



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – UFBA
ESCOLA POLITÉCNICA
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PEDRO HENRIQUE DO PRADO OLIVEIRA

**MODELAGEM 4D APLICADA AO PLANEJAMENTO DE
CURTO PRAZO DE UM PAVIMENTO TIPO**

Salvador

2014

PEDRO HENRIQUE DO PRADO OLIVEIRA

**MODELAGEM 4D APLICADA AO PLANEJAMENTO DE
CURTO PRAZO DE UM PAVIMENTO TIPO**

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

Dedico esse trabalho aos meus pais, que são e sempre serão tudo para mim.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira, pela oportunidade oferecida e por sua infindável dedicação em apoiar e orientar a realização deste trabalho;

Aos colegas e amigos do Parque que, sempre pacientes, tantas dúvidas esclareceram ao longo da elaboração deste trabalho;

Aos estudantes do DCE por me ensinar e ajudar com a modelagem das famílias e elementos em Revit importantíssimos para a construção do modelo;

A todos que estiveram comigo ao longo dessa jornada, sempre me ouvindo e buscando me orientar a fazer o que é certo.

“On a given day, a given circumstance, you think you have a limit. And you then go for this limit and you touch this limit, and you think, 'Okay, this is the limit.' As soon as you touch this limit, something happens and you suddenly can go a little bit further. With your mind power, your determination, your instinct, and the experience as well, you can fly very high.”

Ayrton Senna

OLIVEIRA, Pedro Henrique do Prado. Modelagem 4D aplicada ao planejamento de curto prazo de um pavimento tipo. 94f. il. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

RESUMO

Este trabalho visa avaliar a aplicação da modelagem da informação da construção (BIM) como ferramenta de auxílio na elaboração do planejamento de curto prazo de obras. Considerando que a construção civil vive um momento em que seu desempenho – em termos de prazo, segurança, qualidade e custo – está diretamente atrelado à eficiência no cumprimento do planejamento, o BIM surge com a proposta de facilitar a elaboração e o acompanhamento de todos os processos envolvidos na construção; via sua parametrização e interoperabilidade. O objeto de estudo deste trabalho é um pavimento tipo de um empreendimento residencial de alto padrão em construção na cidade de Salvador. A partir de uma revisão bibliográfica, este trabalho estabelece os procedimentos para associar um modelo tridimensional de um pavimento tipo ao seu planejamento, resultando em modelo 4D que contempla elementos característicos de produção. Em seguida, é feito um levantamento de dados para identificar as principais informações a inserir no modelo, incluindo as datas de execução, quantitativos e dimensionamento de equipes. Então, os elementos modelados são associados ao planejamento. O modelo 4D e seu processo de elaboração são analisados e discutidos, chegando a resultados analíticos – que relacionam o BIM à praticidade de elaboração do planejamento; além de fornecer grande transparência ao processo – e resultados diretos, como elaboração de projetos de logística e sequencias executivas. Em suma, obteve-se, como principal resultado, a conclusão de que um modelo 4D é uma importante ferramenta voltada para a visualização do planejamento de obras, estabelecendo um relação direta entre os elementos da construção e o planejamento existente em um papel.

Palavras Chave: BIM, 4D, Planejamento de Curto Prazo, Pavimento Tipo

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Grau de oportunidade da mudança em função do tempo	19
Figura 02 - Níveis típicos ao longo do ciclo de vida	21
Figura 03 - Ciclo de vida do Projeto	22
Figura 04 - Quadro Comparativo entre ADM e PDM	24
Figura 05 – Gráfico de Gantt	26
Figura 06 - Cronograma Integrado Gantt-PERT/CPM	26
Figura 07 – Mapa Mental Hipotético	27
Figura 08 - Estrutura Analítica de Projeto hipotética	27
Figura 09 - Efeito de aprendizado na produtividade	30
Figura 10 - Planejamento de Curto Prazo	32
Figura 11 - Diferença entre CAD e BIM	35
Figura 12 - Tempo de Projeto: BIM x CAD	36
Figura 13 - Interoperabilidade e Modelagem Paramétrica	37
Figura 14 - Interoperabilidade	40
Figura 15 - Interface Modelo x Documentação	41
Figura 16 – Modelagem 4D	45
Figura 17 - LOD aplicado a um objeto	51
Figura 18 – Importação do planejamento	54
Figura 19 – Visualização dos <i>sets</i>	55
Figura 20 – Procedimento para construção de modelo 4D	60
Figura 21 - Posição do elevador cremalheira e plataforma de grua	63
Figura 22 - Arquivo <i>cache</i> com a equipe de alvenaria periférica	66
Figura 23 - EAP organizada por elementos	67
Figura 24 - EAP organizada por dia do ciclo	67
Figura 25 - Sets organizados conforme EAP por dia do ciclo	68
Figura 26 – Tipos de Tarefa Criados	70
Figura 27 – Equipes de revestimento em argamassa projetada	70
Figura 28 - Forro de gesso antes do ajuste na representação	71
Figura 29 - Forro de gesso após ajuste na representação	71
Figura 30 – Primeira etapa da distribuição dos <i>pallets</i>	73
Figura 31 - Conclusão da distribuição dos <i>pallets</i>	73
Figura 32 - Conclusão da marcação	74

Figura 33 - 1º dia do ciclo de alvenaria periférica às 08:00	75
Figura 34 - 1º dia do ciclo de alvenaria periférica às 08:00	76
Figura 35 - 2º dia do ciclo de alvenaria periférica às 12:00	76
Figura 36 - <i>Walkthrough</i> no 2º dia do ciclo de alvenaria periférica	77
Figura 37 - 1º dia da alvenaria interna às 08:00	78
Figura 38 - 4º dia da alvenaria interna às 08:00	78
Figura 39 - Execução de taliscamento nas paredes do Hall	79
Figura 40 - 3º dia do ciclo de revestimento em argamassa	80
Figura 41 - 5º dia do ciclo de revestimento em argamassa	81
Figura 42 - <i>Walkthrough</i> no revestimento em argamassa	81
Figura 43 - Execução de contrapiso	82
Figura 44 - Assentamento cerâmico	83
Figura 45 - Execução de forro de gesso	84
Figura 46 - Assentamento de Mármore e Granitos	84
Figura 47 - Primeira demão de pintura	85
Figura 48 - Instalação de esquadrias de alumínio	86
Figura 49 - Assentamento de portas em madeira	86
Figura 50 - Segunda demão de pintura	87
Figura 51 - Pavimento concluído	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Anomalias e Soluções de Reparo	47
Quadro 02 – Objetivos do Trabalho	59
Quadro 03 – Resumo de Alvenaria por Pavimento Tipo	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 DELIMITAÇÕES	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 PLANEJAMENTO DE OBRAS	16
2.1 GESTÃO DE PROJETOS APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL	19
2.2 TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO	22
2.2.1 Diagrama de rede	22
2.2.2 Gráfico de Gantt	24
2.2.3 Identificação de atividades, durações e precedências	26
2.3 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO	31
3 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	35
3.1 MODELAGEM PARAMÉTRICA E INTEROPERABILIDADE	37
3.1.1 Modelagem Paramétrica	37
3.1.2 Interoperabilidade	38
3.1.3 Evolução do BIM	40
3.2 APLICAÇÕES DO BIM	42
3.3 MODELAGEM 4D	47
3.3.1 Processos de simulação 4D	48
3.3.2 Características de um modelo 4D	50
3.3.3 Software Autodesk Navisworks	52
4 METODOLOGIA	57
5 ESTUDO DE CASO	59
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	60
5.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO	63
5.3 O MODELO 4D	71
5.3.1 Logística e marcação	71
5.3.2 Alvenaria periférica	73

5.3.3 Alvenaria interna	76
5.3.4 Serviços de revestimento	78
5.3.5 Serviços de acabamento	82
5.4 ANÁLISE DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO MODELO 4D	87
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	88
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	92

1. INTRODUÇÃO

Devido à grande oferta imobiliária do mercado, à maior exigência por parte dos clientes e, em alguns casos, à escassez de recursos, as empresas do ramo da construção civil tem como objetivo serem mais competitivas, buscando gerenciar melhor seu sistema produtivo e investir em tecnologia a fim de ampliar a produção e qualificar seus lucros (FORMOSO, 2001).

Nesse cenário, a tecnologia de modelagem de informação da construção (do inglês *Building Information Modeling* - BIM) representa um novo paradigma para engenheiros, arquitetos e todos envolvidos no universo da construção. Visto como a evolução direta do CAD (do termo inglês *Computer-aided Design*), o BIM traz consigo a proposta de um protótipo virtual da edificação, ao invés de um desenho baseado em linhas que requeria maior capacidade de interpretação de quem o analisava.

Por intermédio da construção de um modelo tridimensional e paramétrico da edificação é possível integrar, nessa ampla e consistente base de dados, as informações necessárias para a gestão do edifício em todas as etapas do seu ciclo de vida (EASTMAN *et al.*, 2011).

Os objetos, antes representados por linhas (e impondo ao leitor a necessidade de interpretar) passam a ter uma configuração paramétrica, atribuindo-lhes significado semântico via propriedades associadas. São estabelecidas ligações que definem o modo de interação dos elementos entre si e com o modelo global. Os objetos são organizados modo que ficam divididos por classes e por níveis de detalhe (SILVEIRA, 2013).

O BIM ainda permite que sejam integradas dimensões adicionais ao modelo 3D, como, por exemplo, o planejamento da construção; gerando o chamado modelo 4D. A principal virtude da modelagem 4D é permitir que se enxergue a evolução do empreendimento ao longo de sua construção, auxiliando na realização e interpretação do planejamento.

No setor da construção, as decisões são tomadas com pouca informação, resultando em oportunidades perdidas e em efeitos indesejados. Portanto, a tecnologia BIM, ao incorporar as demais dimensões ao seu modelo 3D, está frequentemente associada ao conceito de transparência abordado pelos princípios da construção enxuta, que visa à difusão de informações entre os diferentes níveis

gerenciais, permitindo-se tomar as decisões estratégicas, táticas e operacionais mais vantajosas.

De acordo com Owen *et al.* (2012), a associação do BIM à construção enxuta (*Lean Construction*) resulta em um processo holístico semelhante ao de outras indústrias. Inclusive, há trabalhos realizando essa integração que apontam para a concepção de novas ferramentas de gestão de projetos. O principal elo dessa associação é o princípio da transparência, definido como a capacidade que dado processo de produção possui de se comunicar com as pessoas (FORMOSO *et al.*, 2002), e essa capacidade se dará quando os processos se tornarem visíveis e compreensíveis do início ao fim (VALENTE, 2013). Conseqüentemente, o aumento da transparência na gestão do processo produtivo é um princípio que apresenta efeitos significativos na eficiência e qualidade da execução (ROCHA *et al.*, 2004). Com base nesse contexto, esse trabalho visa avaliar a aplicação do BIM para estudo do planejamento de curto prazo de obras aplicado a um pavimento tipo, com foco no serviço de alvenaria.

1.1. JUSTIFICATIVA

A complexidade nas decisões de um empreendimento se verifica pelo fato de que os efeitos de cada decisão dependem de um grande número de variáveis, muitas vezes afetadas por outras decisões (PAPAMICHAEL, 1999). Portanto, o desafio de planejar e orçar uma obra de forma eficaz e eficiente está fortemente atrelado à própria história da construção civil, ainda mais no cenário em que a grande maioria das obras apresenta atrasos em seus cronogramas e desvios em seus orçamentos; o que torna o planejamento da construção uma atividade desafiadora e essencial na execução e gestão de empreendimentos.

O planejamento eficiente de uma obra é um dos mais importantes aspectos em uma construção e o sucesso desse empreendimento está diretamente associado a essa eficiência. No entanto, este é justamente o item que vem causando maiores complicações no ciclo de construção de uma obra; considerando desde sua concepção até sua entrega. Um dos principais pontos, que leva a esse resultado nada desejado pelos construtores, é a falta de um fluxo de informações adequado entre os diversos participantes de um projeto.

Há evidências de que a habilidade necessária para se elaborar um planejamento adequado em construções ainda está aquém, sendo que grande parte se deve à necessidade de contemplar um grande número de variáveis; o que dificulta a previsibilidade dos processos envolvidos na construção civil. Por fim, pode-se considerar que as mais diversas metodologias de planejamento pesquisadas e implementadas não obtiveram resultados que atendessem às reais necessidades dos construtores.

Tradicionalmente, o método utilizado para planejar as atividades de um empreendimento é o do caminho crítico (CPM – do inglês, *Critical Path Method*). No entanto, esse método condiciona o responsável pelo planejamento a fatiar os processos envolvidos na construção do empreendimento e ordená-los em uma sequência lógica (MATTOS, 2010). Nesse ponto, o sucesso do planejamento depende da experiência de quem o elabora para que cada atividade esteja corretamente atrelada a seu predecessor; o que acaba se tornando um objetivo complexo, dada a visualização de um grande número de atividades conectadas em um gráfico de Gantt, por exemplo (HENDRICKSON, 2008).

Outro ponto que eleva o grau de dificuldade do planejamento na construção civil é a constante evolução espacial do local de produção. Diferente de uma indústria convencional, a indústria da construção é forçada a produzir em um canteiro dinâmico, onde a destinação de uso do espaço está em constante mudança. Dang; Tarar (2012) explicam que o gestor responsável pelo planejamento deve analisar plantas em 2D e estabelecer uma relação conceitual entre os componentes dessa construção e as atividades programadas no CPM, para que possa identificar as características espaciais do empreendimento. Essa análise pode se transformar em um processo complexo e problemático, limitando a possibilidade de identificação de sequências executivas, falhas e oportunidades (MATTOS, 2010).

Uma nova metodologia que vem sendo utilizada para facilitar o processo de planejamento é a chamada modelagem 4D, obtida a partir de um modelo virtual da construção. A linha principal de trabalho do BIM é a modelagem de um protótipo virtual da edificação, como se fosse a construção da edificação no ambiente virtual. Aplica-se inclusive a denominação edifício virtual (AYRES; SCHEER, 2007).

Fundada nesses conceitos, a modelagem em 4D alia o modelo tridimensional estático a um planejamento executivo da construção, permitindo que se evidencie a

organização espacial do canteiro em cada etapa da construção. Desse modo, desafios como identificar locais para armazenamento de materiais, áreas administrativas e centrais de pré-fabricação podem ser resolvidos de forma mais segura e precisa.

1.2. OBJETIVOS

- OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) para estudo do planejamento de curto prazo.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esse trabalho tem como objetivos específicos:

- Conhecer os princípios e aplicações da modelagem da informação da construção;
- Aplicar a modelagem da informação da construção para estudo do planejamento de curto prazo de obras, envolvendo elementos característicos de produção;
- Analisar a aplicabilidade de modelos 4D para o planejamento de curto prazo, elaborando recomendações para sua aplicação.

1.3. DELIMITAÇÕES

Os conceitos da modelagem 4D serão aplicados a um pavimento tipo de um empreendimento residencial em construção na cidade de Salvador. O modelo utilizado para esse estudo se baseia nos projetos estruturais e arquitetônicos existentes, bem como elementos complementares que visam representar os processos de produção.

Dentro desse escopo, são estudados apenas os aspectos referentes ao planejamento de curto prazo. Destaca-se que esse trabalho não pretende elaborar o planejamento de curto prazo em si, porém avaliar ferramentas que possam contribuir e facilitar esse processo.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto por 7 capítulos, sendo eles a Introdução, revisão bibliográfica sobre Planejamento de Obras e sobre BIM, Metodologia, Estudo de Caso, Análise e Discussão dos Resultados, e Considerações Finais.

O primeiro capítulo possui caráter introdutório, com a apresentação do tema, justificativa, objetivos (Geral e Específicos) e a estrutura do trabalho.

Os dois capítulos seguintes fundamentam referenciais teóricos essenciais para o desenvolvimento do estudo de caso. São apresentados os conceitos fundamentais, abordando opiniões de diversos autores. O segundo capítulo discorre sobre as principais noções relativas ao planejamento de obras, enquanto que o terceiro aborda a tecnologia BIM e sua aplicação ao planejamento de obras (Modelagem 4D).

No quarto capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho, definindo o tipo de pesquisa e as ferramentas adotadas para coleta e análise de dados. Neste capítulo, consta um quadro referenciando os objetivos com seus instrumentos e resultados.

O quinto capítulo apresenta o estudo de caso proposto neste trabalho. Aplica-se o BIM para construção de um modelo com planejamento associado referente a um pavimento tipo, considerando seus principais serviços. O estudo de caso ainda contempla a abordagem dos procedimentos utilizados para elaboração da modelagem 4D.

O sexto capítulo traz as análises obtidas a partir do estudo de caso, contemplando os pontos positivos e dificuldades encontrados na realização do trabalho.

O último capítulo é composto pelas considerações finais e conclusões obtidas com o estudo de caso e sua análise. Por fim, seguem as referências bibliográficas e anexos.

2. PLANEJAMENTO DE OBRAS

Dentre as diversas definições de planejamento na literatura, Ackoff (1976) diz que planejar uma obra se trata de um processo de tomada de decisão, realizado antecipadamente à ação, gerando um empenho em projetar um futuro desejado e formas exequíveis de realiza-lo. Formoso (2001) corrobora que esse processo gerencial envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los. Em outras palavras, planejar é pensar, aplicar, controlar e corrigir a tempo. O planejamento envolve várias etapas que não podem ser descartadas por falta de tempo ou por excesso de confiança na própria experiência (MATTOS, 2010).

A construção de uma edificação consiste de um conjunto de atividades específicas, interdependentes e, muitas vezes, paralelas; todas ocorrendo em torno de um ambiente dinâmico e mutável. Além das peculiaridades de cada variável envolvida, o ato de construir traz consigo o desafio de consolidar todas essas diferentes tarefas em um único cronograma; de modo que o empreendimento seja realizado dentro do prazo, segurança, qualidade e custo pactuados com clientes e acionistas.

Segundo Mattos (2010), ao planejar sua obra, o gerente a dota 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.

Devido à sua importância e complexidade, Ballard (2000) sugere que haja uma hierarquização do planejamento. O principal objetivo dessa subdivisão é evitar o excessivo detalhamento dos planos nas etapas iniciais do empreendimento, onde as informações ainda não permitem esse nível de detalhe. Com isso, a interpretação do planejamento se torna mais adequada à respectiva fase da construção. O modelo tradicional de planejamento, amplamente difundido pela tradicional gestão de projetos aplicada à construção civil, divide o planejamento em três esferas: Estratégico, Tático e Operacional. Formoso (2001) relaciona essas esferas ao planejamento de longo prazo, médio prazo e curto prazo; respectivamente.

No entanto, ao perceber que apenas metade das tarefas delegadas às equipes de construção conseguiam ser concluídas, foi proposta um série de critérios para a

proteção da produção, levando ao surgimento do sistema *Last Planner*. Sob essa ótica, o planejamento passa a ser dividido em: *Masterplan*, *Lookahead* e *Commitment Planning* (BALLARD, 2000).

O *Masterplan* (Planejamento Mestre) deve estabelecer os objetivos globais e restrições que governam o projeto como um todo (BALLARD, 2000). Ballard (1997) explica que esses planos atuam como o planejamento estratégico da obra, desde a coordenação do projeto à projeção de desembolsos. O planejamento de longo prazo é elaborado com um grau de detalhes relativamente baixo, coerente com o nível de informações disponível no momento de sua construção. Sua utilidade está na visualização da obra como um todo, na identificação rápida da época de entrada em operação de cada fase da obra e os marcos (*milestones*) (MATTOS, 2010). Bernardes (2003) conclui que o *Masterplan* define os ritmos dos principais processos de produção, bem como a programação dos recursos de longo prazo de aquisição.

