaria ento tório cnica res ros e Cozinha N01 ros e Cozinha N02 rtura rtura o con cozinha N02 ertura fortaria						

Figura 21 Estrutura de Fases reproduzidas no Selection Tree do Navisworks.

Fonte: Autor.

Após isso, deve-se importar o arquivo correspondente ao planejamento MPP do Microsoft Project. Deve-se portanto ativar a janela *TimeLiner*, na aba *Home*. Depois deve-se clicar na opção *Microsoft Project 2007-2013*, no botão *Add*, situado na aba *Data Sources* da janela *TimeLiner*, conforme Figura 22.

#### External Field Text 1 Task Type Actual Start Nova pasta Organizar • recovery (D:) 2 E.157.PLP.01.R2 - Pre Rede DANIEL-PC DANIEL-PC DANIEL-PC ESTACA001 ESTACA004 ESTACA004 ESTACA006 ESTACA006 ESTACA006 ESTACA007 SERVIDOR E 157.PLP.01.R2 E.157.PLP.01.R3 User 9 M E.157, PLP.01.R5 M E.157, PLP.01.R4 M E.157, PLP.01.R5 M E.157, PLP.01.R6 M E.157, PLP.01.R7 OK Cancel Help Reset All Tasks Data Sources Configure Simulate 114 14 43 Add -CSV Import Microsoft Project MPX Microsoft Project 2007-2013 Primavera Project Manager Primavera P6 (Web Services) MPP files (\*.mpp) Nome: E.157.PLP.01.R7 Primavera P6 V7(Web Servi Abrir Cancelar vera P6 V8.2(Web Services

Figura 22 Importação de arquivos MSProject.

Fonte: Autor.

Quando selecionado o arquivo, será necessário fazer a correspondência de colunas entre o arquivo importado e as colunas existentes no Navisworks. Neste caso, utilizaremos a regra abaixo:

- Task Type: Text 1;
- Planned Start Date: Start;
- Planned Finish Date: Finish;
- Actual Start Date: Actual Start;
- Actual Finish Date: Actual Finish.

Ao final do processo, o arquivo já está anexado ao *software*, entretanto não foram adicionados *Task* conforme as etapas do arquivo de planejamento. Para isso, deve-se selecionar a aba *Data Sources* e clicar com o botão direito do cursor sobre o arquivo e escolher a opção *Rebuild Task Hiearchy*, reproduzindo assim o planejamento com todos seu níveis.

b) Criar e Aplicar Regra de Correspondência entre Planejamento e Modelo 3D

Neste momento, será criada uma regra para relacionar cada etapa do planejamento com cada fase correspondente. Essa tarefa permite introduzir diversos tipos de opção de regras de correspondência. Neste caso, o opção utilizada está situado no botão *Auto-Attach Using Rules*, na janela *TimeLiner*, na aba *Task*. Dentro da janela que abrirá, deve-se clicar em New e na próxima janela, selecionar a opção *Attach Items to Tasks by Category/Property*, conforme Figura 23.



## Figura 23 Criação das regras de correspondência planejamento e maquete.

Fonte: Autor.

Dentro do campo Rule Description, devemos editar os seguintes valores:

- Column: Escolher o valor Name;
- Category Name: Escolher o valor Name;
- Category <category>: Escolher o valor Phase Created;
- Property Name: Escolher o valor Name;
- Property <property>: Escolher o valor Name;
- Ignoring: Escolher o valor Ignoring.

Ao clicar em *OK*, uma nova regra aparece na janela *TimeLiner Rules*. Deve-se marcar a caixa de seleção e clicar em *Apply Rules*. A partir deste momento, todo o

planejamento está atrelado ao modelo virtual construído e ao clicar em cima da expressão *Explicit Selection* da coluna *Attached*, este seleciona automaticamente aos itens modelados conforme a etapa/fase correspondente, como, por exemplo, na Figura 24, na qual foi selecionado a etapa Pilares N01.



#### Figura 24 Verificação de correspondência.

Fonte: Autor.

Este recurso de selecionar uma tarefa pode ser utilizado para exibir ou ocultar detalhes de objetos e peças. Entretanto, a visualização das tarefas não é tão utilizável quanto o gerenciador de *Sets*. Para transpor as informação, deve-se clicar no item *Export To Sets*, na janela *TimeLiner*. Com isso, os campos da coluna *Attached* terão as informações trocadas de *Explicit Selection* para a etapa de correspondência da fase.

A visualização de Sets é feita através do botão Manage Sets, situada na barra Sets, na aba Home. A visualização de Sets tem toda a estrutura da EAP, aplicada à correspondência da modelagem do Revit. Assim como na Selection Tree e na *TimeLiner;* ao selecionar uma etapa e clicar no botão *Hide Unselected*, somente os itens associadas à etapa serão mostrados.

## c) Verificar Erros

Este item consiste em verificar as etapas em que a correspondência entre planejamento e modelagem não foi aplicada corretamente. Para poder identificá-la, deve-se observar a coluna *Attached* e aquelas que não tiverem com o campo preenchido com a expressão *Explicit Selection* deverão ser analisadas quanto à nomenclatura uniforme em ambos *software* – MSProject e Revit – e, caso ainda persista o erro, deve-se verificar os itens modelados no Revit.

Deve atentar-se que, a partir do momento que os arquivos forem modificados em seus *softwares* de origens, deve-se repetir todo o processo de importação de arquivos, com exceção do arquivo de planejamento – onde é apenas necessário clicar no botão *Refresh*, na aba Data *Sources*, da janela *TimeLiner*, e após isso clicar com botão direito na *Data Source* referente do projeto e clicar em *Rebuild Task Hierarchy*. Neste caso, ainda se faz necessário aplicar as regras de correspondência novamente. Pode-se verificar na Figura 25 o Cronograma de Gantt com o planejamento reproduzido na janela *TimeLiner* do *Navisworks*.



Figura 25 TimeLiner do Navisworks com estrutura do planejamento e Cronograma de Gantt.

Fonte: Autor.

## 5.2.5 Simulação da Obra

Será utilizada a ferramenta *Simulate* da janela *TimeLiner*. Em *Settings*, podese definir o intervalo de exibição, a duração da simulação e os modos de visualização. É possível realizar comparativos planejado/executados e incluir intervalos de exibição na visualização. Por padrão do *software*, etapas descritas como *Construct* são representados em verde semitransparente, as descritas como *Demolish* são representadas em vermelho semitransparente e as descritas como *Temporary* são exibidas como amarelo semitransparente.