O planejamento *Lookahead* (olhar à frente) tem como principal função dar forma e controlar o fluxo de trabalho (BALLARD, 2000). Bernardes (2003) explica que o planejamento *Lookahead*, tratado como médio prazo, possui o objetivo de ser o elo entre o planejamento de longo prazo e o de curto prazo. Fruto do detalhamento e ajuste do *Masterplan*, o *Lookahead* possui grande ênfase na liberação de restrições abrangendo um horizonte que varia de duas semanas a três meses. Ballard (2000) explica que a introdução do *Lookahead* foi motivada pela simples observação de que os mecanismos de proteção da produção no nível de curto prazo eram insuficientes para garantir a que as equipes atingissem elevada eficiência.

A terceira esfera, *Commitment Planning* (Planejamento de Comprometimento), é o nível em que se especificam os meios para atingir os objetivos estabelecidos no *Masterplan* (BALLARD, 2000). Relacionado, principalmente, à definição detalhada das atividades a serem realizadas, seus recursos e momento de execução (FORMOSO, 2001). Isso se dá via uma produção de planos semanais de trabalho, nos quais se orienta de forma direta a execução da obra. Por esses planos semanais são atribuídos pacotes de trabalho às equipes e se gerencia o seu comprometimento em realizá-los (BALLARD, 2000).

De modo geral, o planejamento de um empreendimento envolve diversos aspectos importantes, como a gestão de pessoas, compras, orçamento etc.; fazendo deste uma das mais importantes ferramentas disponíveis ao Gestor do

Empreendimento. Segundo Mattos (2010), os principais benefícios de um planejamento devidamente realizado são:

- Conhecimento pleno da obra
- Detecção de situações desfavoráveis
- Agilidade de decisões
- Relação com o orçamento
- Otimização da alocação de recursos
- Referência para acompanhamento
- Padronização
- Referência para metas
- Documentação e rastreabilidade
- Criação de dados históricos
- Profissionalismo

Estando munido de todas as informações sobre o andamento da obra e seus serviços, o gestor passa a ter domínio pleno sobre a interferência de cada atividade, além de possibilitar a tomada de decisões de forma antecipada. Um exemplo prático é a logística de argamassa para revestimento. O gestor de uma obra cujo planejamento contemple o início dos serviços de revestimento em fachada após a conclusão do revestimento interno pode viabilizar uma única central de argamassa para atender a essa demanda. Nesse caso, os serviços devem ser executados dentro dos prazos previstos, caso contrário a central de argamassa pode não suportar a demanda simultânea das duas frentes de serviço e outra solução de logística terá de ser implementada.

Dentro do mesmo exemplo, percebe-se que a escolha por uma central de argamassa única só pôde ser realizada por haver uma programação que antecipou a escolha das metodologias executivas e permitiu ao gestor o tempo necessário para análise das alternativas de logística, adequando sua obra à que melhor se enquadrou em seu custo e seu prazo.

O exemplo da central de argamassa ilustra o que se chama de oportunidade construtiva. Quanto mais cedo for a intervenção, melhor será o resultado que ela trará. Pode-se entender oportunidade construtiva como a época em que se pode alterar o rumo de um serviço ou do próprio planejamento a um custo relativamente baixo. Com

o passar do tempo, essa intervenção passa a ser menos eficaz e sua implantação, mais cara — é a oportunidade destrutiva (MATTOS, 2010). A Figura 01 retrata a relação entre o avanço do tempo ao longo do empreendimento e o grau de oportunidade (representado pelo binômio Potencial para Agregar Valor x Custo da Mudança). Percebe-se, claramente, que quanto mais cedo for a mudança, melhor serão seus benefícios e menores serão seus custos de implantação.

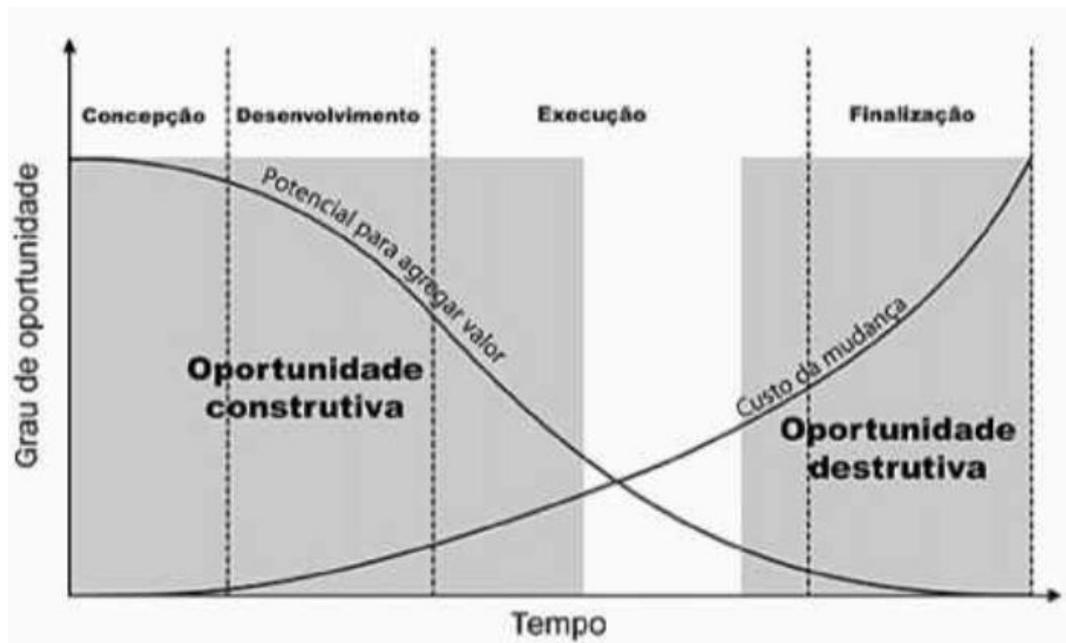


Figura 01 – Grau de oportunidade da mudança em função do tempo (MATTOS, 2010)

2.1. GESTÃO DE PROJETOS APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção de uma edificação segue uma sequência lógica de atividades, sempre visando ao objetivo final: a conclusão do empreendimento. Cada etapa gera um produto que serve de base para a próxima e, conseqüentemente, modifica o espaço físico de produção. Nesse cenário, a ótica mais propícia para que se enxergue o planejamento de um empreendimento é sob os conceitos da gestão de projetos.

Gestão de projetos se resume à aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos (PMI, 2008). No entanto, o termo projeto não possui, neste caso, o sentido comumente utilizado na construção civil, onde faz referência a todas as plantas, cortes, cotas e detalhes utilizados na edificação (termo equivalente ao inglês *design*). Projeto, no

contexto da Gestão de Projetos, diz respeito a um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A sua natureza temporária indica um início e um término definidos, sendo que o fim ocorre quando os objetivos estabelecidos são atingidos (PMI, 2008). Dessa forma, deve-se encarar o termo projeto como o equivalente ao termo inglês *Project*.

Um projeto, segundo o PMI (2008), possui um ciclo de vida composto por fases sequenciais, algumas vezes sobrepostas, que oferece uma estrutura básica para o gerenciamento do projeto, independente do trabalho específico envolvido. A Figura 02 relaciona as principais fases da estrutura de um projeto com os custos e demanda por pessoal. Percebe-se que a maior parte desse dispêndio ocorre durante a execução dos trabalhos, sendo sua queda abrupta durante a fase de encerramento do projeto.

Ballard (2000) explica que para a gestão de projetos tradicional, os objetos de controle são o tempo e os recursos. Controlar o tempo envolve elaboração de planejamentos e cronogramas, onde o planejamento decide as atividades a serem executadas e sua sequência; enquanto que o cronograma decide a duração e as datas de cada uma delas. O monitoramento permite verificar o progresso das atividades, comparando-o com o previsto e gerando previsões para conclusão dos trabalhos. Ballard (2000) conclui que o objetivo desse controle é medir a produção ou o progresso; e não a produtividade.

Relacionando a Figura 01 com a Figura 02, pode-se concluir que a redução da capacidade de influenciar o produto final com o decorrer do ciclo de vida do projeto está diretamente relacionada com a quantidade de energia despendida. Ou seja, com o passar do tempo, as alterações e correções de desvios significam um retrabalho cada vez maior. Por fim, conclui-se, de acordo com as curvas, que os riscos e incertezas decrescem ao longo do ciclo de vida do projeto.

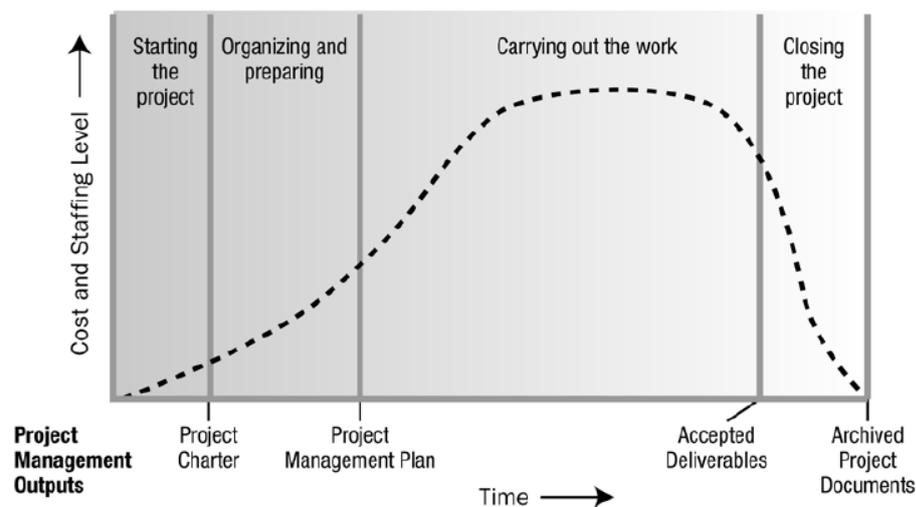


Figura 02 – Níveis típicos ao longo do ciclo de vida (PMI, 2008)

O PMI (2008) preconiza que, devido ao potencial de mudança, o plano de gerenciamento do projeto é iterativo e passa por uma elaboração progressiva no decorrer do ciclo de vida do projeto. A elaboração progressiva envolve melhoria contínua e detalhamento de um plano conforme informações e estimativas mais exatas tornam-se disponíveis. Isto é, conforme o projeto evolui, a equipe de gerenciamento poderá gerenciar com um nível maior de detalhes. Portanto, a gestão de projetos tem como complemento a gestão de qualidade, sendo que ambos partilham a importância da satisfação do cliente, do princípio da prevenção ao invés da inspeção e a melhoria contínua de processos.

Atualmente, a base da melhoria contínua de qualidade é o PDCA (planejar-fazer-verificar-agir). Segundo Fauchier; Alves (2013), o ciclo promove a constante análise de objetivos, planos e resultados para promover a melhoria contínua. Essa aplicação se torna especialmente relevante em projetos de grande complexidade, onde a energia gasta para planejar tem que ser adequada para atender às necessidades de processos sem previsão de folga e sujeitos a diversas modificações.

Quanto mais frequente for a aplicação do ciclo, mais próximo da realidade se torna o planejamento. As informações geradas ao longo da construção servem de base para que se possa corrigir o planejamento. Por exemplo, caso os serviços de marcação de alvenaria estejam planejados para durar cinco dias úteis passem a durar sete, haverá um descompasso no planejamento. Uma vez que essa informação é analisada, pode-se buscar a causa da baixa produtividade e, paralelamente, readequar o planejamento à nova realidade.

Segundo Mattos (2010), o mérito do ciclo é deixar claro para a equipe do projeto que não basta planejar. Não é suficiente delinear previamente a metodologia, os prazos e os recursos requeridos, sem que haja monitoramento e comparação dos resultados reais com aqueles desejados. A Figura 03 ilustra o ciclo PDCA aplicado ao planejamento de um empreendimento de construção civil. Importante saber que o ciclo não se restringe apenas à relação planejamento-construção. Durante a própria fase de planejamento inicial da construção deve haver uma constante retroalimentação das novas informações, como definições de metodologias executivas ou indicadores de produtividade aferidos em obras similares.

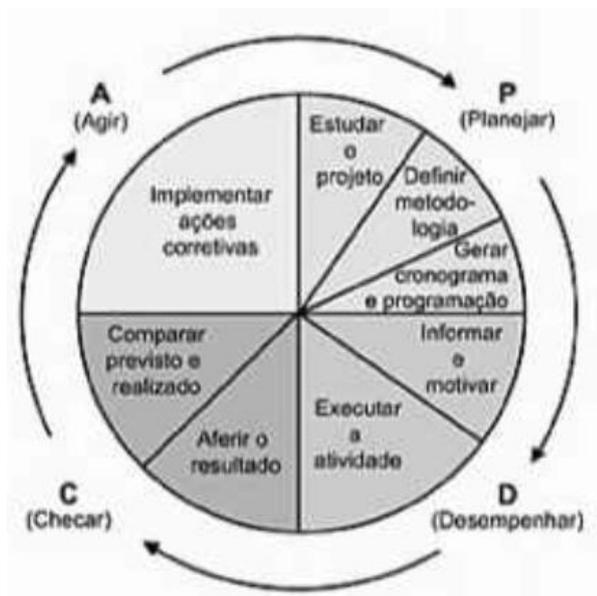


Figura 03 – Ciclo de vida do Projeto (MATTOS, 2010)

2.2. TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO

2.2.1. Diagrama de Rede

Entende-se por Diagrama de Rede qualquer demonstração esquemática dos relacionamentos lógicos entre as atividades do cronograma do projeto. Sempre detalhado da esquerda para a direita para refletir a cronologia do trabalho do projeto (PMI, 2008).

Dessa forma, o conjunto de atividades do projeto é descrito de uma forma lógica, indicando a ideia de um fluxo, partindo da esquerda para a direita. O diagrama de rede

permite a visualização clara do inter-relacionamento entre as atividades e serve de matriz para o cálculo do caminho crítico e das folgas pela técnica PERT/CPM (MATTOS, 2010). Por seu caráter intuitivo, tornou-se a ferramenta mais utilizada para análise de alternativas e simulações de cenários ao longo do tempo.

O método do CPM nasceu em 1957, graças aos trabalhos dos matemáticos Morgan Walker e James Kelley. A dupla se propôs a entender melhor a correlação entre tempo e custo para os projetos de engenharia da *E.I du Pont de Nemours and Co.* (DuPont). Eles sabiam que acelerar todas as atividades de um projeto não era a maneira mais eficiente de obter prazo reduzido e desconfiavam que a solução do problema era identificar as atividades certas para acelerar o projeto sem incorrer em significativo aumento de custo. Walker e Kelley batizaram de “cadeia principal” o que pouco depois seria imortalizado como “caminho crítico” e que seria a base do *Critical Path Method* (Método do Caminho Crítico), cuja sigla é CPM (MATTOS, 2010).

O *Program Evaluation and Review Technique* (Técnica de Avaliação e Revisão de Programas), cuja sigla é PERT, também data do ano de 1957. Ele foi desenvolvido na marinha americana em parceria com a Booz Allen & Hamilton (empresa de consultoria) e a Lockheed Aircraft Corporation, para planejamento e controle do Projeto Polaris, cujo escopo era o desenvolvimento de um míssil balístico essencial para os planos americanos na época da Guerra Fria (MATTOS, 2010).

Dentre os métodos para montagem do diagrama, os dois mais difundidos são o de Blocos (ou PDM – *Precedente Diagramming Method*) e o de flechas (ou ADM – *Arrow Diagramming Method*). Os resultados obtidos com qualquer um dos métodos serão iguais, tornando a escolha por um dos métodos uma questão muito mais voltada à afinidade do programador com o procedimento. Ambos os métodos, ilustrados pela Figura 04, estão resumidos a seguir:

- ADM: as atividades são representadas por flechas (setas) orientadas entre dois eventos, que são pontos de convergência e divergência de atividades, Toda seta parte de um evento e termina em outro e não pode haver duas atividades com o mesmo par de eventos de começo e de término (MATTOS, 2010). Deve-se entender atividade como a tarefa a ser realizada, possuindo uma duração e recursos atribuídos. Já o evento é um marco no tempo. Por não representar uma atividade, os eventos não

possuem duração e recursos. Um evento só é atingido quando todas as atividades que para ele convergem são atingidas.

- PDM: as atividades são representadas por blocos ligados entre si por flechas que mostram a relação de dependência. O conceito de evento não se aplica a esse método, tornando a sua elaboração mais intuitiva que o método das flechas.

<i>Aspecto</i>	<i>Método das flechas (adm)</i>	<i>Método dos blocos (pdm)</i>
Atividade	Flecha	Bloco
Evento	Círculo (nó)	Não há
Atividade-fantasma	Há	Não há
Quantidade de atividades	Maior (pois tem fantasmas)	Menor
Ligações com defasagem	Não admite	Admite
Facilidade de traçar	Menor	Maior
Outras denominações	ADM, AOA	PDM, AON

Figura 04 – Quadro Comparativo entre ADM e PDM (MATTOS, 2010)

Após elaboração do diagrama, passa-se para a fase de análise da rede, visando à determinação da duração do projeto. A sequência de atividades que gera a maior duração total é denominada de Caminho Crítico. É importante que se determine o caminho crítico de um projeto com cuidado, pois o prazo para sua execução é determinado por essa sequência de atividades críticas. Essa é a sequência de atividades que comanda o projeto do ponto de vista de tempo, É importante identificar o caminho crítico porque um atraso nele fatalmente significa um atraso no prazo de conclusão. Identificar o caminho crítico e monitorar suas atividades componentes é uma das principais tarefas do planejador e da equipe gestora da obra (MATTOS, 2010).

2.2.2. Gráfico de Gantt

Uma representação gráfica de informações relacionadas ao cronograma. Em um gráfico de barras típico, as atividades do cronograma são listadas verticalmente do lado esquerdo do gráfico, as datas são mostradas horizontalmente na parte superior

e as durações das atividades são exibidas como barras horizontais posicionadas de acordo com as datas (PMI, 2008).

Seu nome é uma homenagem ao engenheiro norte-americano Henry Gantt, que aplicou o conceito de cronograma de barras como ferramenta de controle na produção de navios cargueiros no início do século XX. O cronograma de Gantt como resume-se a 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. A Figura 05 ilustra um cronograma de Gantt.

O gráfico de Gantt torna a leitura do cronograma fácil, intuitiva e atrativa, o que o torna uma importante ferramenta para a compreensão e controle do projeto. Qualquer pessoa com um mínimo de instrução pode manusear um cronograma e dele extrair informação sem dificuldade (MATTOS, 2010).

O cronograma de barras, como originalmente concebido, tem a deficiência de não possibilitar a visualização da ligação entre as atividades, não levar em conta as folgas e não mostrar o caminho crítico. A fim de suprir essas limitações, planejadores criaram uma versão aprimorada do cronograma de Gantt, na qual introduziram dados tirados da rede PERT/CPM. A versão final recebe o nome de cronograma integrado Gantt-PERT/CPM (MATTOS, 2010).

O cronograma integrado Gantt-PERT/CPM ordena a sequência das atividades via pequenas setas que indicam a relação de precedência entre as tarefas. As folgas e datas são indicadas em números e as atividades críticas são indicadas com hachuras ou em outra coloração (normalmente em vermelho). A representação das atividades realizadas também pode ser indicada para acompanhamento da situação do projeto. A Figura 06 representa um cronograma integrado Gantt-PERT/CPM.



Figura 05 – Gráfico de Gantt (RIEPEP, 2011)

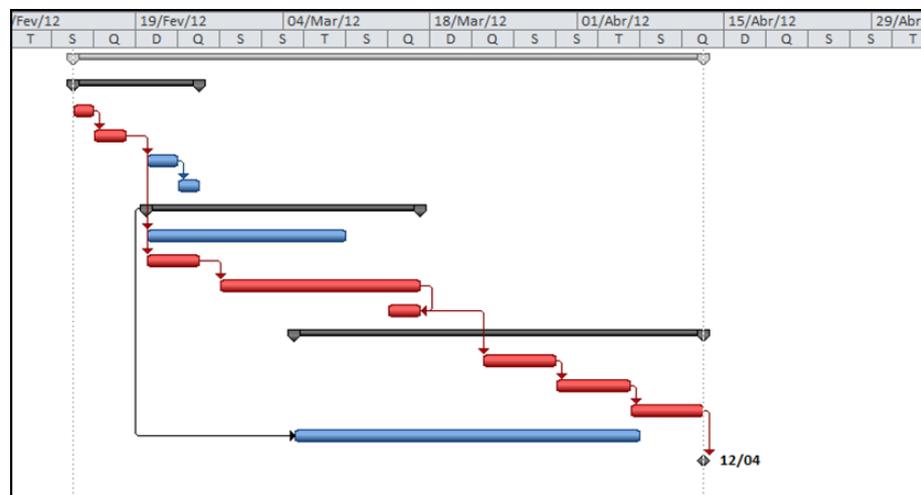


Figura 06 – Cronograma Integrado Gantt-PERT/CPM (SANTOS, 2011)

2.2.3. Identificação de atividades, durações e precedências

• Identificação das Atividades

Definir as atividades é o processo de identificação das ações específicas a serem realizadas para produzir as entregas do projeto (PMI, 2008), ou seja, consiste em identificar as atividades que irão compor o cronograma da obra. É uma etapa que envolve grande atenção, pois, se algum serviço não for contemplado, o cronograma ficará inadequado e futuramente o gerente estará às voltas com atrasos na obra (MATTOS, 2010).

A maneira mais prática de identificar as atividades é por meio da elaboração da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) que, segundo o PMI (2008) trata-se de uma decomposição hierárquica orientada às atividades que serão executadas pela equipe

para atingir os objetivos do projeto. Ou seja, a EAP é um modelo de organização das atividades necessárias à construção, aumentando o grau de detalhamento e especificidade à medida que se aprofunda em sua hierarquia. O trabalho planejado é contido dentro dos componentes de nível mais baixo da EAP, que são chamados de pacotes de trabalho. Um pacote de trabalho pode ser agendado, ter seu custo estimado, monitorado e controlado (PMI, 2008)

Para essa mesma finalidade, também podem ser utilizados mapas mentais, i.e., um tipo de estrutura em árvore. Nesse caso, cada ramo é subdividido em ramos menores, porém mais específicos, até que todo o escopo do projeto tenha sido abordado. As Figuras 07 e 08 representam, respectivamente, um mapa mental e uma EAP aplicados a uma casa hipotética. Nota-se que a EAP tem a vantagem de organizar o processo de desdobramento do trabalho, permitindo que o rol de atividades seja facilmente checado e corrigido (MATTOS, 2010).

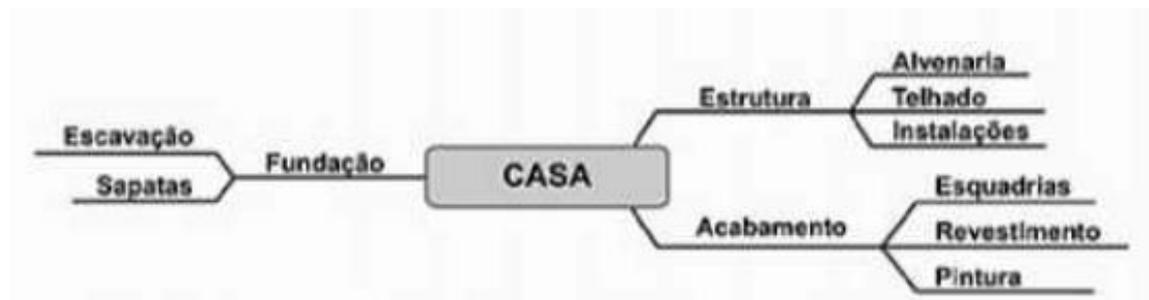


Figura 07 – Mapa mental hipotético (MATTOS, 2010)

CASA	
FUNDAÇÃO	
	ESCAVAÇÃO
	SAPATAS
ESTRUTURA	
	ALVENARIA
	TELHADO
	INSTALAÇÕES
ACABAMENTO	
	ESQUADRIAS
	REVESTIMENTO
	PINTURA

Figura 08 – Estrutura Analítica de Projeto hipotética (MATTOS, 2010)

Hendrickson (2008) atesta que a definição adequada das atividades pode se tornar um processo demorado e entediante, no entanto representa a base para a aplicação de um planejamento formal. Considerando que projetos de construção civil podem conter milhares de atividades, a fase de definição pode se tornar uma grande consumidora de equipe e tempo. Todavia, a grande maioria das atividades pode ser encontrada em empreendimentos anteriores; permitindo que esses sirvam de modelo para a nova construção. Um exemplo prático é o acabamento interno de um empreendimento residencial. Apesar das variações de especificações, dificilmente essa construção estará livre de atividades como execução de revestimento interno, assentamento de esquadrias, assentamento de bancadas etc. Em resumo, o responsável por definir as atividades não precisa abordar cada porção do empreendimento do zero.

A replicação de atividades de empreendimentos anteriores, ou até mesmo de outras porções da construção em estudo, reduz o trabalho do planejador. Contudo, como se trata de analisar o projeto, suas peculiaridades e tecnologias executivas adotadas, a definição das atividades depende basicamente de trabalho intelectual, sendo pouco o auxílio prestado por computadores.

Hendrickson (2008) alerta que se a subdivisão de atividades for exageradamente refinada, a rede passa ter dimensões que dificultam trabalhos futuros, como estabelecimento de precedências, o próprio planejamento e controle da obra. Além disso, o detalhamento de atividades não oferece benefício caso a estimativa de duração e recursos não puder ser feita de modo preciso. De forma contrária, uma subdivisão demasiadamente pobre impossibilita a coerência na construção de cronogramas, bem como na identificação e quantificação de recursos.

- Definição da Duração

Toda atividade componente do projeto requer um tempo para ser executada. Consequentemente, cada atividade precisa estar associada a uma duração definida, podendo essa ser expressa em horas, dias, semanas etc. Segundo Mattos (2010), há tarefas que têm duração fixa, independentemente da quantidade de recursos alocados, como, por exemplo, a cura do concreto; e outras cuja duração depende da quantidade de recursos. Dessa forma, uma atividade de hipotética de assentamento

de porcelanato pode ser feita por dois pedreiros em dez dias, ou por quatro pedreiros em cinco dias (o trabalho total é o mesmo: vinte dias de pedreiro).

A duração depende, portanto, da quantidade de serviço, da produtividade e da quantidade de recursos alocados. Essas três grandezas possuem uma relação de proporcionalidade teórica entre si. Constitui, então, tarefa do responsável pelo planejamento definir a relação mais conveniente entre equipe empregada e duração. Esse passo é de suma importância porque amarra as produtividades estabelecidas no orçamento com as durações atribuídas no planejamento. A obra passa a contar com uma integração orçamento-planejamento (MATTOS, 2010).

A variabilidade na duração de uma atividade também deve ser considerada. Ao planejar uma atividade, não se pode ter certeza de sua duração real. Por isso, o modo mais seguro é abordá-la via distribuição probabilística. Desse modo, o planejador trabalha com a duração mais provável daquela dada atividade, podendo adotar intervalos referentes à incerteza inerente à sua execução.

Hendrickson (2008) aborda que a forma mais objetiva, e conseqüentemente a mais difundida, para estimar a duração de atividades futuras está baseada em atividades passadas. Utilizando os registros de empreendimentos anteriores, pode-se levantar valores de produtividade média para os serviços que se deseja planejar. Com base nessas razões unitárias de produtividade, aplica-se a seguinte equação:

$$D_{ij} = \frac{P_{ij} * Q_{ij}}{N_{ij}}$$

Onde D_{ij} representa a duração da atividade, Q_{ij} refere-se à quantidade de serviço a realizar, P_{ij} indica a produtividade média para aquela atividade e N_{ij} representa o número de integrantes que realiza a atividade.

No entanto, sabendo que o escopo de atividades de cada empreendimento é único, os valores de produtividade tendem a variar em cada obra. Por exemplo, a mudança de um sistema de estrutura em concreto armado convencional para laje plana (sistema sem vigas) elimina o trabalho de arrematar, alinhar e travar as vigas. Como consequência direta, as horas trabalhadas pela equipe de carpintaria tendem a ser mais produtivas.

Além disso, Hendrickson (2008) relata que os índices de produtividade podem variar de forma sistemática por conta do chamado efeito de aprendizado. À medida

que a equipe se familiariza com a atividade, sua produtividade tende a melhorar. A Figura 09 ilustra a evolução da produtividade por conta do efeito de aprendizado. Os ajustes e considerações por conta dessa variação devem ser feitos pelo planejador, caso contrário o planejamento está sujeito a apresentar graves distorções.

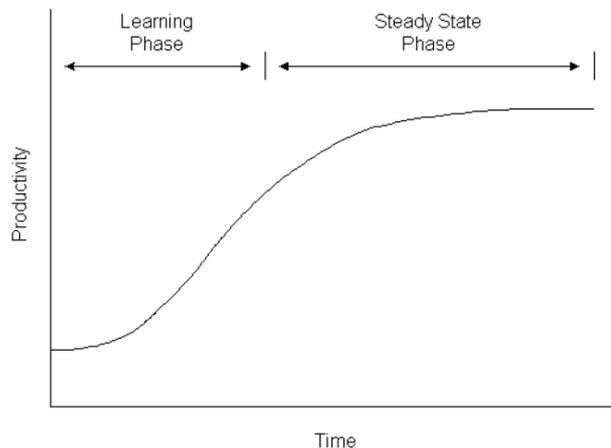


Figura 09 – Efeito de aprendizado na produtividade (HENDRICKSON, 2008)

• Identificação da Precedência

Consiste no sequenciamento das atividades, A precedência é a dependência entre as atividades ("quem vem antes de quem"), com base na metodologia construtiva da obra, (MATTOS, 2010). Com base nos procedimentos executivos dos serviços identificados na EAP, o planejador define a forma com que cada atividade se relacionada; conferindo à estrutura analítica do projeto uma um relacionamento cronológico entre seus componentes.

Nessa fase, é importante que a equipe da obra chegue a um consenso sobre a lógica construtiva — o plano de ataque da obra, o relacionamento entre as atividades, a sequência de serviços mais coerente e exequível — para que o cronograma faça sentido (MATTOS, 2010). Trata-se de uma tarefa que requer experiência para enxergar quais serviços devem ser executados para que dada atividade inicie, bem como a interferência causada por atividades paralelas.

Para cada atividade são atribuídas suas predecessoras imediatas, i.e., aquelas atividades que são condição necessária para que a atividade em questão possa ser desempenhada. Na grande maioria dos casos, uma atividade só pode ser iniciada quando sua predecessora tiver sido concluída — é a chamada relação início-término.

Hendrickson (2008) alerta que deve haver atenção em três pontos específicos para que se elabore uma relação de precedência coerente. De início, deve-se atentar para que não seja criado um círculo de precedência. Por exemplo, se a atividade X precede a Y, a atividade Y precede a Z, e a atividade Z precede a X, o projeto nunca poderá ser iniciado tampouco concluído.

Esquecer uma relação de precedência pode gerar consequências desastrosas. Por exemplo, a instalação de paredes em *drywall* deve anteceder o assentamento de piso. Caso o planejador não se atente a essa relação, ambas as atividades podem ser planejadas com a mesma data de conclusão. Caso esse erro persista até o momento de execução, sua correção fatalmente acarretará em desvios de custo, prazo e qualidade do serviço.

Então, é importante a compreensão dos diferentes tipos de relacionamento de precedência, bem como o impacto que cada um gera:

- Há atividades que possuem uma restrição técnica ou física na forma com que se relacionam. Por exemplo, o lançamento de concreto só ocorre após a execução de sua fôrma.

- Algumas relações não são necessidades técnicas, mas imposições por conta do plano de ataque da obra. Um exemplo prático pode ser visto na cravação de estacas de duas torres. Considerando que o orçamento contemple apenas um equipamento para cravação, uma das torres só poderá ser iniciada após a conclusão da outra. Nesse caso, a precedência não se dá por imposições físicas ou técnicas; porém por uma medida que visa à redução de custos da obra.

Por fim, uma vez criado o quadro de sequenciamento com a lógica da obra e a duração de cada atividade, o passo seguinte é a representação gráfica das atividades e suas dependências lógicas por meio de um diagrama de rede (MATTOS, 2010).

2.3. PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

Como o planejamento da obra é complexo e abarca toda sua extensão, o cronograma global não se presta como ferramenta de comunicação imediata com as equipes executoras (MATTOS, 2010), surgindo a necessidade de se criar uma hierarquia condizente com a fase da obra. Ballard (2000) completa que ambientes dinâmicos, dotados de sistemas de produção variáveis, não permitem a elaboração de planejamentos detalhados e confiáveis com grande antecipação. Nesse contexto,

surge o planejamento de curto prazo, ou operacional, cujo principal objetivo é orientar diretamente a execução da obra. Em geral, é realizado em ciclos semanais, sendo caracterizado pela atribuição de recursos físicos (mão-de-obra, equipamentos e ferramentas) às atividades em pacotes menores, denominados de tarefas (FORMOSO, 2001).

O planejamento neste nível deve ter forte ênfase no engajamento das equipes com as metas estabelecidas, sendo por isto denominado na bibliografia de *commitment planning* (planejamento de comprometimento) (FORMOSO, 2001). Pesquisas realizadas em países desenvolvidos revelaram que as equipes mais produtivas são justamente aquelas que dedicam mais tempo para entender e comentar a programação, pois se comprometem mais, administram melhor os recursos, dialogam com os engenheiros com mais objetividade, enfim, adquirem uma visão mais realista e global da obra (MATTOS, 2010).

Tal engajamento pode ser obtido através da realização de reuniões periódicas, de caráter semanal, as quais ocorrem na própria obra, contando, em geral, com a participação do gerente da obra, mestre de obras, subempreiteiros e líderes de equipes (FORMOSO, 2001). O resultado desse diálogo é uma programação coerente, galgada nas prioridades da obra, conforme ilustra a Figura 10.



Figura 10 – Planejamento de Curto Prazo (MATTOS, 2010)

O planejamento de comprometimento tem o papel de buscar o comprometimento das equipes operacionais (encarregados e supervisores de campo), por intermédio de sua participação nas reuniões de planejamento (BALLARD; HOWELL, 1998). Cada

representante pode contribuir para a elaboração do plano através do seu conhecimento sobre a capacidade da equipe e restrições existentes, avaliando a pertinência da programação e propondo soluções para interferências, conflitos e restrições no campo (MATTOS, 2010). A participação dos líderes do campo também contribui com o estabelecimento de um elo de comunicação com os demais trabalhadores (BALLARD; HOWELL, 1998).

O *Commitment Planning* inicia com uma análise criteriosa das atividades programadas no *Lookahead*. É feita uma triagem dos pacotes de trabalho que tiveram suas restrições removidas e somente esses devem ser considerados para comprometimento de execução a curto prazo (BALLARD; HOWELL, 1998). As atividades devem ser listadas em ordem de prioridade e, então, subdividas em tarefas exequíveis; levando em consideração a disponibilidade de mão de obra, equipamentos e materiais durante o período. Um dos critérios de priorização das tarefas a serem programadas é sua criticalidade no planejamento de médio prazo (FORMOSO, 2001).

Ballard (2000) explica que os pacotes de trabalho devem ser definidos em acordo com os mecanismos de proteção protegida, de modo a minimizar dos impactos de condições incertas no fluxo de trabalho. O foco do planejamento de curto prazo é a prioridade, portanto em caso de excesso de tarefas, a realização do excedente (tarefas de menor prioridade) deve ocorrer caso alguma equipe tenha o andamento de sua tarefa principal comprometida, ou cuja produtividade tenha superado as expectativas (FORMOSO, 2001).

Quanto mais próximo se está do início de uma atividade, maior a clareza com que se consegue enxergar os detalhes envolvidos. Por isso, a programação de curto prazo é, dentre as diversas ferramentas disponíveis para o gestor da obra, a mais indicada para identificar as causas pelas quais as tarefas da semana se atrasaram ou não ocorreram conforme o planejado. Esse tipo de programação é a melhor ferramenta para monitorar a obra e proporcionar uma "radiografia" do progresso continuamente (MATTOS, 2010).

A programação de curto prazo é vista como um compromisso para o sucesso da obra em termos de prazo, portanto é utilizada para duas importantes avaliações:

- O Percentual de Programação Cumprida (PPC);

- As causas de atraso ou adiantamento das tarefas programadas.

O PPC nada mais é do que o quociente entre o total de tarefas realizadas no período de análise e o montante total delegado à equipe de produção. Se todas as atividades programadas foram executadas dentro do período previsto, o PPC é de 100%. Em resumo, O PPC é um indicador que avalia a eficácia do planejamento de curto prazo e seu grau de precisão.

3. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Desde o início de sua difusão no meio da construção, o BIM vem sendo visto como a evolução direta do CAD. Pode-se dizer que esse processo foi impulsionado pela necessidade de se criar modelos tridimensionais dos processos construtivos, incorrendo na criação de uma espécie de protótipo virtual da construção. Desse modo, a simples representação do edifício através de linhas está em vias de ser abandonada, e a modelagem sem parametrização também já passou a ser vista com olhos negativos. Faria (2007) afirma que no BIM o desenho é "inteligente". Ao desenhar uma parede de alvenaria, o projetista deve atribuir-lhe propriedades: tipo de blocos, dimensões, tipo de revestimento, propriedades mecânicas, e fabricantes, que são salvas em banco de dados. A Figura 11, a seguir, ilustra o resultado dessa evolução.

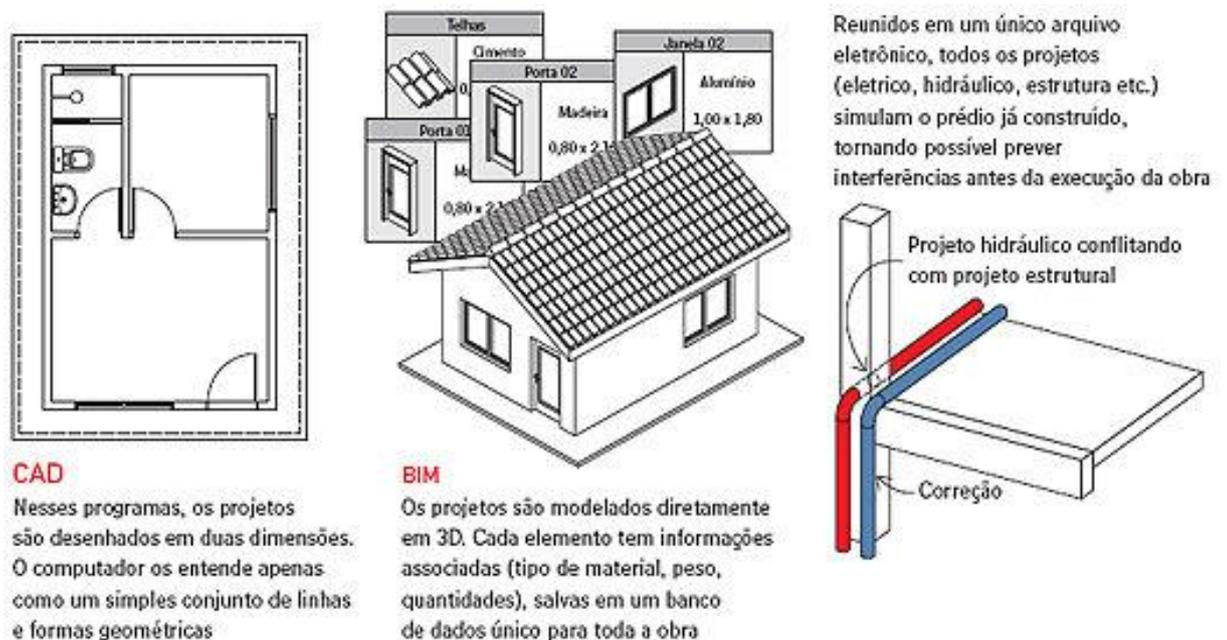


Figura 11 – Diferença entre CAD e BIM (FARIA, 2007)

Segundo conta Jerry Laiserin no prefácio de Eastman *et al.* (2011), o exemplo mais antigo que se tem conhecimento do que hoje é conhecido como BIM, é o protótipo do “*Building Description System*” publicado na época pelo extinto AiA Journal, em um artigo de autoria do norte-americano Charles M. “Chuck” Eastman. Este papel abordou diversas noções sobre derivação de seções, planos, isométricas e perspectivas com base em elementos modelados anteriormente, mostrando que alterações feitas afetavam simultaneamente todos os desenhos correspondentes: feito revolucionário para a época.