Durante o processo de simulação, é possível parar, mudar ângulos e gerar imagens e, partir dessa função gerar os cronogramas de marcos e detalhar a execução de tarefas da obra.

A Figura 26 representa a simulação da obra no estágio inicial. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Limpeza do Terreno, Construção do Barração e Fechamento.



Figura 26 Simulação da obra - Etapa 01 de 08.

Fonte: Autor.

A Figura 27 representa a simulação da obra no estágio inicial. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Infraestrutura, Pilares N01 e Instalação de Esgoto.



Figura 27 Simulação da obra - Etapa 02 de 08.

Fonte: Autor.

A Figura 28 apresenta a simulação da obra no estágio intermediário. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Reforço de Estrutura, Vigas N05 e Levante Alvenaria N01.



Figura 28 Simulação da obra - Etapa 03 de 08.

Fonte: Autor.

A Figura 29 apresenta a simulação da obra no estágio intermediário. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Levante Alvenaria N02, Regularização Sarrafeada e Massa Única Interna N01.



Figura 29 Simulação da obra - Etapa 04 de 08.

Fonte: Autor.

A Figura 30 apresenta a simulação da obra no estágio intermediário. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Assentamento de Pisos e Revestimento e Desmobilização Barração.

Figura 30 Simulação da obra - Etapa 05 de 08.



Fonte: Autor.

A Figura 31 apresenta a simulação da obra no estágio intermediário. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Instalação de Kits Porta-Pronta e Esquadrias e Levante Alvenaria Portaria.



Figura 31 Simulação da obra - Etapa 06 de 08.

Fonte: Autor.

A Figura 32 apresenta a simulação da obra no estágio final. Pode-se ver em andamento no campo de tarefas as atividades de Pintura Interna, Externa e Muro, além de Instalação de Portões Externos.

Figura 32 Simulação da obra - Etapa 07 de 08.



Fonte: Autor.

A Figura 33 apresenta a simulação da obra no estágio final. Empreendimento concluído, apenas a atividade de Desmobilização em andamento.



Figura 33 Simulação da obra - Etapa 08 de 08.

Fonte: Autor.

## 5.3 ESTUDOS DE PROJETO

Durante o desenvolvimento da obra, houve algumas interferências relacionados ao projetos, sendo que estes tópicos devem ser estudados antes do começo da obra. Esta função de operar e analisar essas interferências em um ambiente único está se tornando cada vez mais comum, e permite uma experiência mais criteriosa e eficiente.

Devido a facilidade de uso e a não necessidade de se obter informações além da quantidade e posicionamento das peças e equipamentos, optou-se por utilizar o *software* SketchUp. Entretanto, a fim de tornar possível sua utilização em outros projetos, todos os modelos foram importados e renderizados<sup>6</sup> no Navisworks.

## 5.3.1 Estudo do Canteiro de Obras

O canteiro de obras consiste dos seguintes itens:

- Três baias, sendo uma para agregado graúdo, uma para agregado miúdo e outra para resíduos da construção civil;
- Vestiário com sanitário;

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Renderizar foi usado como neologismo da palavra em inglês Render. Neste caso, traduz-se como o ato de tornar uma imagem com melhor aparência, tornando seu gráficos e texturas mais realistas.

- Silo de cimento;
- Betoneira;
- Alojamento para depósito e refeitório;
- Escritório;

Visando apenas um dimensionamento e posicionamento de equipamentos, foi feito um levantamento sobre as possibilidades das instalações. A seguir três opções de canteiro.

a) Opção de canteiro 01.

Esta opção foi modelada inicialmente contendo depósito, refeitório, escritório, vestiário e sanitários no fundo do terreno. Entretanto, verificou-se que o gabarito para obra não atendia ao tamanho necessário para execução da obra, além de dificultar a logística de transporte dos materiais para o depósito, aumentando o trajeto a ser percorrido. A Figura 34 demonstra a localização dos componentes.



Figura 34 Opção de canteiro 01.

Fonte: Autor.

b) Opção de canteiro 02.

Esta opção traz toda as instalações de canteiro para a frente do terreno. Entretanto, esta opção não contemplava entrada de veículos e também trazia o vestiário e sanitário em um local com dificuldade para realizar as instalações sanitárias, além de estarem localizados no meio da trajetória do transporte de materiais e insumos para obra. A Figura 35 demonstra a localização dos componentes.





Fonte: Autor.

## c) Opção de canteiro 03.

Esta opção já contempla entrada para veículos de grande porte. Para isso, reduziu-se a quantidade de baias de três para duas unidades. A baia de resíduo da construção civil foi suprimida e sendo redistribuído para próximo da entrada de veículos. O vestiário e sanitários já se encontram mais próximos a entrada e fora da trajetória dos materiais e insumos, além de facilitar a instalação sanitária por estar mais próximo da rede de esgoto do logradouro. A Figura 36 demonstra a localização dos componentes.

Figura 36 Opção de canteiro 03.



Fonte: Autor.

Sendo assim, a opção escolhida foi a de número três. A Figura 37 demonstra o canteiro de obras desenvolvido *in loco*. O quadro 8 resume os pontos negativos e positivos de cada opção.

Quadro 8	Opções	de canteiro
----------	--------	-------------

OPÇÃO DE CANTEIRO	PONTOS POSITIVOS	PONTOS NEGATIVOS
CANTEIRO 01	I - Grande espaço para circulação de equipes, materiais e equipamentos; II - Três baias para materiais.	<ul> <li>I - Distância muito grande entre entrada e estoque;</li> <li>II - Necessidade de fossa séptica;</li> <li>III - Espaço insuficiente para gabarito de obras;</li> <li>IV - Não tem acesso para entrada de veículos.</li> </ul>
CANTEIRO 02	<ul> <li>I - Distância reduzida entre entrada e estoque;</li> <li>II - Ligação sanitária à rede de esgoto;</li> <li>III - Três baias para materiais.</li> </ul>	<ul> <li>I - Distância muito grande entre banheiros/vestiários e rede de esgoto;</li> <li>II - Não tem acesso para entrada de veículos;</li> <li>III - Espaço reduzido para circulação de equipes, materiais e equipamentos.</li> </ul>

OPÇÃO DE CANTEIRO	PONTOS POSITIVOS	PONTOS NEGATIVOS
CANTEIRO 03	<ul> <li>I - Distância reduzida entre entrada e estoque;</li> <li>II - Ligação sanitária à rede de esgoto;</li> <li>III - Acesso para veículos de grande porte.</li> </ul>	<ul> <li>I - Apenas duas baias de materiais: resíduos de construção civil terão de ser retirados brevemente;</li> <li>II - Espaço reduzido para circulação de equipes, materiais e equipamentos.</li> </ul>

Fonte: Autor.