Assim, as abordagens, conceitos e metodologias que hoje são classificados como BIM podem ser datados de cerca de 30 anos atrás. Porém a terminologia *Building Information Modeling*, é utilizada há pelo menos 15 anos (MENEZES, 2011¹ apud SILVEIRA, 2013).

Os efeitos do BIM são percebidos facilmente no ciclo de elaboração de um projeto, conforme ilustra a Figura 12. Enquanto na plataforma CAD observa-se que o anteprojeto é feito rapidamente e o processo de detalhamento do projeto executivo e obra são extensos; na plataforma BIM ocorre o contrário. Há um prolongamento da fase de concepção e anteprojeto, já que se trata do momento em que ocorre a maioria das definições. As fases de projeto executivo e obra são reservadas basicamente para documentação do projeto, ao contrário dos projetos executados em CAD. Dessa forma, a grande maioria dos problemas são identificados antes do momento de execução da obra e solucionados de forma mais eficiente do que se houvessem sido descobertos na fase de execução. Addor *et al.* (2010) explicam que o BIM representa uma mudança de processo, o que naturalmente gera mudança de paradigma. Os profissionais (arquitetos, engenheiros de instalações, cálculo) precisam estar envolvidos com essa nova necessidade e inteirados da mudança.

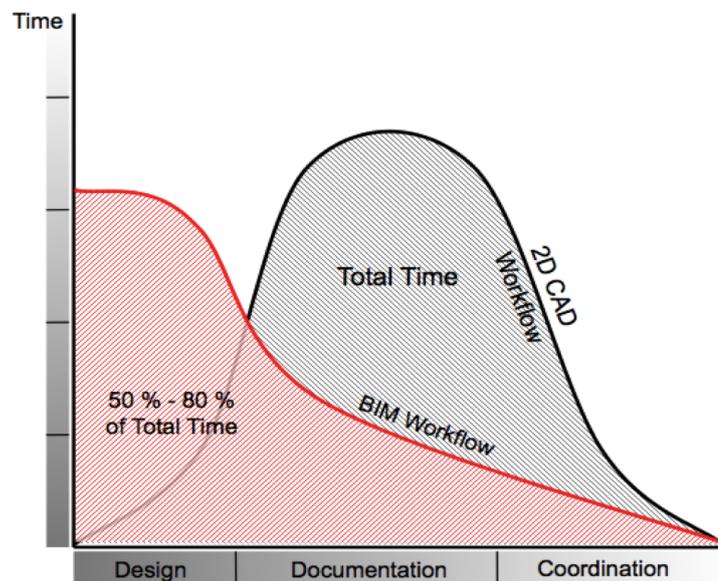


Figura 12 – Tempo de Projeto: BIM x CAD (GRAPHISOFT)

¹ MENEZES, Gilda L. B. **Breve histórico de implantação da plataforma BIM.** In: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v.18. n.22, 2011.

informações relativas às diversas características dos objetos. A parametrização também permite incorporar propriedades não geométricas e características a esses objetos. Além do mais, modelos de construção baseados em objetos paramétricos possibilitam a extração de relatórios, checagem de inconsistências de relações entre objetos e incorporação de conhecimentos de projeto, a partir dos modelos (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Os atributos fixos são definidos a partir de propriedades como, por exemplo, forma, desempenho, custo, e construtibilidade; enquanto os atributos variáveis são estabelecidos a partir de parâmetros e regras de modo que os objetos possam ser automaticamente ajustados de acordo com o controle do usuário ou mudança de contexto. Andrade; Ruschel (2009) explicam que essa variedade de configurações possíveis para um grupo de objetos mostra a complexidade e o cuidado necessários ao se modelar um objeto básico e genérico, como, por exemplo, uma parede. Para Eastman *et al.* (2011), uma simples classe de elemento de construção parametrizada pode possuir dezenas de regras simples em sua definição: as chamadas *low-level rules*. No entanto, muitas dessas não são apresentadas em linguagem capaz de ser interpretada pelos usuários.

Em resumo, a estrutura de um modelo paramétrico é composta por “famílias” de objetos incluindo atributos de forma, atributos complementares e inter-relações. Assim, diferentes instâncias de um tipo podem gerar uma grande variedade de objetos, com parâmetros diversificados e dispostos em posições variadas (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Andrade; Ruschel (2009) concluem que um dos principais méritos dos modelos paramétricos é possibilidade de criação de novas famílias de objetos para aplicação e replicação em diversos projetos, sobretudo os arquitetônicos. Seguindo esse conceito, projetistas podem criar formas não existentes nos aplicativos BIM comercializados e, conseqüentemente, as novas famílias criadas em um dado projeto poderão ser inseridas em qualquer outro projeto; fazendo parte do repertório dos projetistas.

3.1.2. Interoperabilidade

A troca de dados e informações entre os diversos aplicativos utilizados no processo de projeto, bem como sua capacidade de identificação, é denominada de

interoperabilidade. Azevedo (2009) explica que o BIM opera sobre uma base de dados digital, sendo que qualquer alteração no modelo existente sobre essa base se reflete em todos os componentes do projeto. Essa sincronia permite que todos os envolvidos no projeto possam facilmente compartilhar informações, graças a parâmetros bem definidos por um conjunto de regras. Ou seja, interoperabilidade é a capacidade de o modelo se comunicar eficientemente com as diversas interfaces e aplicações presentes ao longo do ciclo de vida da edificação.

Andrade; Ruschel (2009) explicam que um projeto envolve muitas fases e diversos participantes, o que requer grande troca de informações ao longo do seu ciclo de vida; sendo que cada especialidade utiliza tipos diferenciados de aplicativos computacionais. Nesse cenário, surge a importância da interoperabilidade. Com ela, se elimina a necessidade de replicar dados de entrada que já tenham sido gerados, reduzindo a energia despendida com retrabalhos e, de forma rápida e automatizada, possibilita o fluxo de informações entre diferentes aplicativos, durante o processo de projeto. Azevedo (2009) aduz que, por as informações serem provenientes de fontes diversas, torna-se crucial a possibilidade de compartilhar informações abertamente e com grande facilidade, em formatos genéricos sem as tradicionais restrições impostas por fabricantes de software.

Portanto, a interoperabilidade torna-se condição obrigatória para o desenvolvimento de um projeto integrado. O uso de uma prática integrada com times de colaboração é possível com a integração da informação entre aplicativos computacionais, utilizados por diferentes profissionais de projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009), conforme ilustrado pela Figura 14.

Eastman *et al.* (2011) aborda que a transmissão de dados se aproveita de arquivos baseados em formatos específicos. As trocas de dados entre dois aplicativos interoperáveis ocorrem basicamente em quatro modos: ligação direta; formato de arquivo de troca proprietário; formatos de trocas de dados de domínio público; formatos de troca de dados baseados em *eXtensible Markup Language* (XML).

De acordo com Eastman *et al.* (2011), os dois principais formatos de dados adotados na construção civil são *CIMsteel Integration Version 2* (CIS/2) e o *Industry Foundation Classes* (IFC). O CIS/2, para Eastman *et al.* (2011), é um formato desenvolvido basicamente para projetos e fabricação de elementos estruturais em aço. Já o IFC é tido como um formato aberto, neutro e com especificações

padronizadas para o BIM. O IFC é um modelo de dados para ser adotado no planejamento do empreendimento, em seu projeto, sua construção e seu gerenciamento. O IFC é o principal instrumento pelo qual é possível estabelecer a interoperabilidade dos diferentes aplicativos de software disponíveis no mercado (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

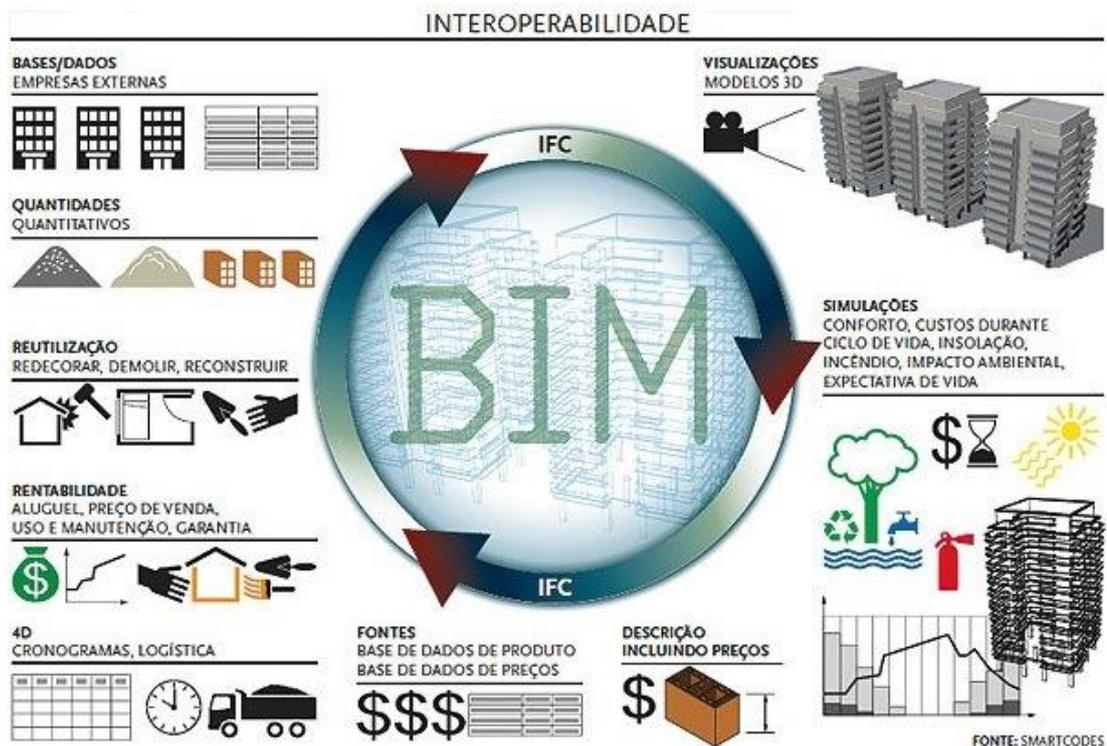


Figura 14 – Interoperabilidade (Revista AU, Julho/2011)

3.1.3. Evolução do BIM

Para melhor compreender a evolução do BIM, Tobin (2008) a dividiu em três fases básicas:

- BIM 1.0

Na era 1.0, surgiu a proposta de modelagem tridimensional em meio ao cenário tradicional do CAD 2D. De início, houve ganho na facilidade de coordenação de projetos e agilidade na elaboração de documentos. O seu objetivo era modelar objetos, reduzindo o trabalho operacional gasto em desenhos; já que um objeto 3D gera múltiplos projetos 2D.

Por incorporarem dados paramétricos do modelo, surgiu, nessa fase, o termo “*Building Information Modeling*”, incorrendo no surgimento da sigla BIM. A adoção de dados paramétricos deu início a funcionalidades como extração de relatórios sobre o modelo e redução significativa no dispêndio de energia para documentar os projetos, conforme representado pela Figura 15. Apesar de representar um conceito relativamente trabalhoso de ser incorporado, o BIM foi amplamente aceito, principalmente por conta de seus benefícios.



Figura 15 – Interface Modelo x Documentação (RENDERBLOG, 2011)

- BIM 2.0

A segunda fase do BIM nasceu quando o universo de profissionais envolvidos no processo deixou de se limitar a projetistas. Tobin (2008) chama esse momento de “Big Bang reverso”, pois o universo formado pelos diversos profissionais da construção – projetistas, construtores, consultores e empresários – subitamente se direcionaram a um ponto comum: o modelo. Grupos que, ao longo da história, se distanciaram, passaram a encontrar no BIM uma possibilidade de união, aumentando os potenciais dessa nova ferramenta.

Na era 2.0, a situação tornou-se significativamente mais complicada do que na fase anterior, pois diversos grupos de profissionais passaram a visualizar as mais diversas possibilidades de uso para o BIM. A tecnologia que projetistas utilizavam para reduzir o trabalho operacional, passou a ser vista como um importante auxílio na gestão do empreendimento, já que construtores incorporaram conceitos como o 4D (tempo) e 5D (custo); enquanto que consultores adotaram o BIM para análises energéticas e ambientais.

Não demorou muito para surgir um termo importante: interoperabilidade. Esse conceito surgiu com grande urgência, fornecendo a projetistas uma ferramenta de criação de projetos inédita. Tobin (2008) conclui que, nesse ponto, o modelo BIM deixa de ser uma mera forma de representação e passa a ser visto como um sistema complexo independente.

- BIM 3.0

A interoperabilidade, hoje, continua um dos maiores desafios da segunda era BIM. No entanto, Tobin (2008) explicita a necessidade de se olhar para o futuro: para a terceira era BIM. Existem diversas iniciativas em andamento, como o IFC e *BuildingSmart*, para que se promova uma troca eficiente de informações entre as diversas disciplinas. Tobin (2008) postula que a terceira era, chamada de “pós-interoperabilidade”, será marcada pela capacidade de as várias equipes envolvidas construir um modelo, não como uma representação com propósitos específicos; mas como um protótipo da construção. Esses protótipos seriam construídos e ocupados em um ambiente virtual tridimensional, criado em rede; permitindo que todos os participantes do empreendimento o visualizassem e adicionassem suas colaborações em tempo real. No entanto, ainda são necessárias evoluções tecnológicas para que esse cenário se concretize.

3.2. APLICAÇÕES DO BIM

O BIM oferece a proposta de um modelo tridimensional, ao qual são adicionadas dimensões complementares: as chamadas modelagens “nD”. Aouad *et al.* (2003) conceituam que os modelos nD são uma extensão do modelo de informação da construção 3D. O uso da nomenclatura 2D e 3D é facilmente compreensível, visto que se baseia na representação geométrica tradicional, via eixos coordenados. A partir do modelo tridimensional, são incorporadas diversas interfaces de informação,

representando as chamadas dimensões complementares. A primeira delas, 4D, tem sua nomenclatura em acordo com a teoria da relatividade de Albert Einstein, responsável pelo conceito de que o tempo compõe as dimensões físicas gerais; podendo ser considerada a quarta dimensão.

A compreensão do conceito de 3D (e até mesmo do 4D) é relativamente simples, já que está diretamente associada ao entendimento das dimensões físicas de um objeto; nesse caso, o modelo. No entanto, foi identificado por Aouad *et al.* (2003) que, a partir da quarta dimensão, a compreensão vai se tornando cada vez mais abstrata. Dessa forma, definiu-se que o um modelo nD trata-se de uma extensão do modelo de informação da construção que incorpora aspectos múltiplos referentes às informações para projeto ao longo do ciclo de vida da edificação.

Sob a mesma ótica, definiu-se ferramentas para modelagem nD como uma série de interfaces multidisciplinares que possuem aplicações para projeto e análise de construções, se comunicando por intermédio de um modelo nD interoperável de dados padronizados. De acordo com Aouad *et al.* (2003), as dimensões podem ser adicionadas para integrar informações de tempo, custo, construtibilidade, acessibilidade, sustentabilidade, acústica, iluminação e requisitos térmicos. O padrão comumente praticado encontra-se listado abaixo:

- 2D – Estado plano
- 3D – Tridimensional
- 4D – Adiciona-se o Tempo ao projeto (planejamento)
- 5D – Adiciona-se o Custo ao projeto (orçamento)
- 6D – Aspecto de Ciclo de Vida da edificação (manutenção / gestão)

•MODELO 3D

O modelo 3D é a base do modelo interoperável criado para um empreendimento. Dang; Tarar (2012) explicam que o modelo tridimensional contém todas as relações espaciais, informações geográficas e geométricas da construção. Ao se utilizar um modelo 3D virtual, inconsistências encontradas em desenhos 2D são facilmente identificadas e eliminadas. Dessa forma, a detecção de incompatibilidades possibilita que as eventuais interferências sejam identificadas e sanadas antes que a equipe de construção as encontre.

Dang; Tarar (2012) afirmam que modelos interoperáveis de diferentes disciplinas podem ser unidos e comparados, verificando conflitos e agilizando a troca de informações entre participantes. Eastman *et al.* (2011) completam que isso leva a um processo com custos e prazos reduzidos.

Eastman *et al.* (2011) afirmam que por conta das definições antecipadas e solução das incompatibilidades antes do início da construção, o BIM se torna um aliado indispensável na industrialização da construção, garantindo que métodos construtivos pré-fabricados possam competir com os procedimentos tradicionalmente aplicados; geralmente adotados como solução emergencial para um problema de última hora.

•MODELO 4D

O modelo 4D associa os objetos existentes na construção eletrônica a uma atividade do planejamento (SILVEIRA *et al.* 2006). Os modelos 4D permitem que se verifique a logística do canteiro de obra, já que permite que se analise a utilização do espaço ao longo da construção. Dang; Tarar (2012) explicam que o modelo pode incorporar guias, elevadores e equipamentos de transporte horizontal; bem como suas rotas e acessos, conforme ilustrado na Figura 16. Também podem ser estudados elementos de segurança e saúde necessários à construção.

Além das datas de execução dos serviços, podem ser adicionadas informações diretamente vinculadas ao planejamento, como, por exemplo, o caminho crítico da obra. Eastman *et al.* (2011) afirmam que dessa forma, ao assistir a evolução da obra, membros do empreendimento poderão tomar decisões mais precisas, baseadas em fontes de informação mais claras.



Figura 16 – Modelagem 4D (DANG; TARAR, 2012)

•MODELO 5D

Modelos 5D surgem ao integrar o orçamento do projeto com o modelo tridimensional da construção, tornando possível a previsão e controle do custo previsto e realizado ao longo das fases de construção. Assim como em qualquer interface do BIM, os resultados obtidos com um modelo 5D estão diretamente vinculados à assertividade das informações contempladas. Portanto, é importante que se tenha o orçamento de cada fase elaborado em um nível de detalhes compatível com os resultados desejados do modelo.

Kymmell (2008) corrobora que, com a evolução do modelo, a estimativa de custo passa a ser mais eficiente à medida que o nível de detalhamento (*Level of Detail – LOD*) aumenta.

As informações acerca do custo podem ser extraídas do modelo 5D e empregadas para mensurar o desempenho financeiro do empreendimento durante a fase de construção.

•MODELO 6D

Araújo *et al.* (2011) explicam que um modelo BIM permite a inserção de informações relativa a qualquer componente da construção. Portanto, ao se inserir dados referentes à manutenção de cada elemento da edificação, formula-se o modelo de manutenção dos sistemas: o modelo 6D.

Para o projeto da manutenção, são confeccionadas tabelas que relacionam cada elemento da edificação com as suas respectivas características de manutenção (SAMPAIO *et al.*, 2011). Para cada componente podem ser incluídos prazos de validade, informações sobre adequada conservação, possíveis anomalias, soluções e metodologias de reparo, conforme exemplificado no Quadro 01. Desse modo, torna-se possível obter um panorama de quais patologias cada elemento da edificação poderá apresentar. Posteriormente, os dados são adicionados, de modo paramétrico, a um modelo virtual tridimensional. Inserindo as informações relativas à manutenção de cada elemento construtivo no modelo BIM, o protótipo fica carregado de características referentes à manutenção da edificação (ARAÚJO *et al.*, 2011).