Figura 37 Canteiro de obras desenvolvido.



Fonte: Autor.

## 5.3.2 Estudo da Fachada

Neste caso, também, devido à não necessidade de informações adicionais sobre características do objeto e pela facilidade de modelagem SketchUp, utilizou-se o programa para fazer uma análise sobre as formas, materiais e cores possíveis a se adotar na fachada do empreendimento. A Figura 38 demonstra as várias opções de fachada em um modelo produzido no SketchUp e importadas e renderizadas no Navisworks. Até o presente momento, não há definição sobre qual modelo foi adotado.

Figura 38 Estudo de fachada.



Fonte: Autor.

## 5.3.3 Estudo das Vergas e Contra-Vergas

Neste tópico será gerado vistas, cortes e perspectivas de diversas paredes e fachadas do prédio. Devido à facilidade de gerar automaticamente tais plantas, foi utilizado o *software* Navisworks e as imagens foram entregues ao mestre e responsáveis de produção e serviram de balizadores para localização e

dimensionamento das vergas. Em alguns casos, as vigas tiveram sua a dimensão altura acrescida e em outros casos foram executados vergas de suporte das esquadrias. As Figuras 39 e 40 demonstram o comparativo entre as vistas estudadas no modelo e construção das vergas em obra.



Figura 39 Exemplo 01 de execução de vergas e contra-vergas.

Fonte: Autor.


Figura 40 Exemplo 02 de execução de vergas e contra-vergas.

Fonte: Autor.

# 5.4 ACOMPANHAMENTO DA OBRA

Durante a execução de uma obra, se faz necessário o acompanhamento, a fim de ser atendido o prazo de execução. Para isso, deve-se atentar para se execução dos serviços atende à prazo estabelecido, ou seja, qualquer atraso possível de acontecer será melhor solucionado quanto antes for identificado. Para uma análise mais detalhada, é necessário a execução de planejamento em vários níveis com o intuito de atender cada demanda da obra.

#### 5.4.1 Identificação do Caminho Crítico

Para ser determinado o caminho crítico da obra, será utilizar o *software* MSProject, sendo que o modo de visualizar depende da versão do *software*. Disponível no modo de exibição Gráfico de Gantt, o modo de visualização para identificação do caminho crítico caracteriza-se por destacar em vermelho as tarefas pertencentes ao caminho crítico. A Figura 41 caracteriza o caminho crítico destacado no Cronograma de Gantt do MSProject.

	0	Nome da tarefa	Atraso da redistribuição	Duração	Início	Término	Sucessoras											_	
		<b>_</b>	-	<u> </u>	<u>•</u>	•		-	Jan/13	Fev/13	Mar/13	140.05	Abr/13	Maio/13	Jun/13	Jul/13	Ago/*	13	Set/1
1		- Prédio	0 diasd	324.18 dias	Sea 07/01/13	Qui 17/04/14		-	31 07 14 21	28 04 11 1	5 25 04 1	1 10 25	01 08 15 22	29 00 13 20	27 03 10 17 2	4 01 08 1	5 22 29 05	12 19 2	0 02 1
2		Serviço preliminar	0 diasd	18,63 dias	Seg 07/01/13	Qui 31/01/13													
3		Retirada de Vegetac	0 diasd	5,88 dias	Seg 07/01/13	Seg 14/01/13	4												
4		Demolição e Terrap	0 diasd	1,88 dias	Seg 14/01/13	Qua 16/01/13	5;6;7		L L										
5		Construção de Barra	0 diasd	9,88 dias	Qua 16/01/13	Qua 30/01/13													
6		Fechamento do Car	0 diasd	5,88 dias	Qua 16/01/13	Qui 24/01/13													
7		Locação de Obra / G	0 diasd	10,88 dias	Qua 16/01/13	Qui 31/01/13	9		L	ι.									
8		Infraestrutura	0 diasd	124,73 dias	Qui 31/01/13	Seg 05/08/13					-					-			
9		Execução de Estaca	0 diasd	16,48 dias	Qui 31/01/13	Qua 27/02/13	10TT+5 dias			·	<b>.</b>								
10		Blocos de Estacas	0 diasd	20,48 dias	Sex 01/02/13	Qua 06/03/13	11II+5 dias			-	•								
11		Vigas Baldrames	0 diasd	24,98 dias	Sex 08/02/13	Qua 20/03/13	14TT+2 dias;7	74											
12		Reforço de Estrutura	0 diasd	10 dias	Seg 22/07/13	Seg 05/08/13	210TI+15 dias	8											
13		<ul> <li>Superestrutura</li> </ul>	0 diasd	143,63 dias	Qua 20/03/13	Seg 14/10/13	224;235;237;2	221								-			<u>+-</u>
14		Laje N01	0 diasd	15,98 dias	Qua 20/03/13	Sex 12/04/13	15												
15		Pilares N01	0 diasd	13,98 dias	Sex 12/04/13	Sex 03/05/13	16						ľ.	<b>•</b> 1					
16		Vigas N02	0 diasd	23,98 dias	Sex 03/05/13	Sex 07/06/13	17;75TI+5 dia	s						ľ.					
17		Laje N02	0 diasd	6,88 dias	Sex 07/06/13	Seg 17/06/13	18;195TI+15 c	dias							i internet		-		
18		Pilares N02	0 diasd	3 dias	Seg 17/06/13	Qui 20/06/13	19								<b>ĭ</b> ₁				
19		Vigas N03	0 diasd	14,98 dias	Qui 20/06/13	Seg 15/07/13	20;27;76TI+5	dias							<b>`</b>	1	+		
20		Laje N03	0 diasd	4,98 dias	Seg 15/07/13	Seg 22/07/13	12;21;33;2117	FI+1											1
21		Pilares N03 e N04	0 diasd	14,98 dias	Seg 22/07/13	Seg 12/08/13	22											h	
22		Vigas N05	0 diasd	11,98 dias	Seg 12/08/13	Qua 28/08/13	23											ř.	
23		Laje N05	0 diasd	1,98 dias	Qua 28/08/13	Sex 30/08/13	24;34;202TI+1	15 d											
24		Pilares N05	0 diasd	18,98 dias	Sex 30/08/13	Qui 26/09/13	25												
25		Vigas N06	0 diasd	11,98 dias	Qui 26/09/13	Seg 14/10/13	36TI+10 dias												
26		Vedação	0 diasd	103,85 dias	Seg 29/07/13	Seg 23/12/13											1		
27		Levante Alvenaria N	0 diasd	11,98 dias	Seg 29/07/13	Qua 14/08/13	28;38TI+2 dia	.s;7ŧ										• +	+1
28		Levante Alvenaria N	0 diasd	19,98 dias	Sex 06/09/13	Sex 04/10/13	29;39TI+2 dia	.s;81											
29		Levante Alvenaria NI	0 diasd	34,98 dias	Sex 04/10/13	Seg 25/11/13	40TI+2 dias;8	6;8;											ΙT
30		Levante Alvenaria Ni	0 diasd	19,98 dias	Seg 25/11/13	Seg 23/12/13	42;43;44;45												
31		Revestimento Básico	0 diasd	122,83 dias	Seg 22/07/13	Seg 13/01/14											+		
32		Regularização Sarr	0 diasd	70,85 dias	Seg 22/07/13	Ter 29/10/13											<u><u>+</u></u>		-
33		Regularização S:	0 diasd	4,98 dias	Seq 22/07/13	Seq 29/07/13	27;34;51;1761	(T;1		1									4

Figura 41 Caminho crítico.

Fonte: Autor.

#### 5.4.2 Cronograma de Marcos

Trata-se de metas a serem alcançadas em determinados prazos. Com auxílio da ferramenta *Simulate*, foi possível estipular alguns marcos importantes e poder transmiti-los para a equipe da obra através de figuras e imagens, tornando o processo mais lúdico e fácil de ser entendido. Tais marcos são importantes pois servem como estímulo, facilitando o entendimento daqueles que estão trabalhando na obra, além de facilitar a análise do andamento da obra e seus possíveis atrasos. Para esta obra,

foi estabelecido um intervalo de dois meses entre cada marco a ser investigado. No Apêndice C consta uma sequência de figuras que ilustram o Cronograma de Marcos da obra em questão.

# 5.4.3 Detalhamento de Tarefas

Este tópico traz imagens retiradas do modelo 3D que serviram como referência para execução das tarefas. Todas imagens foram geradas no *software Navisworks*.

a) Bloco de Fundações

Tais imagens têm como função localizar e posicionar quanto à direção dos eixos de cada bloco de coroamento de estacas. Todos os blocos possuem tamanhos iguais nos dois eixos. As Figuras 42 e 43 representam respectivamente uma imagem em perspectiva e em planta baixa dos blocos e seus elementos.



Figura 42 Perspectiva de blocos de estacas e seus elementos.



Figura 43 Planta baixa de blocos de estacas e seus elementos de conexão.

Fonte: Autor.

b) Modelo Estrutural

Assim como no item anterior, as imagens geradas têm como função auxiliar a locação das peças em relação aos projetos estruturais. Elas não possuem informações de dimensões, apenas representam um desenho esquemático de suas conexões, localidade e posicionamento em relação às demais peças. A Figura 44 representa a estrutura do primeiro pavimento, incluindo pilares e vigas.



Figura 44 Modelo 3D de peças estruturais do primeiro pavimento.

Fonte: Autor.

A Figura 45 apresenta as peças estruturais do segundo pavimento, incluindo pilares e vigas. A partir desta imagem, pode-se identificar as ligações e posicionamento das peças. Pode-se observar que os pilares de sustentação do telhado cerâmico não alcança o pavimento seguinte.



Figura 45 Modelo 3D de peças estruturais do segundo pavimento.

Fonte: Autor.

A Figura 46 apresenta as peças estruturais do terceiro pavimento, incluindo pilares e vigas, que sustentam a laje dos reservatórios. A partir desta imagem podese identificar as ligações e posicionamento das peças. As vigas externas ainda tem a função de executar o travamento do parede de vedação externa.



Figura 46 Modelo 3D de peças estruturais do terceiro pavimento.

Fonte: Autor.

A Figura 47 apresenta as peças estruturais do quarto pavimento, incluindo pilares e vigas, que sustentam a cobertura dos reservatórios. A partir desta imagem pode-se identificar as ligações e posicionamento das peças.



Figura 47 Modelo 3D de peças estruturais do quarto pavimento.

### c) Portaria

Este tópico traz imagens utilizadas na execução da portaria do empreendimento, que têm como objetivos auxiliar na locação e posicionamento dos elementos, ou seja, tais figuras completam e não substituem as plantas baixas originais. A Figura 48 apresenta detalhes da locação e posicionamento das peças de infraestrutura da portaria, onde pode-se notar os blocos de fundação e as vigas de ligação.

Figura 48 Modelo 3D do detalhe de blocos e vigas de ligação da portaria.



Fonte: Autor.

A Figura 49 apresenta detalhes de locação e posicionamento dos pilares e vigas de suporte da estrutura de madeira da cobertura da portaria.



Figura 49 Modelo 3D do detalhe de pilares e vigas estruturais da portaria.

Fonte: Autor.

A Figura 50 apresenta a estrutura de madeira de suporte à cobertura da portaria. Pode-se observar também o posicionamento da alvenaria de vedação e das esquadrias.



Figura 50 Modelo 3D da estrutura de madeira da cobertura, esquadrias e vedação da portaria.

A Figura 51 apresenta o módulo da portaria construído, já com as placas de policarbonato e cimentícia que exercem a função de cobertura da portaria.



Figura 51 Modelo 3D das placas de policarbonato e cimentícia de revestimento da cobertura da portaria.