Os dados sobre a manutenção da construção passam a ser extraídos de modo análogo à forma que se obtém os quantitativos. Assim, os softwares poderão gerar planilhas com características de manutenção dos elementos construtivos. Tem-se, então, um documento relacionando as características de manutenção de cada componente ao longo do tempo de vida do projeto. Araújo *et al.* (2011) explicam que com esse relatório obtém-se a programação da manutenção ao longo do tempo de toda a edificação, ou seja, o projeto da manutenção.

Com a popularização dessa tecnologia, espera-se que fabricantes de materiais e componentes da edificação passem a disponibilizar os objetos dentro da plataforma BIM com suas características de manutenção inseridas no formato de dado paramétrico. Isto facilitaria todos os trabalhos dos intervenientes ao longo do processo de projeto e acompanharia o modelo da edificação por todo seu ciclo de vida (ARAÚJO *et al.*, 2011).

Anomalia	Especificação da Anomalia	Solução de reparo	Metodologia de reparo
Destacamento	Queda de revestimento por deterioração do substrato	Substituição do revestimento	1º - Remoção das placas danificadas com ajuda de um martelo ou formão 2º - Reparação do substrato danificado nas áreas onde o destacamento incluiu o material 3º - Reaplicar camada de substrato 4º - Reassentar os revestimentos com argamassa de assentamento
Craqueamento/ Fratura	Falha do substrato de suporte (fissuras com orientações definidas)	Substituição do revestimento (com reparação das fissuras do substrato)	1º - Remoção dos revestimentos danificados 2º - Remoção dos materiais danificados ao longo das juntas 3º - Reparação das fissuras, obstruindo com material adesivo (aroeira) 4º - Aplicação de uma camada líquida feita com cimento em duas camadas intercaladas com fibra de vidro 5º - Reassentamento do revestimento

Quadro 01 - Anomalias e soluções de reparo (SAMPAIO *et al.* 2011)

3.3. MODELAGEM 4D

O planejamento de uma construção envolve sequenciar e planejar atividades no tempo e no espaço, levando em conta recursos, restrições físicas, fornecimento de material e outras dificuldades do processo. Costuma-se recorrer a ferramentas como gráficos, Linhas de Balanço e Método do Caminho Crítico. Contudo, esses métodos não levam em conta a evolução do espaço físico do canteiro de obras, tampouco relacionam o espaço requerido para execução de cada atividade. Portanto, Dang; Tarar (2012) explicam que o planejamento torna-se um trabalho operacional intenso e costuma não sincronizar integralmente com o projeto, dificultando a compreensão de suas consequências para a logística da obra.

A tecnologia 4D veio direcionada a essas dificuldades no procedimento de planejamento. Eastman *et al.* (2011) explicam que as ferramentas BIM permitiram que o planejador crie, avalie e ajuste modelos 4D de maneira mais eficiente, resultando em uma implementação de cronogramas mais confiáveis.

Dang; Tarar (2012) afirmam que a modelagem 4D permite a simulação e avaliação do cronograma previsto para a construção. O agrupamento dos objetos no

modelo deve ser feito de acordo com as fases de construção, e relacionados às atividades principais dentro do cronograma.

Por exemplo, caso uma fachada seja executada em duas etapas – inferior e superior – o modelo dessa fachada deve ser dividido em duas etapas, de modo que o sequenciamento de atividades possa ser elaborado de acordo com a previsão. Adicionalmente, estruturas e atividades temporárias que interfiram no serviço, como andaimes, guias e elevadores, devem ser consideradas no modelo. Nesse momento, a experiência dos construtores é muito importante para garantir a assertividade das informações. Nos casos em que o modelo é elaborado durante a fase de projetos, a equipe de construção deve contribuir com sua experiência acerca da construtibilidade, custo, sequenciamento e prazos de execução.

3.3.1. Processos de simulação 4D

Simulações em 4D, segundo Eastman *et al.* (2011), são uma importante ferramenta de comunicação para identificar potenciais gargalos, bem como um método para aumentar a sinergia entre as diversas equipes envolvidas no projeto. É importante que se compreenda a diferença entre simulações 4D e modelagem 4D. A primeira se trata de uma representação meramente visual do planejamento associado a um desenho tridimensional; enquanto que a segunda é a integração de informações referentes à sequenciamento e duração de atividades a um modelo de dados parametrizados. Dang; Tarar (2012) explicam três processos – discutidos a seguir – para elaboração de simulações 4D, contemplando essa diferença.

• MÉTODOS MANUAIS BASEADOS EM CAD

Desenhos coloridos, com cores diferentes para representar sequências construtivas e avanço dos trabalhos, vêm sendo utilizado por planejadores por anos. Com a chegada do CAD, os planejamentos passaram a contar com animações renderizadas para representar o cronograma de atividades principais. No entanto, segundo Dang; Tarar (2012), esse processo não costuma ser muito eficaz para elaboração e controle de planejamentos; apesar de seu forte apelo visual.

Eastman *et al.* (2011) explicam que a principal razão para essa ineficácia é a limitação para atualizar e modificar o planejamento. A cada modificação no cronograma, os animadores devem criar um novo jogo de imagens para sincronizar manualmente a simulação 4D com o cronograma. Por conta dessas limitações, o uso

dessa ferramenta é normalmente restrito às etapas iniciais do projeto, quando visualizações do processo de construção possuem um papel importante na definição das metodologias executivas.

• FERRAMENTAS BIM COM CAPACIDADE 4D

Outro modo de gerar simulações 4D é via modelagem paramétrica. Essa ferramenta permite que uma série de objetos seja filtrada automaticamente, com base nos parâmetros desejados, permitindo que o usuário analise uma dada fase da construção; porém ainda sem vínculos ao cronograma. Nesse caso, a geração de imagens 4D não possui sinergia com o cronograma do projeto. Em suma, trata-se de um método semelhante ao manual utilizado em CAD, porém contemplando a facilidade de selecionar os elementos com base em seus parâmetros. Dang; Tarar (2012) afirmam que essa funcionalidade do 4D é aplicável à definição das fases básicas da construção.

• MODELOS 3D ALIADOS A SOFTWARES DE PLANEJAMENTO

Por conta das dificuldades enfrentadas nas simulações 4D manuais, utilizando CAD e BIM, surgiram ferramentas complementares especializadas para a elaboração de um modelo 4D. Essas ferramentas vinculam o modelo 3D ao planejamento, situados em bases distintas.

Eastman *et al.* (2011) afirmam que algumas ferramentas BIM possuem interfaces embutidas de planejamento, permitindo que múltiplas relações possam ser estabelecidas entre objetos e atividades dentro do modelo. Um único objeto pode estar vinculado a uma ou mais atividades, assim como uma única atividade pode estar vinculada a um ou mais objetos. Essa possibilidade torna possível a simulação real do processo construtivo, contemplando a mobilização e desmobilização de elementos temporários. No entanto, a grande maioria dos softwares BIM não possui interfaces embutidas relacionadas a cronograma, requerendo ferramentas complementares para criar vínculos com o planejamento.

Essas ferramentas tornam a elaboração de modelos 4D mais eficiente, fornecendo ao planejador uma base fundamental para adequar e customizar o modelo 4D. Eastman *et al.* (2011) afirmam que, no geral, essas ferramentas contam com um modelo paramétrico 3D vinculado às informações do planejamento extraídas de aplicações voltadas à elaboração de cronogramas. O planejador, então, vincula os

componentes do modelo 3D às respectivas atividades do cronograma e cria um modelo 4D.

3.3.2. Características de um modelo 4D

Eastman *et al.* (2011) explicam que os mecanismos envolvidos no processo de construção de um modelo 4D variam de acordo com as ferramentas adotadas. No entanto, existem diversos itens específicos que devem ser considerados para que o modelo traga resultados satisfatórios.

O primeiro deles é o escopo do modelo. Antes do início de sua construção, o modelo deve ter seu propósito bem definido. Segundo Dang; Tarar (2012), um modelo concebido para uma concorrência, por exemplo, possuirá uma vida útil curta. Já no caso de um modelo criado para acompanhar toda a construção, as atividades devem ser contempladas de forma detalhada. Eastman *et al.* (2011) afirmam que o propósito da modelagem está diretamente atrelado ao nível de detalhes empregado.

O nível de detalhes, do termo inglês *Level of Detail* (LOD), é, de acordo com Bedrick (2013) uma medida da profundidade com que se representa a informação dentro do modelo. Não se deve entender LOD com quantidade de informação, tampouco como quantidade ou precisão da representação gráfica. Bedrick (2013) utiliza como exemplo um elemento de estrutura mista, conforme representado pela Figura 17. Em um LOD baixo, como o 100, por exemplo, sabe-se que existe um perfil metálico fixado a um elemento em concreto armado por chumbadores. Contudo, as características referentes ao dimensionamento e detalhamento só aparecem em níveis mais elevados. A partir do LOD 200, já se tem a geometria do perfil; enquanto que no LOD 400, já se sabe a especificação dos componentes da peça. Segundo a Figura 17, um construtor já obtém projetos do seu elemento estrutural a partir do LOD 300, porém necessita do LOD 400 para execução.

Segundo McPhee (2013), o termo nível de desenvolvimento, do inglês *Level of Development* (também conhecido por LOD), como um complemento do termo tradicional *Level of Detail*. Bedrick (2013) explica que o nível de detalhes refere-se ao grau de detalhamento do modelo, enquanto que o nível de desenvolvimento traduz o grau de evolução na concepção dos elementos. Dessa forma, o *Level of Development* representa a assertividade e confiabilidade das informações contempladas no modelo.

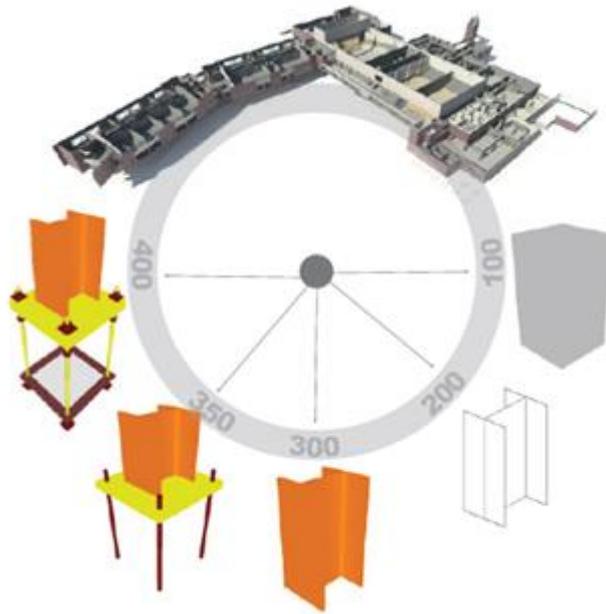


Figura 17 – LOD aplicado a um objeto (Adaptada de Bedrick, 2013)

O LOD é diretamente afetado pelo tempo dedicado para a construção do modelo, bem como seu tamanho e a quantidade de itens críticos contemplados. Dang; Tarar (2012) citam como exemplo a representação de um sistema de paredes. Para o arquiteto, um sistema mais complexo, envolvendo diversos componentes e materiais, pode ser útil para analisar o desempenho térmico e acústico dos materiais; já o construtor pode optar por uma representação mais simplificada – apenas para representar a sequência construtiva.

Outro ponto importante é a decomposição e agrupamento dos objetos. Eastman *et al.* (2011) afirmam que o planejador pode agrupar componentes para reorganizá-los, adequando-os para se encaixar ao processo utilizado pela maioria das ferramentas 4D. Desse modo, o revestimento de um dado pavimento, por exemplo, pode ser dividido em grupos relativos a sua especificação, sendo cada grupo planejado de modo individual. Isso é um ponto muito importante, que deve ser levado em conta por quem elabora o modelo para que o planejamento possa ser elaborado de forma mais eficiente. Eastman *et al.* (2011) explicam que durante o desenvolvimento do modelo 4D há objetos que precisam ser decompostos em porções reduzidas para representar a forma real com que serão construídos. A maioria das ferramentas especializadas não fornece essa funcionalidade, forçando o planejador a retornar às ferramentas 3D para realizar a divisão

Dang; Tarar (2012) afirmam que o modelo também deve contemplar estruturas e atividades temporárias para elaborar um modelo 4D que represente de forma realista o processo de construção. Eastman *et al.* (2011) discorrem que a integração de estruturas temporárias, como escoramentos, elevadores e guias, pode ajudar planejadores a identificar dificuldades relativas à construtibilidade e segurança.

Dang; Tarar (2012), discutem que modelos 4D podem ser utilizados para explorar diversos cenários, permitindo ao planejador simular o efeito de alterações no processo de construção.

Por apresentar muita informação, a forma de representação adotada deve ser muito criteriosa. Chang *et al.* (2009) afirmam que é comum engenheiros encontrarem dificuldades em interpretar modelos 4D em projetos mais complexos ou de maior porte. Um modelo 4D utiliza uma série de cores para representar o status da construção ao longo de suas fases, contudo a atribuição de cores não segue um procedimento criterioso; sendo, muitas vezes, adotadas as cores do arco-íris. Assim, Chang *et al.* (2009) explicitam a necessidade de uma sistemática criteriosa para definição de cores e, em seguida, sugerem a adoção do procedimento SEUT – seleção, exame, e testes de usuários.

3.3.3. Software Autodesk Navisworks

O *software* Autodesk Navisworks é uma solução completa de revisão para os profissionais de projeto e de gerenciamento de construção, que procuram por uma poderosa visão e prognósticos, para aprimorar a produtividade e a qualidade do projeto. Dados de projeto 3D, geometria e informações, podem ser combinados, a despeito das ferramentas de autoria de projetos ou do tamanho do arquivo (AUTODESK, 2014).

O *software Autodesk Navisworks* 2014, escolhido para inserir o planejamento ao modelo, possui ferramentas específicas para simulação, além de recursos para aumentar e facilitar sua interoperabilidade. Com isso, dados de projetos multidisciplinares, criados em ampla escala de aplicativos de modelagem de informações de construção, protótipos digitais e projeto de plantas de processo podem ser facilmente combinados ao cronograma de construção em um único modelo. O *software* ainda conta com recursos de tabela completa, custo, animação e a

visualização; que auxiliam os usuários a avaliar o projeto e a simular sua construção, a fim de aprimorar a visão e previsibilidade (AUTODESK, 2014).

• FERRAMENTA *TIMELINER*

A ferramenta *TimeLiner* é responsável por adicionar a linha de tempo ao modelo, com base em um planejamento criado ou adicionado de fontes externas. Assim, torna-se possível a conexão de tarefas do planejamento a objetos do modelo, permitindo que se visualize os efeitos do planejamento sobre o modelo. Os custos também podem ser adicionados às tarefas, para que se acompanhe a curva de gastos ao longo da construção (AUTODESK, 2014).

O *TimeLiner* possui diversas funcionalidades, facilitando a elaboração e visualização do planejamento. Por exemplo, existe a opção de exportar imagens e animações com base nos resultados da simulação. Além disso, o *TimeLiner* gera atualizações automáticas baseadas em ajustes no planejamento (AUTODESK, 2014).

Outra aplicação da ferramenta *TimeLiner* é seu uso combinado a outras ferramentas do Autodesk Navisworks. A união a um *Object Animation* (termo em inglês para animação de objeto) permite planejar o movimento de um dado objeto baseado em uma hora inicial e durações específicas de atividades. O grande mérito dessa combinação é a possibilidade de visualizar o planejamento de espaço para trabalho e logística. Por exemplo, uma sequência do *TimeLiner* pode representar os movimentos de um guindaste, identificando eventuais atividades e estruturas provisórias que possam interferir nessa operação. Este problema potencial de obstrução pode ser solucionado antes que ocorra de fato, eliminando eventuais atrasos por incompatibilidade.

De modo complementar, a vinculação do *TimeLiner* com o *Clash Detective* (termo em inglês para detector de interferências) permite que se verifique incompatibilidades de projeto ao longo das fases da construção. A vinculação das três ferramentas – *TimeLiner*, *Object Animation* e *Clash Detective* – permite a verificação de incompatibilidades ao longo da construção aliada a uma animação que permite uma interpretação mais eficiente. Portanto, ao invés de inspecionar visualmente uma sequência do *TimeLiner* para assegurar, por exemplo, que o guindaste em movimento não colida com uma estrutura provisória, é possível obter a resposta via teste de incompatibilidades.

O *TimeLiner* conta com uma guia, chamada *tasks* – termo inglês para tarefas – servindo de interface com o planejamento da obra. A representação visual dessas tarefas é feita por um gráfico de Gantt. É possível arrastar uma tarefa para diferentes datas ou clicar em qualquer extremidade da tarefa e arrastá-la para estender ou encurtar sua duração. Todas as alterações são atualizadas automaticamente no modelo.

Outro recurso fundamental do *TimeLiner* é sua comunicação com softwares específicos de planejamento. A estrutura do planejamento, contemplando atividades, datas e durações pode ser importada diretamente para o *TimeLiner*. A Figura 18 ilustra a janela de importação do *TimeLiner*.

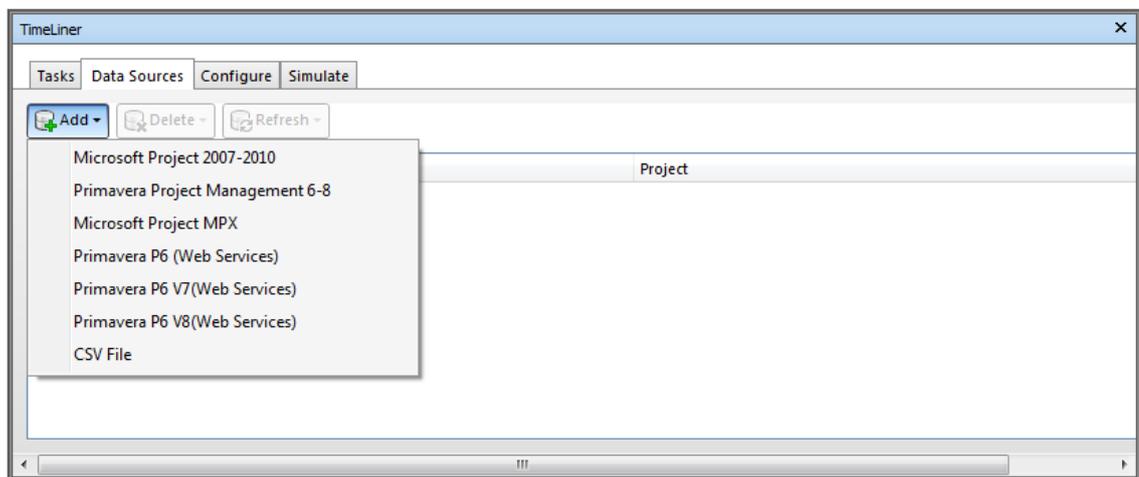


Figura 18 – Importação do planejamento (AUTODESK, 2014)

O *TimeLiner* ainda permite exportar os dados de suas tabelas para o formato .csv (compatível com MS Excel). Os dados são exportados na ordem padrão, sem considerar a seleção de colunas do *TimeLiner*. A hierarquia das tarefas também é desconsiderada nesse processo.

• FERRAMENTA SETS

No Autodesk Navisworks, é possível criar e utilizar conjuntos de objetos semelhantes, os chamados *sets*. Isso facilita a revisão e análise de seu modelo (AUTODESK, 2014). Existem dois tipos de *sets*: *Selection Sets* e *Search Sets*. Ambos estão descritos a seguir.

Selection Sets, ou conjuntos de seleção, são grupos estáticos de itens, úteis para salvar um grupo de em que se deseja executar algum tipo de ação, como, por exemplo, ocultar, alterar sua transparência, e assim por diante. Eles apenas

armazenam um grupo de itens para posterior recuperação. Não há nenhum parâmetro de inteligência por detrás deste conjunto - se o modelo é modificado, os mesmos itens são selecionados (assumindo que ainda estejam disponíveis no modelo) ao chamar novamente o *set* (AUTODESK, 2014).