Fonte: Autor.

d) Telhado Cerâmico – Área de Lazer

Este tópico traz imagens utilizadas na execução da estrutura de madeira do telhado cerâmico, que têm como objetivos auxiliar nas conexões, locação e posicionamento dos elementos em relação às demais peças. Tais figuras completam e não substituem as plantas baixas originais. As Figuras 52 e 53 representam respectivamente uma imagem em perspectiva e em planta baixa da estrutura de madeira e seus elementos.



Figura 52 Perspectiva de estrutura de madeira de telhado cerâmico e seus elementos.

Fonte: Autor.



Figura 53 Planta de estrutura de madeira de telhado cerâmico e seus elementos.

Fonte: Autor.

# 5.4.4 Simulação Comparativa – Identificação de Atrasos

Este tópico tem como objetivo analisar o velocidade do andamento da obra e as possíveis causas de atrasos. Como ferramentas, será adotada a planilha do planejamento do MSProject em conjunto com a função *Tasks* do Navisworks.

Através de boletins de medição, preenchemos no MSProject as datas de início e término real de cada etapa do planejamento e importamos novamente no *software* Navisworks, ou pode-se simplesmente entrar com as informações de datas reais na *TimeLiner* do Navisworks. Ambas situações chegam ao mesmo resultado, entretanto, a construtora optou por centralizar as informação de planejamento no MSProject.

Sendo assim, as datas de início e término desta vez serão alocadas nas colunas Início da linha de base e Término da linha de base, respectivamente. Este processo se faz necessário para compatibilidade na leituras dos dados do planejamento.

Já que o software não reconhece automaticamente as mudanças de datas, será necessário executar novamente todo o processo de modelagem 4D. Será necessário executar todo o processo de importação e aplicação de regras de correspondência, entretanto, a associação de colunas entre o Navisworks e MSProject possui análise diferente, conforme a regra abaixo:

- Task Type: Text 1;
- Planned Start Date: Baseline Start;
- Planned Finish Date: Baseline Finish;
- Actual Start Date: Actual Start;
- Actual Finish Date: Actual Finish.

As regras de correspondência entre a modelagem 3D e o planejamento no Navisworks permanecem inalteradas. Nas se faz necessário a verificação de erros, já que as fases e tarefas não foram alteradas.

A Figura 54 demonstra o planejamento através do Cronograma de Gantt com as os dados considerando as datas atuais e planejadas. As barras em preto representam as durações planejadas de um grupo de tarefas e as barras em azul escuro representam as durações reais. Já as barras em cinza representam as durações planejadas de cada atividade em separado e as barras em azul claro representam as durações reais de cada atividade em separado. Também podemos observar nesta figura a coluna de *Status*, onde consta uma figura representativa da situação de cada atividade.



Figura 54 Cronograma de Gantt com comparativo planejado e realizado no Navisworks.

Fonte: Autor.

Através deste cronograma, pode-se aferir que os dados inseridos no planejamento não possuem confiabilidade. Tanto os valores adotados para duração das atividades e escolha das predecessoras estão equivocados e devem ser revistos. O Quadro 9 resume de forma qualitativa os dados inseridos no planejamento em cada tarefa em comparação aos dados da execução das tarefas. Devido à falta de informações cedidas pela construtora, é possível apenas fazer análise até a etapa de Regularização Sarrafeada.

ATIVIDADE	DETERMINAÇÃO DO INÍCIO DAS ATIVIDADES	DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DAS ATIVIDADES	ESCOLHA DE PREDECESSORAS	
SERVIÇO PRELIMINAR	RUIM	BOA	RUIM	
INFRAESTRUTURA	REGULAR	REGULAR	BOA	
SUPERESTRUTURA	BOA	REGULAR	RUIM	
VEDAÇÃO	RUIM	REGULAR	RUIM	
REGULARIZAÇÃO SARRAFEADA	PÉSSIMA	ÓTIMA	BOA	

Quadro 9 Quadro avaliativo do	o planejamento	o em relação ac	executado.
-------------------------------	----------------	-----------------	------------

Além disso, pode-se identificar etapas variação nas datas planejadas através do modelo 3D. Para isso, serão configuradas cores diferentes para estas situações. Na aba *Configure* da janela *TimeLiner*, iremos adicionadas cores às colunas *Early Appearence* e *Late Appearence* – neste caso, foi configurado as cores Blue (90% Transparent) e Purple (90% Transparent) respectivamente. Tal método permite uma visualização instantânea da etapa com problemas. A realização do acompanhamento diário, pode-se evitar atrasos da obra.

Na Figura 55 pode-se verificar que o início real da obra antes do início planejado da obra, ou seja, toda a etapa de Serviço Preliminar tem início antecipado, assim está demarcado com a cor azul. Entretanto, pode-se observar que na coluna de Status, a etapa de Serviço Preliminar tem término real atrasado em relação ao planejado



Figura 55 Simulação comparativa da obra - Etapa 01 de 05.

Fonte: Autor.

Na Figura 56 pode-se verificar que a tarefa de Execução de Estacas-Raiz e Blocos de Estacas tem início real atrasado em relação ao planejado, pois estão com a cor roxa. Ao observar a coluna de Status verificamos que as tarefas estão com término atrasado.



#### Figura 56 Simulação comparativa da obra - Etapa 02 de 05.

Fonte: Autor.

Na Figura 57 pode-se verificar que as tarefas de Laje N02, Pilares N02 e Vigas N03 tem início real antecipado em relação ao planejado, pois estão com a cor azul. Ao observar a coluna de Status, verifica-se que todas as tarefas tem o término antecipado.





Fonte: Autor.

Na Figura 58 pode-se verificar que as tarefas de Pilares N03 e N04, Vigas N05, Laje N05, Levante de Alvenaria N01, N03 e N04, e Regularização Sarrafeada N01 e N02, têm início real antecipado em relação ao planejado, pois estão com a cor azul. Pode-se verificar também que o Levante de Alvenaria N03 e N04 teve início anterior em relação ao Levante de Alvenaria N02, por particularidades da obra. Ao observar a coluna de Status, verifica-se que todas as tarefas têm o término antecipado.



Figura 58 Simulação comparativa da obra - Etapa 04 de 05.

Fonte: Autor.

Na Figura 59 pode-se verificar que as tarefas de Vigas N05 e N06, Laje N05 e Pilares N05, Levante de Alvenaria N02, N03, N04 e N05, e Regularização Sarrafeada N02 e N05, tem início real antecipado em relação ao planejado, pois estão com a cor azul. Ao observar a coluna de Status, verifica-se que todas as tarefas têm o término antecipado.



Figura 59 Simulação comparativa da obra - Etapa 05 de 05.

Fonte: Autor.

Devido à falta de informações cedidas pela construtora, não foi possível fazer análise até a finalização do empreendimento, portanto não pode-se concluir sobre a variação no prazo da obra. Até neste momento da análise, a obra constava com uma folga em relação ao planejado. Apesar disso, algumas tarefas que não pertencem ao caminho crítico estavam com atraso significativo em relação ao planejado, entretanto, não deve resultar em atraso no prazo final da obra.

### 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este estudo apresentou algumas alternativas de execução da modelagem 4D integrando o cronograma da obra ao modelo 3D da obra. Foi discutida uma análise comparativa entre softwares de modelagem 3D, suas vantagens e desvantagens e suas inferências ao BIM. Apresentou também uma análise do acompanhamento de obras através de simulações comparativas, podendo verificar possíveis atrasos e mudanças de caminho crítico. Abaixo, segue uma lista de benefícios e os resultados alcançados no estudo de caso:

# EXECUÇÃO DA MODELAGEM 3D E SUAS SOLUÇÕES PARA ESTUDO DE PROJETO

A modelagem 3D permitiu a visualização da obra em diversas vistas, cortes e plantas, de forma instantânea e detalhada, permitindo retirar informações necessárias para estudos de projetos. Permitiu também uma análise espacial para posicionar os itens do modelo, tais como peças do canteiro ou estrutura de vergas e vigas ou ainda elementos de fachada. Além disso, a visualização do modelo tridimensional permite identificar erros de concepção do projeto.

#### COMPARATIVO REVIT VERSUS SKETCHUP

Este estudo permitiu executar uma análise comparativa entre os *softwares* de modelagem utilizados. Foram abordados os pontos negativos e positivos de cada software, suas indicações e contraindicações. Como resultado, conclui-se que o Revit trabalha objetos paramétricos e, em contrapartida, o SketchUp possibilita uma modelagem rápida e intuitiva. Possibilitou ainda analisar o potencial de gerar imagens com melhor desempenho gráfico.

# EXECUÇÃO DA MODELAGEM 4D POSSIBILITANDO UM PLANEJAMENTO MAIS CONSISTENTE

A modelagem 4D permitiu a elaboração do cronograma em paralelo à modelagem 3D, utilizando a mesma estrutura hierárquica, tornando o processo mais eficiente e confiável. Com o modelo pronto, é possível realizar simulações da obra e identificar o caminho crítico e as etapas que demandam mais atenção, ou, ainda,

avançar até uma etapa específica e detalhar a execução da tarefa ou emitir marcos referenciais para execução da obra. Permite também mais agilidade e precisão no acompanhamento de obras, podendo identificar e detalhar as próximas etapas a serem executadas e auxiliar na elaboração do planejamento em diversos níveis, tais como planejamento de aquisições e planejamento de curto-prazo.

# AUTOMATIZAÇÃO DE PROCESSOS DE MODELAGEM

Foram estudado alternativas de criação de modelos e seus métodos de execução. Foi apresentado soluções de automatização do processo de modelagem 3D e de correspondência entre o modelo 3D e o cronograma.

### ACOMPANHAMENTO MAIS RIGOROSO DE OBRAS

A inserção de informações nos *softwares* sobre a execução da obra permite um acompanhamento mais rigoroso da obra, onde é possível realizar simulações comparativas, identificar possíveis tarefas em atraso e mudanças do caminho crítico. Permite também avaliar o planejamento, e analisar a confiabilidade dos dados de entrada.

#### 7 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a utilização da modelagem 4D no planejamento e acompanhamento de obras. Depois da realização deste estudo, podese garantir vantagens na execução da modelagem 4D, tais como diminuição dos erros de modelagem tridimensional e elaboração de planejamento imersivos em um mesmo ambiente, sem necessariamente consumir mais tempo de execução. Deve-se levar ainda em consideração os benefícios que ela trouxe na automatização dos processos de modelagem e na maior eficiência no acompanhamento de obras.

O primeiro objetivo especifico disse respeito a conhecer os princípios da modelagem 4D relativos ao planejamento e acompanhamento de obras. Para isso, foi executado uma revisão bibliográfica do BIM – e suas caraterísticas, e sobre planejamento e acompanhamento de obras e suas relações.

O segundo objetivo específico tratou de aplicar a modelagem 4D para o planejamento e acompanhamento de obras. Avaliou-se as ferramentas de criação de modelos – Revit e SketchUp e suas contribuições para gerar soluções para os estudos do canteiro, da fachada e das vergas, e as ferramentas para criação do planejamento. Além disso, avaliou-se as ferramentas de integração entre os sistemas e as ferramentas de simulação – dentro do aspecto do planejamento e do acompanhamento de obras.

Ainda dentro do segundo objetivo, avaliou-se as ferramentas utilizadas para o acompanhamento de obras, tais como cronogramas de marcos, análise do caminho crítico, detalhamento de tarefas e execução de simulação comparativa. Pode-se concluir como positiva a aplicação da modelagem 4D, pois nos permitiu solução eficientes para processos que demandam muito tempo para execução.

O terceiro objetivo foi avaliar os resultados obtidos da aplicação da modelagem 4D ao planejamento e acompanhamento de obras. Para ambas situações, a adoção da modelagem 4D trouxe um maior nível de precisão e automatização dos processos, diminuindo os erros, sem gerar excedentes de tempo na sua concepção. Tais ferramentas permitiram identificar tarefas com folgas e tarefas em atrasos, e caso ocorresse, poder-se-ia verificar mudanças no caminho crítico, assim distribuindo melhor as equipes em obras. Com as ferramentas, pode-se verificar também que a elaboração de prazos do planejamento foi inconsistente, pois não continha dados do modelo. Pode-se então qualificar como positiva a utilização da modelagem 4D ao planejamento e acompanhamento de obras.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode ser estudado o uso das ferramentas de quantificar de diversos softwares e analisar a automatização deste processo, podendo gerar dados para elaboração de planejamento mais consistentes e também planilhas de custos, ou seja, modelagem 5D.