Search Sets, ou conjuntos de pesquisa, são grupos dinâmicos e funcionam de forma similar aos *selection sets*; exceto pelo fato de terem um critério de pesquisa ao invés de resultados de uma seleção. Permitem que se salve uma pesquisa, para que esta seja reexecutada em data posterior da data de alteração do modelo. Os conjuntos de pesquisa são muito mais poderosos e podem economizar tempo, especialmente se os arquivos de CAD continuam a ser atualizados e revisados. Também é possível exportar conjuntos de pesquisa e compartilhá-los com outros usuários (AUTODESK, 2014).

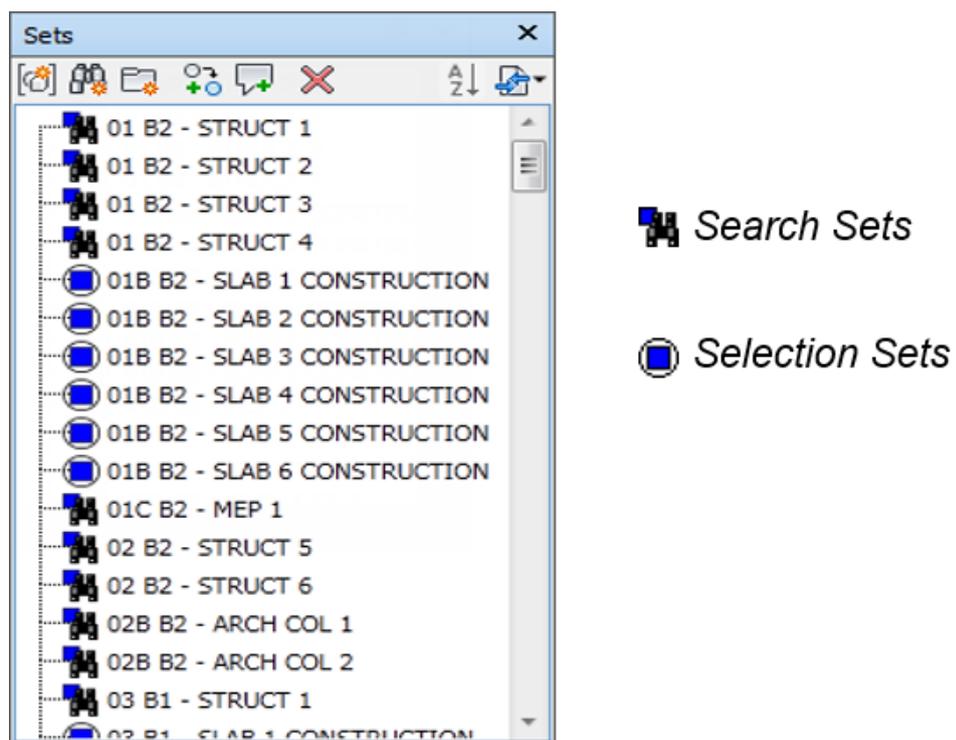


Figura 19 – Visualização dos Sets (AUTODESK, 2014)

Os sets são representados por ícones em uma janela encaixável, ilustrada pela Figura 19. Nessa janela, os sets podem ter seus nomes personalizados e comentários

adicionados. Ainda se pode adicionar, mover e excluir os conjuntos nessa janela, bem como organizá-los em pastas (AUTODESK, 2014).

•FORMATO DOS ARQUIVOS

O Autodesk Navisworks tem três formatos de arquivo nativo: NWD, NWF e NWC (AUTODESK, 2014). O Autodesk Navisworks também pode ler diretamente os arquivos nativos do Autodesk Revit (RVT), ou também é possível utilizar o exportador de arquivos do Revit para converter o arquivo RVT para o formato NWC. Os parâmetros de exportação ainda podem ser convertidos de acordo com a configuração paramétrica selecionada pelo usuário.

Um arquivo NWD, ou arquivo de dados publicados, contém todas as geometrias dos modelos unida aos dados específicos do Autodesk Navisworks, tais como notas de revisão. Considera-se que um arquivo NWD é um instantâneo do estado atual do modelo. Os arquivos NWD são bem pequenos, já que eles comprimem os dados de CAD em até 80% de seu tamanho original (AUTODESK, 2014).

Arquivos NWF, ou arquivos revisados, contém vínculos com os arquivos nativos originais aliado aos dados específicos do Autodesk Navisworks. Nenhuma geometria do modelo é salva com este formato de arquivo; isto faz com que um NWF seja consideravelmente menor em tamanho do que um NWD (AUTODESK, 2014).

Por padrão, ao abrir ou anexar um arquivo nativo CAD ou um arquivo gerado por scanner a laser no Autodesk Navisworks, um arquivo de cache é criado no mesmo diretório e com o mesmo nome do arquivo original, porém no formato *cache*. Os arquivos NWC são menores do que os arquivos originais e aceleram o acesso aos arquivos de uso comum. Na próxima vez em que o modelo for aberto, os dados são lidos do arquivo de cache correspondente, caso esse seja mais atual do que o arquivo original. Caso o arquivo de cache seja mais antigo – o que significa que o arquivo foi modificado – o Autodesk Navisworks converte o arquivo atualizado e cria um novo arquivo de cache. 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.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na realização deste trabalho consiste, inicialmente, em uma revisão bibliográfica sobre os conceitos gerais envolvidos na construção de um modelo 4D e suas aplicações práticas para a construção civil, visando assim atingir o primeiro objetivo específico relatado anteriormente. A revisão bibliográfica está fundamentada em livros, artigos, dissertações, monografias, simpósios, dentre outras publicações.

Após a revisão bibliográfica, deu-se início à elaboração de um modelo 4D com base nos projetos fornecidos por uma construtora. Os projetos, já fornecidos no software Revit, da Autodesk, abrangiam as disciplinas de arquitetura e estrutura de um pavimento tipo de um empreendimento residencial, composto por 4 apartamentos de 3 suítes. Adotou-se o pavimento tipo como objeto do estudo, por conta da repetição de seus processos; incorrendo em um forte ciclo de aprendizado para a produção.

Os projetos originais foram exportados para o software Navisworks para elaboração do modelo 4D. Visando à melhor avaliação do processo de produção, houve necessidade de incorporar elementos ao projeto original, como equipamentos de logística, insumos, segurança, dentre outros elementos vinculados à produção. Ao longo do trabalho, houve envolvimento de integrantes da obra (engenheiros, estagiários, e encarregados) para auxiliar na compreensão e definições dos processos de produção no pavimento tipo.

A partir da inserção do modelo no software Navisworks, desmembrou-se o planejamento da torre para identificar as principais atividades ocorrentes em um pavimento tipo. Então, com auxílio da equipe de obra, estudou-se as equipes e o plano de ataque de cada atividade. Para o serviço específico de alvenaria, decidiu-se abordar um nível de detalhamento mais profundo; objetivando um estudo detalhado sobre a logística de materiais, equipamentos e colaboradores ao longo da execução do serviço. Esse estudo requer um elevado nível de desenvolvimento, pois seu resultado está diretamente atrelado à assertividade das informações inseridas. Assim, pode-se analisar a aplicabilidade do BIM para elaboração de estudos referentes aos processos de produção.

O Quadro 02, apresenta de forma mais detalhada as atividades, ferramentas e resultados esperados do trabalho.

Quadro 02 – Objetivos do trabalho

OBJETIVO GERAL	Avaliar a aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) para estudo do planejamento de curto prazo		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGIA		
	ATIVIDADES	FERRAMENTAS	RESULTADOS ESPERADOS
Conhecer os princípios e aplicações da modelagem da informação da construção	Estudar e pesquisar os conceitos do BIM através da bibliografia apresentada.	Livros, artigos, dissertações, monografias e outras publicações.	Compreensão dos conceitos e das vantagens relacionadas à utilização do BIM.
Aplicar o BIM para estudo do planejamento de curto prazo de obras, envolvendo elementos característicos de produção.	Ajustar e exportar os projetos para o Navisworks, adicionando os elementos específicos da produção.	Softwares em Revit e Navisworks.	Criação do modelo 3D.
	Estudar sequência de execução, equipe, materiais e equipamentos de logística envolvidos em cada atividade.	Quantitativos, indicadores de produtividade, discussões com a equipe da construção.	Plano de ataque e plano de logística para execução das atividades do pavimento tipo.
	Inserir cronograma no Navisworks sincronizado com os componentes do modelo.	Softwares Navisworks e MS Project.	Criação do modelo 4D.
Analisar a aplicabilidade de modelos 4D para o planejamento de curto prazo, elaborando recomendações para seu uso.	Avaliar a capacidade de o modelo representar os planos de ataque, plano de logística e evolução espacial ao longo da construção.	Software Navisworks.	Identificar os benefícios e limitações da modelagem 4D aplicada ao planejamento de curto prazo e apresentar recomendações para sua aplicação.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado nesse trabalho teve o objetivo de analisar a aplicação do BIM para a construção de um modelo 4D referente a um pavimento tipo. O escopo do modelo envolveu a modelagem da execução dos componentes do pavimento e, também, dos elementos presentes durante a fase de construção. Esperava-se, dessa forma, levantar e compreender os benefícios e limitações do BIM para o planejamento de obras.

Os projetos utilizados são de um empreendimento residencial de alto padrão, situado no bairro de Patamares. O empreendimento, composto por 8 torres, possui duas tipologias de planta: 4 suítes (156 m²) e 3 suítes (113m²). O pavimento tipo de ambas possui quatro apartamentos, três elevadores (dois sociais e um de serviço) e uma escada com antecâmara. Dentre as opções de planta fornecidas, foi escolhida a opção padrão da tipologia 3 Suítes, por sua maior repetição ao longo do empreendimento.

Para construção do modelo, foi elaborado um procedimento – representado a seguir na Figura 20 – e discutido ao longo desse capítulo.

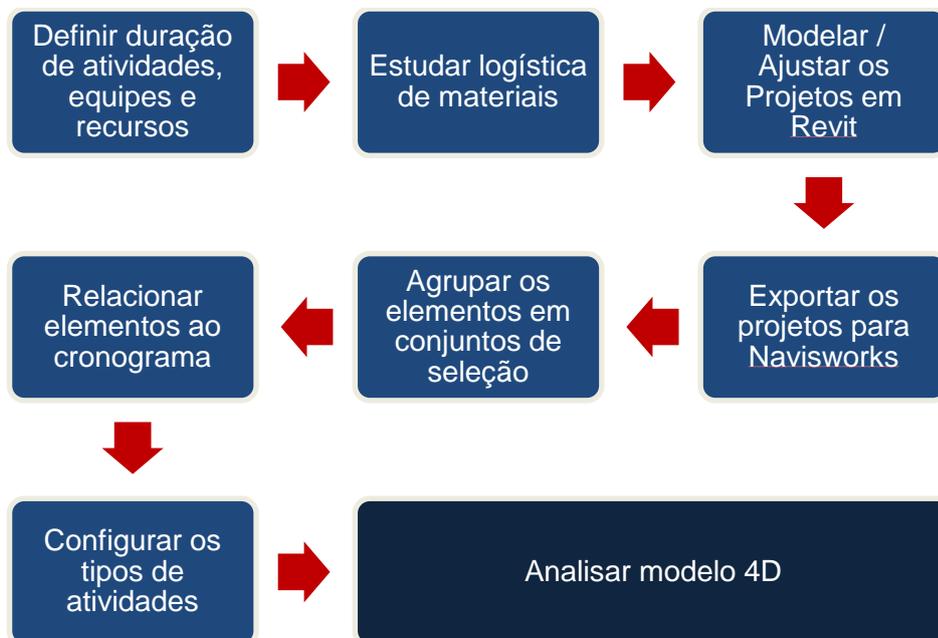


Figura 20 – Procedimento para construção de modelo 4D

5.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Antes de iniciar a construção do modelo 4D, houve um levantamento de dados para definir as principais informações envolvidas em um modelo com esse escopo. São necessários dados sobre durações e sequência de tarefas, equipe prevista, consumo de materiais e equipamentos envolvidos. Importante destacar que, sob essa ótica, as tarefas já não se referem a todos os elementos de um pavimento, mas a cada um deles individualmente.

Para o serviço específico de alvenaria, foi elaborado um estudo mais detalhado, abrangendo plano de ataque, equipe envolvida e toda a logística de materiais. Essa análise só foi possível por conta da participação dos responsáveis pela obra (principalmente os encarregados) no processo. O procedimento adotado para realizar esse estudo será descrito a seguir, servindo como base para elaboração dos referentes às demais disciplinas.

•DEFINIR DURAÇÃO DE ATIVIDADES, EQUIPE E RECURSOS

De início, houve uma análise do planejamento de médio prazo e, com base neste, verificou-se que o serviço de alvenaria estava subdividido em duas etapas: alvenaria periférica (blocos de concreto de 0,14 m) e alvenaria interna (blocos de 0,09 m e 0,14m).

A primeira, por ser a alvenaria periférica, da escada e dos poços de elevador, possui forte ligação com os sistemas de proteção coletiva, além de sofrer influência direta de agentes externos, como vento, chuva e sol. Já no caso da segunda, essas questões são minimizadas, porém surge como complicação o fator espaço. Por conta da grande densidade de paredes do pavimento, as equipes de alvenaria interna sofrem um pouco mais com falta de espaço para transitar com materiais e equipamentos.

Em seguida, foi constatado que cada etapa possuía, no planejamento, uma meta de cinco dias trabalhados (uma semana) por pavimento. Então, utilizando o próprio Navisworks, fez-se um cadastro de cada parede do pavimento, contemplando dados como área, altura, comprimento. Sobre essas informações, aplicou-se os indicadores de produtividade da própria construtora para definição das equipes, chegando ao número de seis pedreiros para a alvenaria periférica e dez para a alvenaria interna.

Assim, cada pedreiro recebeu um pacote de paredes para realizar em cada dia. Inicialmente, tentou-se manter um equilíbrio entre a área dos pacotes de trabalho e a produtividade diária informada pelo índice, porém a percepção dos encarregados da obra foi crucial para ponderar a dificuldade envolvida em cada parede; que acabou sendo ignorada pelo indicador estatístico de produtividade. Ainda com base nesse mesmo cadastro, pode-se definir a quantidade de *pallets* de bloco de concreto necessária por pavimento. O Quadro 03 resume o dimensionamento realizado para consumo de blocos.

Quadro 03 – Resumo de alvenaria por pavimento tipo

Local	Espessura (cm)	Área (m ²)	Área/Pallet	Pallets/pav.
Escada e Poço	14	99,54	6,08	16
Externa	14	281,06	6,08	46
Interna	14	33,54	6,08	6
Interna	9	549,28	9,60	57

• ESTUDAR A LOGÍSTICA DE MATERIAIS

O próximo passo foi estudar a logística dos materiais envolvidos, sendo o primeiro ponto analisado o preparo e transporte da argamassa. Ao dividir a execução de alvenaria em duas etapas distintas, a obra passou a ter demanda de argamassa para assentamento de blocos em dois pavimentos. A solução proposta foi instalar uma argamassadeira no pavimento superior – responsável por preparar a argamassa de ambas as etapas – e, então, distribuí-la entre os pavimentos. A distribuição no próprio pavimento (alvenaria periférica) é feita por jericas. Para abastecer o pavimento inferior (alvenaria interna), foi proposta uma tubulação instalada em um passagem da laje, criada a fim de estabilizar o sistema de linha de vida, por onde a argamassa desce via gravidade para um recipiente plástico. Então, assim como no pavimento superior, a argamassa é distribuída via jericas.

Inicialmente, a logística de distribuição dos *pallets* de bloco de concreto foi prevista para ocorrer simultaneamente à execução da alvenaria. Contudo, por conta dos vãos de porta, os *pallets*, seriam desmontados e seus blocos transportados em carrinhos ao longo do pavimento. Para esse transporte vertical, a construtora conta

com um elevador cremalheira e uma plataforma de grua. A Figura 21 representa a posição desses elementos modelados em relação ao pavimento tipo.

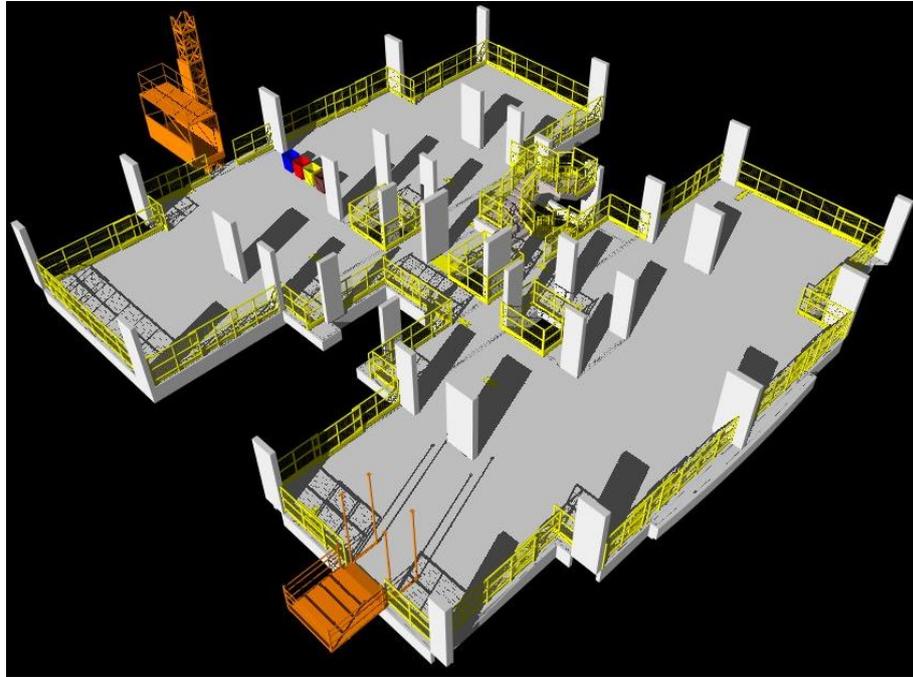


Figura 21 – Posição do elevador cremalheira e plataforma de grua

Para auxiliar essa problemática, surgiu a proposta de distribuir os pallets de bloco de concreto antes da marcação da alvenaria. Dessa forma, os blocos já estariam no local de uso ao iniciar os serviços de alvenaria. A ideia foi aceita pela equipe de construção, que, dentre as suas contribuições, apresentou os principais critérios para alocação dos *pallets*, listados a seguir:

- Garantir 80 cm da parede cuja alvenaria será executada;
- Garantir 80 cm de uma das faces da parede, para que sua marcação possa ser realizada (os colaboradores podem caminhar sobre a marcação);
- Permitir que ambas as extremidades da parede tenham um caminho livre para os eixos do pavimento;
- Não alocar os *pallets* sobre os eixos do pavimento;
- Permitir passagens com mínimo de 60 cm para transporte dos “carrinhos masseira”.

A alocação de pallets, bem como seu consumo ao longo da execução dos serviços foi estudada ao longo da construção do modelo. Seus resultados são abordados no capítulo 6 deste trabalho.

5.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO

Após o levantamento das principais informações, deu-se início à construção do Modelo 4D. As principais etapas estão discutidas a seguir.

• MODELAR / AJUSTAR OS PROJETOS EM REVIT

A construtora do empreendimento objeto desse estudo forneceu os projetos arquitetônico e estrutural do pavimento tipo, ambos já modelados no software Autodesk Revit. No entanto, após acultramento com os procedimentos executivos da construtora, constatou-se que algumas características do modelo fornecido impossibilitavam a construção de um modelo 4D assertivo. Assim, houve um trabalho inicial para adequar alguns itens no projeto, de modo a atender ao nível de desenvolvimento necessário para o modelo 4D.

Dentre os elementos adequados, destaca-se o exemplo da alvenaria. De início, constatou-se que faltava a divisão entre a primeira fiada (marcação) e o restante da parede. Em seguida, após discussões do procedimento executivo com os integrantes da construtora, identificou-se que as paredes periféricas costumam ser erguidas em duas fases por conta de interferências de agentes externos (vento, sol e chuva) com a qualidade final da parede. Logo, o modelo fornecido foi ajustado de modo que toda sua alvenaria recebeu a separação da primeira fiada e as paredes periféricas receberam uma segunda divisão à meia altura.