Por fim, o quanto é utilizado das tecnologias BIM depende dos custos associados para sua implantação e a redução dos custos do gerenciamento em que lhe é proporcionado. Tais valores dependem do nível de detalhamento e do tamanho do empreendimento em que se quer implantar, podendo não ser positiva sua implementação total ou parcial. Entretanto, verifica-se mudanças de perspectiva do mercado quanto à utilização destas tecnologias o que representa uma grande oportunidade de melhoria na concepção de gerenciamento de obras.

# REFERÊNCIAS

AUTODESK. **Ajuda do Autodesk Navisworks.** 2014a. Disponível em: < http://help.autodesk.com/view/NAV/2014/ENU/> Acesso em: 20/01/2014.

AUTODESK. **Ajuda do Autodesk Revit.** 2014b. Disponível em: < http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ENU/> Acesso em: 20/01/2014.

BARROS, H. Blog, 2010. Disponível em: <a href="http://imprimadesign2007.blogspot.com.br/2010/06/sketchup-x-revit-architecture-por.html">http://imprimadesign2007.blogspot.com.br/2010/06/sketchup-x-revit-architecture-por.html</a>. Acesso em: 10/02/2014.

BIM. Blog, 201-. Disponível em: <<u>www.o20ut-law.com/en/topics/projects--</u> <u>construction/projects-and-procurement/building-information-modelling/</u>>. Acesso em: 20/01/2014.

CÂNDIDO, M. R. N. **A tecnologia BIM como ferramenta para levantamento de quantitativos.** 87 f. il. 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

COELHO, S.S.; NOVAES, C.C. **Modelagem de Informações para Construção** (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: VIII Workshop Brasileiro de Gestão de Projetos na Construção de Edifícios, São Paulo, USP, 2008.

EASTMAN, C. et al. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2<sup>a</sup> ed. Hoboken: Wiley, 2011.

FLORIO, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. In: III ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 2007, Porto Alegre. Integração em Sistemas de Arquitetura, Engenharia e Construção, 2007.

FORMOSO, C.T.; BERNARDES, M. M. S.; ALVES, T.C.L. & OLIVEIRA, K. A. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. NORIE/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brazil, 50p. 2001.

GASPAR, J. A. M. Google SketchUp Pro 8 passo a passo. São Paulo. VectorPro, 2010.

GESTÃO REMODELADA. **Revista Construção Mercado**. Disponível em: <<u>http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao</u> <u>construcao/115/gestao-remodelada-construtoras-e-incorporadoras-brasileiras-se-</u> <u>mobilizam-para-282476-1.aspx</u>>. Acesso em: 20/01/2014.

GOES, R. H.; SANTOS, E. T. **Compatibilização de projetos: comparação entre o BIM e o CAD 2D.** In: TIC 2011: 5º Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação da Construção Civil. Salvador, 2011. LIMA, C. C. Blog, 2013. Disponível em http://claudiacamposlima.wordpress.com/. Acesso em: 20/01/2014.

LOUZAS, R. **Exercício profissional e entidades**. PINIWEB. 2013. Disponível em: <<u>http://piniweb.pini.com.br/construcao/carreira-exercicio-profissional-</u> entidades/pesquisa-mostra-que-mais-de-90-dos-arquitetos-e-engenheiros-291885-<u>1.aspx</u>>. Acesso em 20/01/2014.

MATTOS, A. D. Planejamento e controle de obras. 1º ed. São Paulo. PINI. 2010.

MELLO, R. B. **BIM e custos: Maximize os dados do modelo com o Navisworks e o Quantity Takeoff.** In: Autodesk University Brasil 2012, 2012.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. SmartMarket Report: The business value of BIM in North America. Massachusetts, 2012.

MICROSOFT. **Suporte do Office.** 2013. Disponível em: <a href="http://office.microsoft.com/pt-br/support/">http://office.microsoft.com/pt-br/support/</a>> Acesso em: 20/01/2014.

NUNES, A. M. M. **Planejamento de obras com modelagem da informação da construção - BIM.** 71f. il. 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

POTENCIAL DO BIM. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 2012. Disponível em: <<u>http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalh</u>os\_Finais\_2012-1/Potencial\_do\_Bim.pdf>. Acesso em 20/01/2014.

ROCHA, A. P. **Por dentro do BIM**. Revista Téchne. 2011. Disponível em: <<u>http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/168/artigo287822-1.aspx</u>>. Acesso em 20/01/2014.

ROLIM Engenharia Ltda. Filosofia lean. In: PRÊMIO CBIC DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. Fortaleza, 2012.

SANTOS, J. P. **Planeamento da Construção Apoiada em Modelos 4D Virtuais.** 63f. il. 2010. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

SKETCHUP. **SketchUp User's Guide.** Disponível em:< http://help.sketchup.com/en/article/116174> Acesso em: 11/02/2014.

STONNER, R. Blog, 2013. Disponível em: <a href="http://pmoacademy.com.br/estrutura-analitica-de-projeto-eap/">http://pmoacademy.com.br/estrutura-analitica-de-projeto-eap/</a>. Acesso em: 20/01/2014.