Considerando que os projetos fornecidos são referentes à arquitetura final do empreendimento, faltava a inserção dos elementos relacionados à produção. Com base nas determinações de duração das atividades, das equipes, dos recursos e da logística, foram inseridos os componentes referentes à execução de cada atividade. Para essa finalidade, estudou-se a criação de um modelo único em Revit que contivesse todas as informações. Contudo, o resultado foi um modelo de difícil compreensão, pois havia grande quantidade de elementos sobrepostos. Um dos exemplos foi a sobreposição de um *pallet* de argamassa a um de bloco de concreto. Por serem consumidos em momentos diferentes, não há incompatibilidade real entre os elementos, contudo a sua representação em um único modelo de Revit tornou-se extremamente confusa; o que levou à criação de modelos individuais para os serviços.

• EXPORTAR OS ARQUIVOS PARA NAVISWORKS

A elaboração de um modelo 4D requer o vínculo do planejamento aos componentes do modelo 3D. No entanto, o Revit não permite essa associação. Dessa forma, deve-se recorrer a outro software da Autodesk: o Navisworks.

Estudou-se duas formas de se transferir as informações do Revit ao Navisworks: Importação e Exportação. A primeira consiste na capacidade de o software Navisworks abrir um arquivo Revit (.rvt) sem que haja qualquer adaptação anterior. Considerando a importância da interoperabilidade ao BIM, essa opção é a mais indicada, pois mantém sua conexão direta com o modelo original em Revit. Todavia, o preço a pagar é um modelo lento, tanto em sua atualização quanto em sua operação. Indica-se trabalhar com esse processo apenas para modelos com um nível de detalhes menor ou durante o desenvolvimento do produto; fase sujeita a grande frequência de alterações.

Em seguida, estudou-se a exportação direta do Revit. O processo gera um arquivo do tipo Cache (.nwc), que torna a operação muito mais ágil do que o procedimento anterior. O modelo exportado, que contém todos os elementos arquitetônicos do empreendimento, foi adotado como arquivo base. Dessa forma, todos os demais modelos gerados foram convertidos para arquivos tipo File (.nwf) e adicionados ao modelo base pelo comando *Append*.

Por se tratarem de dois softwares da mesma fabricante, houve compatibilidade integral no processo de exportação. Adotou-se o processo de exportar apenas os elementos selecionados nos modelos Revit complementares, gerando arquivos contendo os componentes adicionais isolados. A seguir, a Figura 22 retrata o arquivo gerado para inserção da equipe de alvenaria periférica, exemplificando o processo realizado.

Nota-se que esse arquivo contempla apenas a equipe de alvenaria periférica, composta por seis pedreiros e três ajudantes. No entanto, o modelo deve contemplar as diversas posições ocupadas por cada colaborador ao longo do ciclo de execução do serviço; o que leva à inserção de muito mais do que seis pedreiros no modelo.

Constatou-se, durante a construção do modelo, que em caso de atualização no modelo original (.rvt), a atualização dos arquivos exportados (.nwc e .nwf) não se dá de forma automática. No entanto, basta exportar um novo arquivo e salvá-lo sobre o anterior, mantendo o mesmo local e nome. Dessa forma, o arquivo base do

Navisworks automaticamente fará a atualização de todos os componentes que estiverem vinculados a esse arquivo atualizado, sem que haja necessidade de retrabalhos.

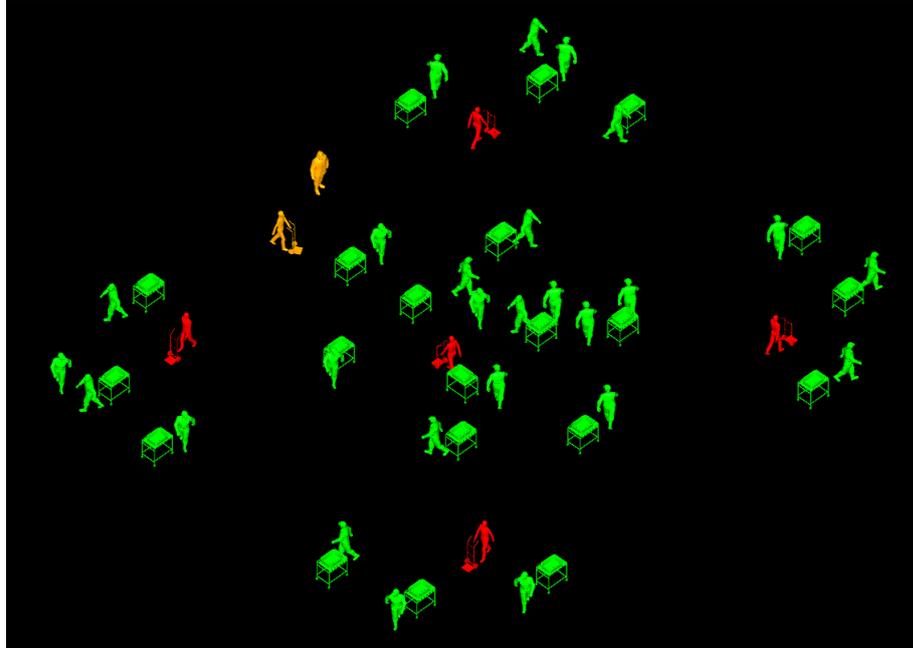


Figura 22 – Arquivo *cache* com a equipe de alvenaria periférica

• AGRUPAR OS ELEMENTOS EM CONJUNTOS DE SELEÇÃO

Considerando a existência de um planejamento elaborado e fornecido pela construtora, o agrupamento de elementos deve estar de acordo com a Estrutura Analítica de Projeto adotada. Contudo, algumas adaptações foram feitas à EAP original, pois esta contemplava os serviços divididos em pacotes de trabalho cuja unidade de referência é o pavimento tipo.

Avaliou-se duas formas de realizar esse ajuste. A primeira consiste na inserção de todos os elementos individualmente na EAP, do modo que as datas de cada um fosse inserida de modo individual; já a segunda trata da criação de uma sub-atividade para cada dia de duração da atividade em si. As Figuras 23 e 24 ilustram ambas as maneiras.

O processo de formação dos conjuntos (*sets*) iniciou com a primeira forma, contudo ela se mostrou trabalhosa e pouco eficaz; o que levou à adoção da segunda maneira. Desse modo, foi criado um *set* para cada elemento referente à atividade e estes foram agrupados conforme a sua data de execução dentro do respectivo serviço. Um benefício desse procedimento é a praticidade de vincular os *sets* ao

planejamento, além de manter aberta a possibilidade de troca das datas – já que, ao trocar o set de pasta, se altera automaticamente a data de execução.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End
<input checked="" type="checkbox"/>	Alvenaria Escadas e Elevadores		02/12/2013 09:00	06/12/2013 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Alvenaria Externa Inferior - Bloco 014		02/12/2013 09:00	05/12/2013 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf - Equipe 02		02/12/2013 09:00	05/12/2013 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf - Equipe 03		02/12/2013 09:00	05/12/2013 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 00		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 01		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 02		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 03		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 04		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 05		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 06		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 59		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 60		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 61		02/12/2013 09:00	02/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 58		03/12/2013 09:00	03/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 62		03/12/2013 09:00	03/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 63		03/12/2013 09:00	03/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 64		03/12/2013 09:00	03/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 65		03/12/2013 09:00	03/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 42		04/12/2013 09:00	04/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 43		04/12/2013 09:00	04/12/2013 12:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Parede Ext.Inf 44		04/12/2013 09:00	04/12/2013 12:00

Figura 23 – EAP organizada por elementos

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End
<input checked="" type="checkbox"/>	Mármore e Granitos		27/01/2014 09:00	07/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Bancadas		27/01/2014 09:00	29/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Bancadas - Dia 01		27/01/2014 09:00	27/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Bancadas - Dia 02		28/01/2014 09:00	28/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Bancadas - Dia 03		29/01/2014 09:00	29/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Soleiras e Peitoris		30/01/2014 09:00	31/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Soleiras e Peitoris - Dia 01		30/01/2014 09:00	30/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Soleiras e Peitoris - Dia 02		31/01/2014 09:00	31/01/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Filetes de Boxe		03/02/2014 09:00	07/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Filetes de Boxe - Dia 01		03/02/2014 09:00	03/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Filetes de Boxe - Dia 02		04/02/2014 09:00	04/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Filetes de Boxe - Dia 03		05/02/2014 09:00	05/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Filetes de Boxe - Dia 04		06/02/2014 09:00	06/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Filetes de Boxe - Dia 05		07/02/2014 09:00	07/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Pintura Interna		10/02/2014 09:00	14/03/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Emassamento e Lixamento		10/02/2014 09:00	14/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Emassamento e Lixamento - Dia 01		10/02/2014 09:00	10/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Emassamento e Lixamento - Dia 02		11/02/2014 09:00	11/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Emassamento e Lixamento - Dia 03		12/02/2014 09:00	12/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Emassamento e Lixamento - Dia 04		13/02/2014 09:00	13/02/2014 17:00
<input checked="" type="checkbox"/>	Emassamento e Lixamento - Dia 05		14/02/2014 09:00	14/02/2014 17:00

Figura 24 – EAP organizada por dia do ciclo

Um exemplo prático de como se realizou esse agrupamento pode ser visto com os Mármore e Granitos. Cada bancada do pavimento tipo está vinculada a um *set* individual, no entanto, todos os *sets* referentes às bancadas assentadas no primeiro dia do ciclo estão agrupados dentro de uma pasta, conforme retratado pela Figura 25. Por fim, essa pasta é vinculada ao planejamento representado pela Figura 24.

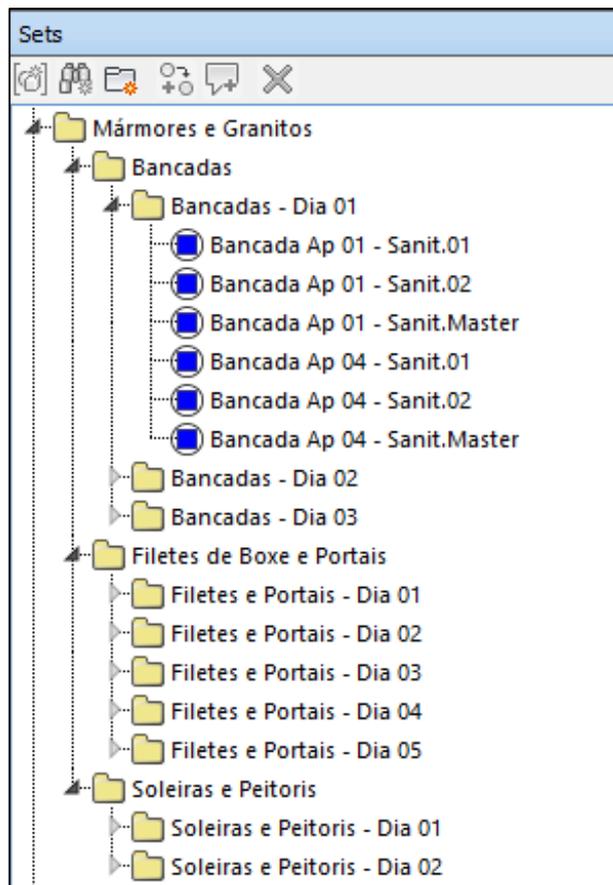


Figura 25 – Sets organizados conforme EAP por dia do ciclo

- RELACIONAR ELEMENTOS AO CRONOGRAMA

Existem algumas formas de adicionar tarefas ao *TimeLiner*. A escolha por um desses métodos depende do modo com que se organizou os *sets* em relação à EAP e da própria organização da EAP. Inicialmente, adotou-se o procedimento de gerar as tarefas automaticamente, baseadas nos *sets* existentes e já vinculadas a estes. Essa forma foi escolhida inicialmente, pois se esperava planejar cada elemento individualmente. No entanto, após a decisão de alterar a subdivisão da EAP, optou-se por inserir as tarefas e vinculá-las aos *sets* manualmente.

O Navisworks possui, via sua ferramenta *TimeLiner*, interface com os softwares MS Project e MS Excell; ambos com a função de inserir datas e predecessoras às

tarefas do modelo. Por ser um *software* voltado para o planejamento de atividades, a escolha natural é o MS Project. Dessa forma, a primeira EAP construída foi exportada e as datas de suas tarefas foram inseridas utilizando o MS Project.

Após a adequação da EAP à nova organização de *sets*, provou-se mais eficaz a adição de datas pela própria ferramenta *TimeLiner*, já que o número de atividades foi consideravelmente reduzido. Apesar de não possuir tantas ferramentas quanto o MS Project, a *TimeLiner* permitiu o planejamento rápido de um pequeno número de atividades; prescindindo o processo de exportação, conversão do arquivo, ajuste das datas, importação e substituição.

• CONFIGURAR OS TIPOS DE ATIVIDADES

Os tipos de atividade definem a forma com que cada tarefa será representada durante a simulação da construção. O Navisworks possui alguns tipos padrão de atividade, dentre os mais utilizados estão as atividades de Construção (*Construct*), as Temporárias (*Temporary*) e as de Demolição (*Demolish*); representadas pelas cores verde, amarelo e vermelho, respectivamente.

Contudo, para representar as diferentes equipes atuantes dentro de um mesmo serviço, ou elementos de logística e segurança – como *pallets*, guarda-corpos, e elevadores – surgiu a necessidade de se criar novos tipos de tarefa. A imagem 26 a seguir ilustra os diferentes tipos de tarefa criados e suas respectivas representações.

O serviço de revestimento em argamassa projetada (Massa Única), por exemplo, possui 4 equipes trabalhando em um mesmo pavimento. Desse modo, a única forma de representar o plano de ataque de cada equipe era atribuindo-lhe uma cor diferente: vermelho, amarelo, verde e azul; de acordo com a Figura 27. Já no caso dos elementos de produção, como *pallets* e guarda-corpos, adotou-se um tipo de atividade que representasse o elemento com suas características originais e o ocultasse após a data de sua desmobilização.

Name	Start Appearance	End Appearance
Construct	Green (90% Transparent)	Model Appearance
Demolish	Red (90% Transparent)	Hide
Temporary	Yellow (90% Transparent)	Hide
Alv.014 - Equipe 01	Red	Model Appearance
Alv.014 - Equipe 02	Green	Model Appearance
Alv.014 - Equipe 03	Yellow	Model Appearance
Alv.009 - Equipe 01	Red	Model Appearance
Alv.009 - Equipe 02	Green	Model Appearance
Massa Proj. - Equipe 01	Red	Model Appearance
Massa Proj. - Equipe 02	Green	Model Appearance
Massa Proj. - Equipe 03	Yellow	Model Appearance
Massa Proj. - Equipe 04	Purple	Model Appearance
Ponto de Massa	Cian	Hide
Contramarcos	Purple	Hide
Representação Temporária	Model Appearance	Hide
Forro de Gesso	Green (90% Transparent)	Purple (95% Transparent)

Figura 26 – Tipos de tarefa criados

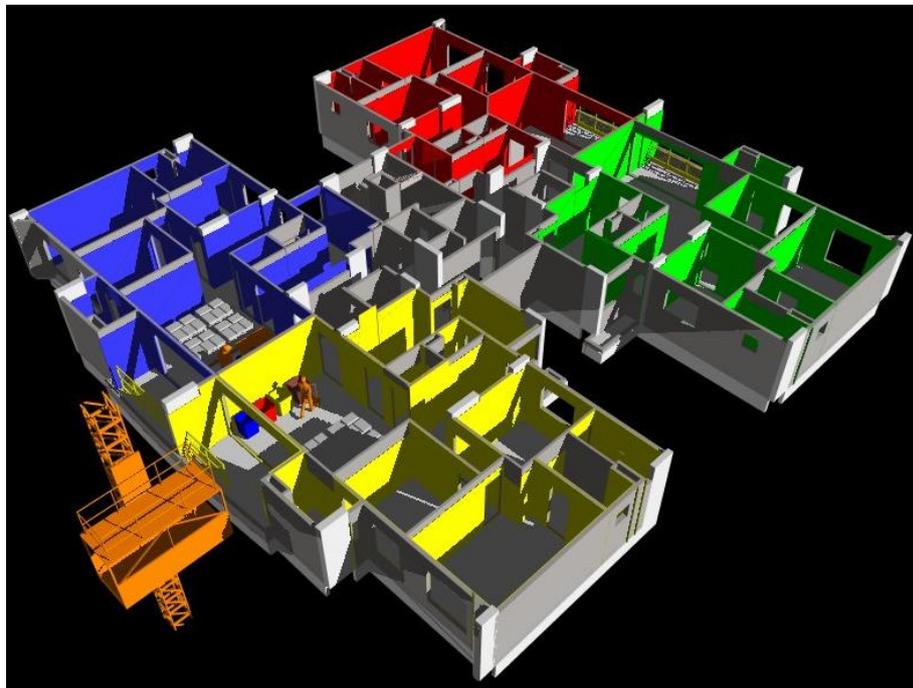


Figura 27 – Equipes de revestimento em argamassa projetada

Algumas atividades, como forro em gesso e revestimento em argamassa, necessitaram de ajuste nas formas de sua representação. Assim, o forro passou a ser representado pela cor roxa de com 95% de transparência, de modo a permitir a visualização das atividades que ocorrem após sua execução. No caso do revestimento em argamassa, foi necessário ampliar o contraste; já que sua cor era facilmente confundida com o revestimento cerâmico e a pintura. As Figuras 28 e 29 ilustram a representação do forro de gesso antes e depois da alteração de seus gráficos.