APÊNDICE A – Estrutura Analítica de Projeto – EAP









eto1





# APÊNDICE B – Quadro com Estrutura de Fases

# Quadro 10 Esquema de Fases - Phases.

ITEM	FASE	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÃO
1 Construção de Barracão		Serviço Preliminar	Construção do barracão, baias e instalações provisórias.
2 Fechamento do Canteiro com Tapumes e Portão		Serviço Preliminar	
3	Locação da Obra / Gabarito	Infraestrutura	
4	Execução de Estacas-Raiz	Infraestrutura	
5	Blocos de Estacas	Infraestrutura	
6	Vigas Baldrames	Infraestrutura	
7	Laje N01	Superestrutura	
8	Pilares N01	Superestrutura	
9	Vigas N02	Superestrutura	
10	Laje N02	Superestrutura	
11	Pilares N02	Superestrutura	
12	Vigas N03	Superestrutura	
13	Laje N03	Superestrutura	
14	Pilares N03 e N04	Superestrutura	
15	Vigas N05	Superestrutura	
16	Laje N05	Superestrutura	
17	Pilares N05	Superestrutura	
18	Vigas N06	Superestrutura	
19	Levante de Alvenaria N01	Vedação	
20	Levante de Alvenaria N02	Vedação	l ovante de alvenaria de
21	Levante de Alvenaria N03 e N04	Vedação	pavimento inteiro.
22	Levante de Alvenaria N05	Vedação	
23	Regularização Sarrafeada N01	Regularização Sarrafeada	
24	Regularização Sarrafeada N02	Regularização Sarrafeada	Regularização sarrafeada do contrapiso do pavimento
25 Regularização Sarrafeada N03 e N04		Regularização Sarrafeada	inteiro, excluindo áreas molhadas.
26	Regularização Sarrafeada N05	Regularização Sarrafeada	
27	Massa Única Interna N01	Massa Única Interna	
28	Massa Única Interna N02	Massa Única Interna	Massa única interna do
29 Massa Única Interna N03 e N04		Massa Única Interna	pavimento inteiro.
30	Massa Única Interna N05	Massa Única Interna	
31	Massa Única em Fachada Externa Norte	Massa Única em Fachada	Massa única em fachada do
32	Massa Única em Fachada Externa Leste	Massa Única em Fachada	pano inteiro.

33	Massa Única em Fachada Externa Sul	Massa Única em Fachada		
34	Massa Única em Fachada Externa Oeste	Massa Única em Fachada		
35	Impermeabilização de Banheiros e Cozinha N01	Impermeabilização de Banheiros e Cozinha	Importação do pico o	
36	Impermeabilização de Banheiros e Cozinha N02	Impermeabilização de Banheiros e Cozinha	revestimento de banheiros e piso de cozinhas e varandas	
37	Impermeabilização de Banheiros e Cozinha N03 e N04	Impermeabilização de Banheiros e Cozinha	do pavimento inteiro.	
38	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto101	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
39	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto102	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
40	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto103	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
41	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto104 e Lazer	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
42	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto201	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
43	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto202	Assentamento de Pisos e Revestimentos	Impermeabilização de piso e revestimento de banheiros e	
44	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto203	Assentamento de Pisos e Revestimentos	piso de cozinhas e varandas de cada apartamento. Nesse	
45	Assentamento de Pisos e Revestimentos Apto204 e Lazer	Assentamento de Pisos e Revestimentos	caso, o home do pavimento superior foi considerado um apartamento a parte.	
46	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto201	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
47	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto202	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
48	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto203	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
49	Assentamento de Pisos e Revestimentos Home Apto204	Assentamento de Pisos e Revestimentos		
50	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais N01	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais		
51	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais N02	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais	Instalação de bancadas dos banheiros e cozinha do	
52	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais N03 e N04	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais		
53	Impermeabilização Laje Cobertura	Impermeabilização e Isolação Térmica		
54	Impermeabilização Jardineira	Impermeabilização e Isolação Térmica		
55	Instalação Kit Porta Pronta	Esquadria		
56	Instalação Esquadrias de Vidro	Esquadria		
57	Instalações Box Banheiros	Esquadria		

58 Instalação de Porta em Alumínio		Esquadria	
59	Estrutura de Madeira	Cobertura	
60	Execução de Calha	Cobertura	
61	Cobertura em Fibrocimento	Cobertura	
62	Instalação de Rufo	Cobertura	
63	Instalação Forro Gesso Liso	Forro	
64	Instalação Rodapé	Serviços Complementares	
65	Escada de Acesso ao Apartamento	Serviços Complementares	
66	Escada de Acesso ao Home	Serviços Complementares	
67	Escada de Acesso ao Reservatório	Serviços Complementares	
68	Guarda-Corpo Metálico	Serviços Complementares	
69	Escotilha de Acesso à Laje Técnica	Serviços Complementares	
70	Pintura Interna	Pintura	
71	Pintura Externa	Pintura	
72	Desmobilização - Barracão	Serviço Final	
73	Concretagem de Sapatas	Estrutura - Periferia	
74	Estrutura - Vigas, Lajes e Pilares	Estrutura - Periferia	
75	Levante Alvenaria Portaria	Vedação - Periferia	
76	Regularização Sarrafeada Portaria	Revestimento Básico - Periferia	
77	Massa Única Interna Portaria	Revestimento Básico - Periferia	
78	Massa Única em Fachada Portaria	Revestimento Básico - Periferia	
79	Massa Única em Muro	Revestimento Básico - Periferia	
80	Impermeabilização de Banheiro Portaria	Revestimento Básico - Periferia	
81	Arestamento de Alvenaria Portaria	Revestimento Básico - Periferia	
82	Assentamento de Pisos e Revestimentos Portaria	Revestimento Acabamento - Periferia	
83	Instalação de Bancadas em Pedras Naturais Portaria	Revestimento Acabamento - Periferia	
84	Pavimentação de estacionamento	Pavimentação - Periferia	
85	Pavimentação de passeio	Pavimentação - Periferia	
86	Grama em tapete	Pavimentação - Periferia	
87	Placas Concreto	Pavimentação - Periferia	
88	Impermeabilização Laje Cobertura Portaria	Impermeabilização e Vedação Térmica - Periferia	
89	Instalação Kit Porta Pronta Portaria	Esquadria - Periferia	
90	Instalação Esquadrias de Vidro Portaria	Esquadria - Periferia	

91	Portões	Esquadria - Periferia
92	Instalação Forro Gesso Liso Portaria	Forro - Periferia
93 Parquinho		Serviço Complementar - Periferia
94	Marcação Garagem	Serviço Complementar - Periferia
95	Pintura Interna Portaria	Pintura - Periferia
96	Pintura Externa Portaria	Pintura - Periferia
97	Pintura Muro	Pintura - Periferia

# APÊNDICE C – Cronograma de Marcos

Figura 60 Marco referencial do mês 01.



Fonte: Autor.

Figura 61 Marco referencial do mês 03.



Figura 62 Marco referencial do mês 05.



Fonte: Autor.

Figura 63 Marco referencial do mês 07.



Figura 64 Marco referencial do mês 09.



Fonte: Autor.

Figura 65 Marco referencial do mês 11.



Fonte: Autor.
Figura 66 Marco referencial do mês 13.



Fonte: Autor.