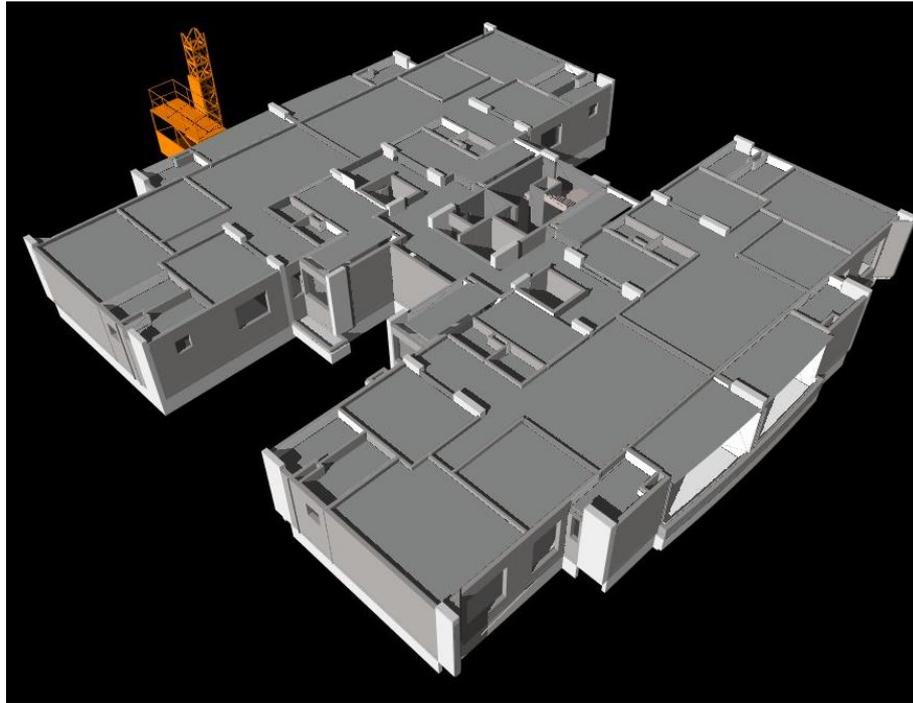


Figura 28 – Forro de gesso antes do ajuste na representação

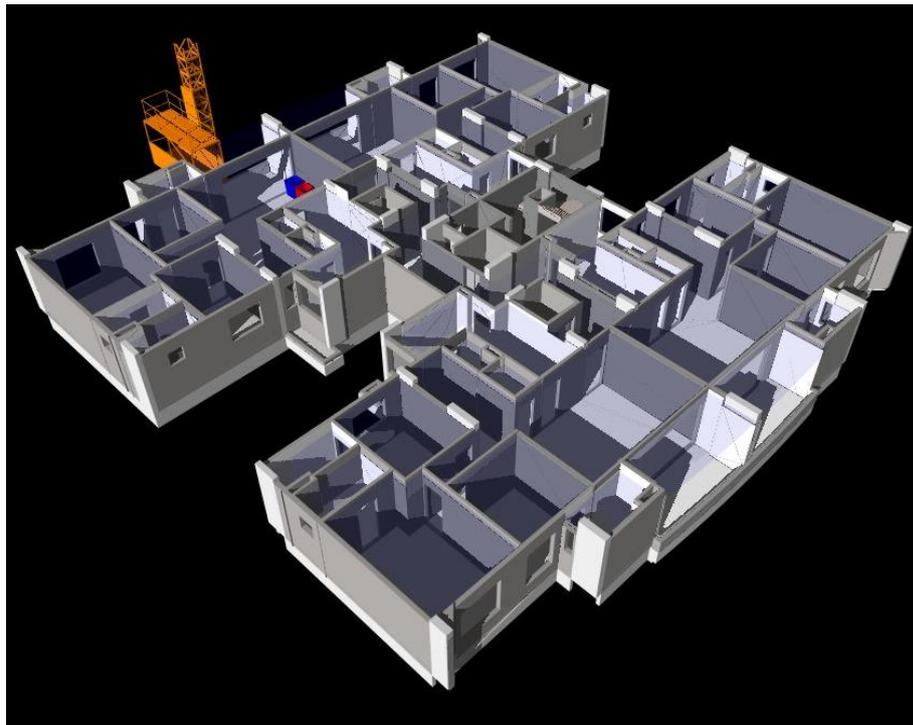


Figura 29 – Forro de gesso após ajuste na representação

Contudo, alguns desses ajustes não foram feitos via Tipos de Atividade. O Navisworks permite ao usuários alterar a cor e transparência definitiva de objetos. Esse recurso foi utilizado para melhorar a representação do revestimento em

argamassa projetada. Por conta da proximidade de coloração com os serviços posteriores (revestimento cerâmico e pintura), a visualização da sequência executiva dessas atividades tornou-se confusa. Portanto, a representação do revestimento em argamassa foi alterada para aumentar o contraste em relação à pintura e revestimento cerâmico.

5.3. O MODELO 4D

O resultado direto da construção do modelo tridimensional e sua associação ao planejamento previsto para execução é o Modelo 4D. Portanto, esse modelo será discutido a seguir, subdividido em cinco estágios: logística e marcação, alvenaria periférica, alvenaria interna, serviços de revestimento e, por fim, serviços de acabamento.

5.3.1. Logística e marcação

Após a remoção do sistema de escoramento e consequente liberação do pavimento tipo, dá-se início à execução dos serviços de fechamento. Portanto, a primeira etapa proposta é a logística de distribuição dos pallets de bloco de concreto.

O início desse processo é representado pela Figura 21, na qual pode-se ver que os principais elementos de logística e segurança já estão instalados no pavimento tipo. Em seguida, dá-se início à distribuição dos *pallets*. A Figura 30, que representa o primeiro dia dessa atividade, mostra que esse material deve ser armazenado de acordo com uma sequência lógica que permita a locomoção das equipes de logística durante e após a distribuição dos *pallets*. A Figura 31 ilustra a disposição final dos *pallets* no pavimento tipo.

A próxima etapa desse estágio é a marcação de alvenaria. Por ter sido prevista em acordo com os critérios fornecidos pelas equipes de construção, a distribuição de *pallets* deve permitir que os colaboradores possuam espaço suficiente para executar os serviços de marcação. Após sua conclusão, o aspecto final do pavimento tipo passa a ter sua configuração representada pela Figura 32.

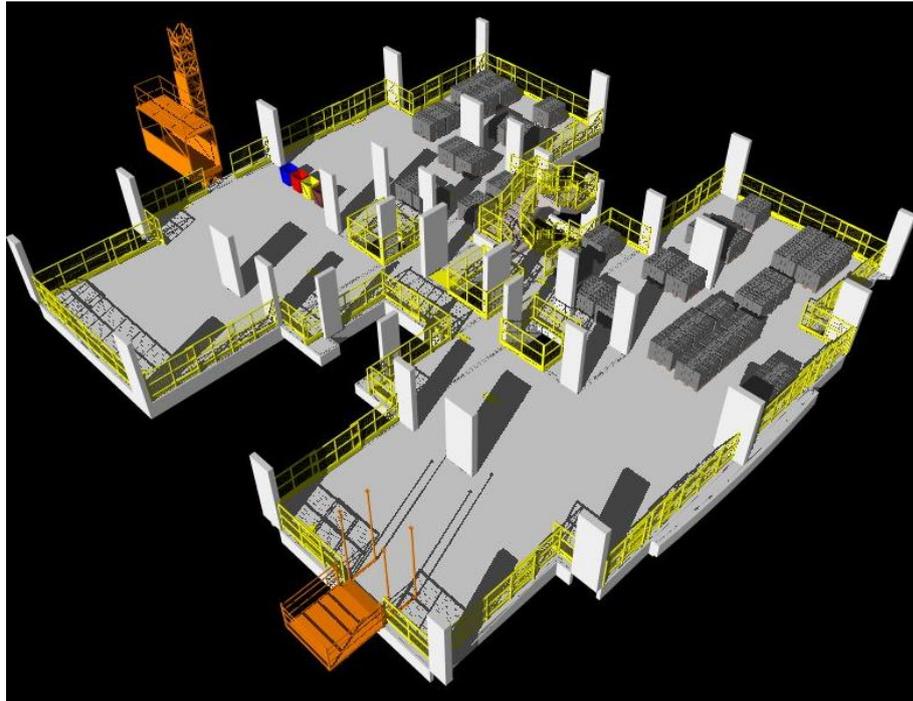


Figura 30 – Primeira etapa da distribuição de *pallets*

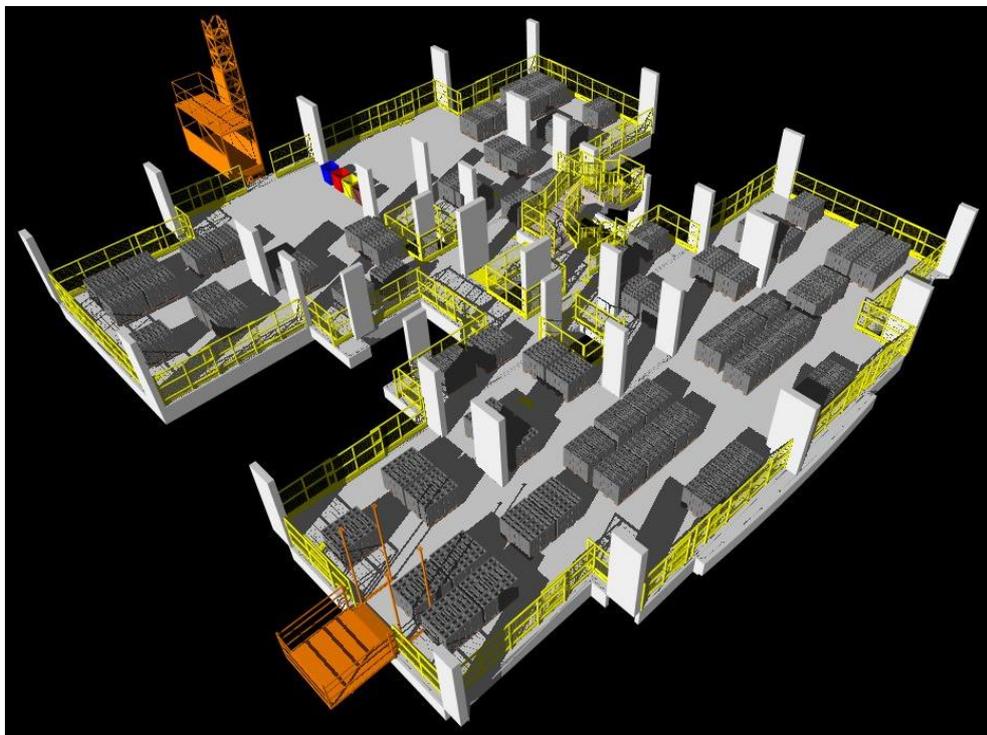


Figura 31- Conclusão da distribuição dos *pallets*

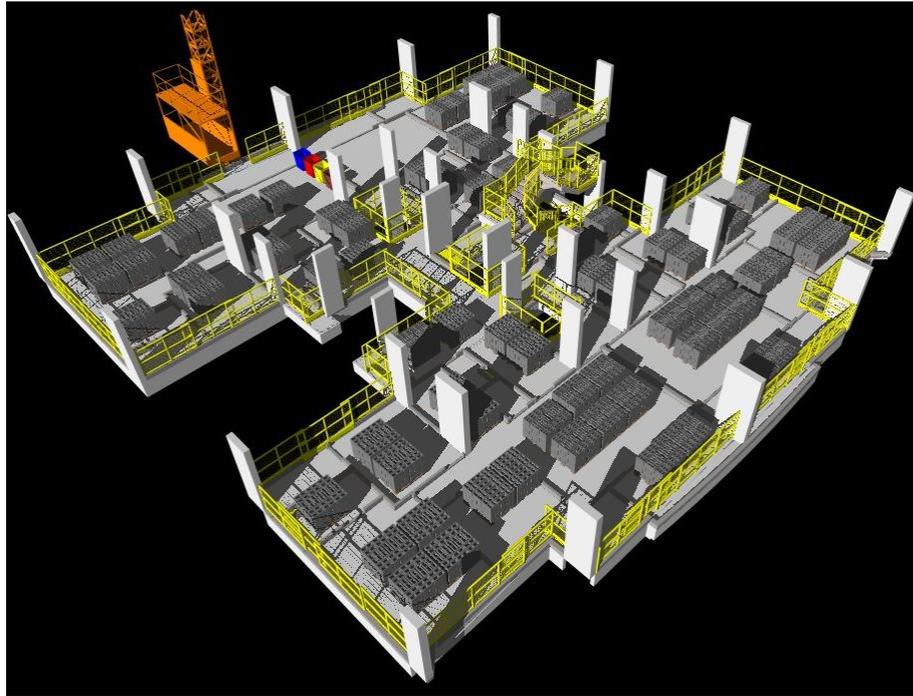


Figura 32 – Conclusão da marcação

5.3.2. Alvenaria periférica

Após a conclusão da marcação, inicia-se o serviço de alvenaria periférica. Visando obter uma melhor organização da equipe, os colaboradores foram agrupados em três subequipes. A primeira, representada pela cor vermelha, foi alocada para executar as alvenarias dos poços de elevador e escada. A segunda, representada pela cor amarela, foi designada para erguer as paredes dos apartamentos das colunas 01 e 04. Por fim, a terceira subequipe, representada pela cor verde, foi alocada para os apartamentos das colunas 02 e 03.

A Figura 33 retrata o momento em que se inicia o serviço de alvenaria periférica. Para efeito de representação, as paredes em execução estão marcadas com a cor característica de cada subequipe. Ao serem concluídas, essas paredes passam a ser representadas com seu aspecto final modelado. Nota-se que alguns guarda-corpos foram removidos para execução da alvenaria, evitando um conflito entre elementos. Mais próxima ao elevador cremalheira, encontra-se a argamassadeira, responsável por abastecer as duas frentes de alvenaria.

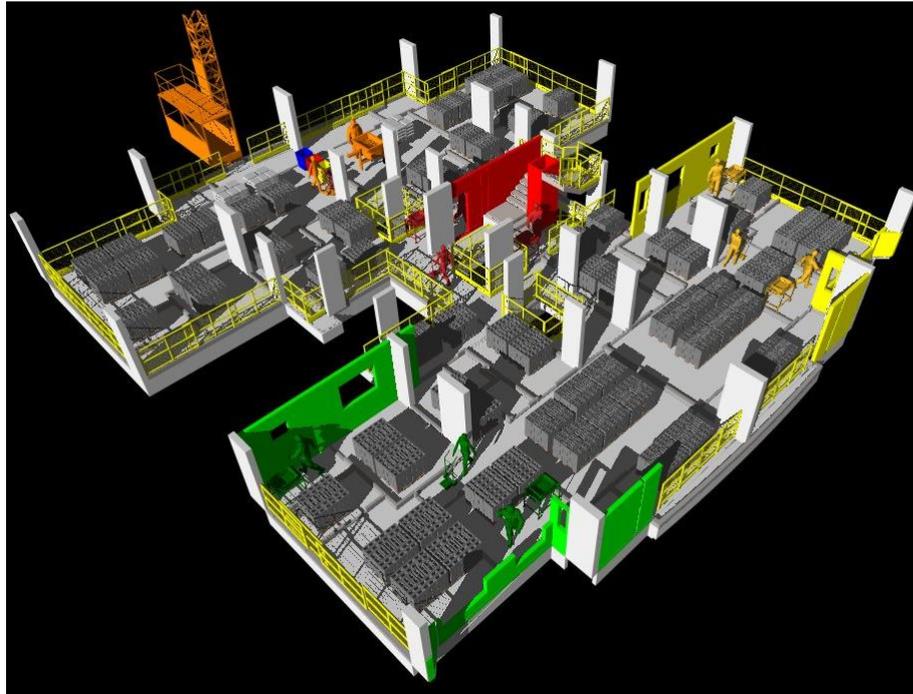


Figura 33 – 1º dia do ciclo de alvenaria periférica às 08:00

Comparando o segundo dia do ciclo, representado pela Figura 34, percebe-se que as paredes que antes estavam em execução já aparecem como executadas e que os pallets necessários para realizar esse serviço já foram consumidos. Considerando que a Figura retrata o horário de 12:00, algumas paredes estão à meia altura, indicando o avanço de metade do serviço. Percebe-se, também, a locomoção das equipes em relação ao pavimento; o que permite visualizar de forma clara a necessidade e uso do espaço.

A Figura 35 representa um dos recursos de visualização do Navisworks: o *walkthrough*. Esse recurso permite uma visão única do canteiro, na qual se analisa itens como obstrução de acessos e ocupação do espaço por equipes e materiais. Nota-se que, por retratar o mesmo momento da Figura 34, a Figura 35 fornece uma diferente perspectiva dos mesmos elementos. Portanto, ao utilizá-lo, gestores de obra possuem plena visão do que ocorre em sua construção; além de poder caminhar pelo modelo como se estivessem na própria obra.

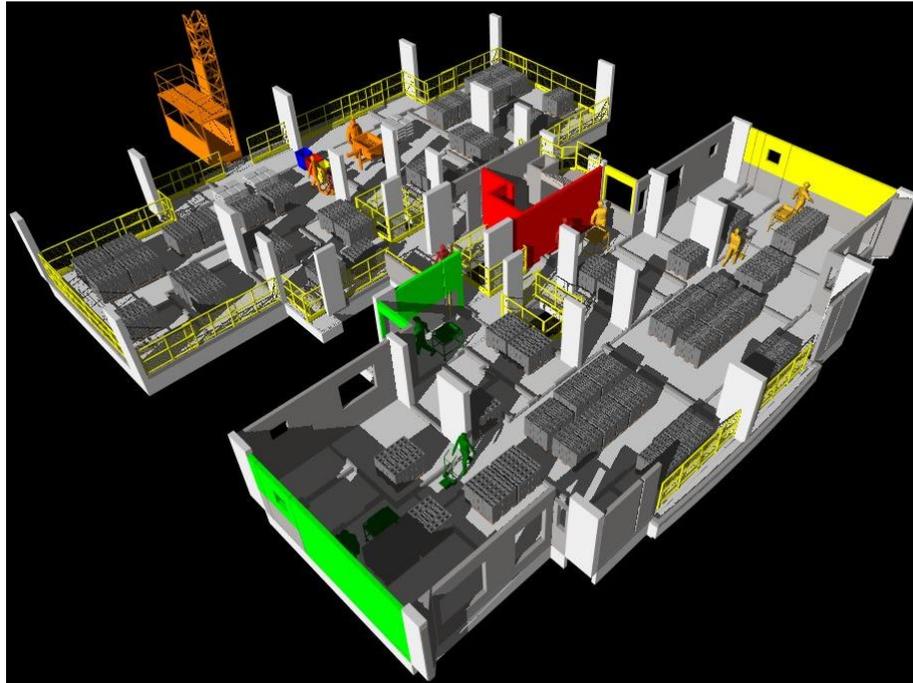


Figura 34 – 2º dia do ciclo de alvenaria periférica às 12:00



Figura 35 – *Walkthrough* no 2º dia do ciclo de alvenaria periférica

Após a conclusão da alvenaria periférica, ocorre a desmobilização da argamassadeira para o pavimento superior. A Figura 36 ilustra esse momento.

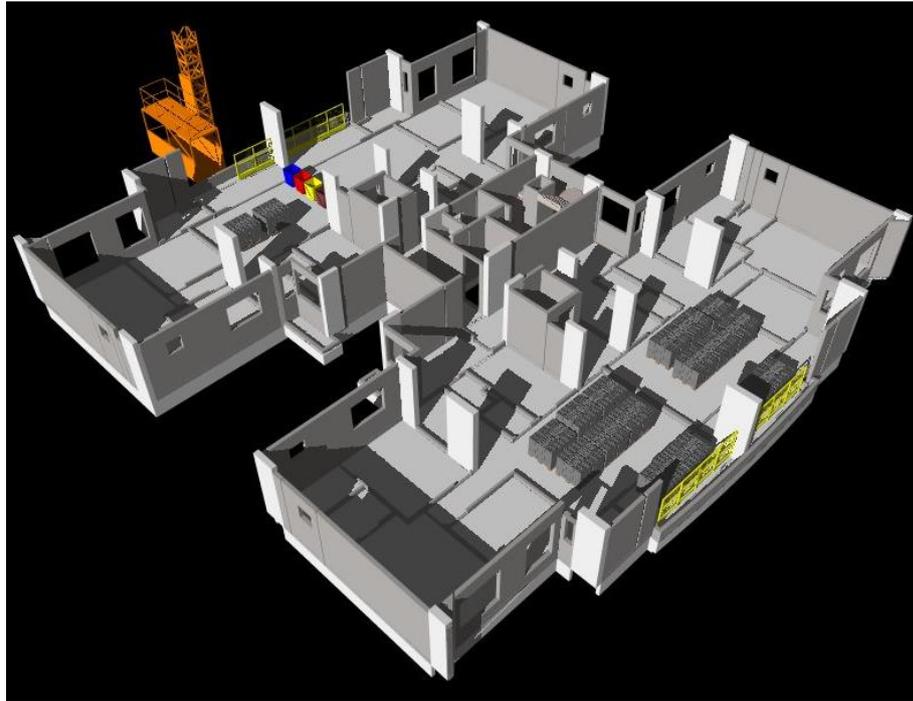


Figura 36 – Conclusão da alvenaria periférica

5.3.3. Alvenaria interna

O serviço de alvenaria interna foi representado de forma análoga ao de alvenaria periférica, porém dividido em apenas duas subequipes: vermelha (colunas 01 e 04) e verde (colunas 02 e 03).

A Figura 37 ilustra o primeiro dia do ciclo da alvenaria interna, na qual pode-se visualizar as equipes e suas frentes de serviço em execução. Próxima ao elevador cremalheira, encontra-se o recipiente utilizado para armazenar a argamassa produzida no pavimento superior. Nas colunas 01 e 02, percebe-se que os pallets de blocos referentes à alvenaria periférica já foram consumidos, restando apenas alguns pallets em cada sala. Os demais pallets necessários ao serviço tem previsão de reabastecimento pelo elevador cremalheira e armazenamento na sala da coluna 03.

Passados três dias, obtém-se a Figura 38. Nota-se que já foram concluídas as paredes da frente do pavimento, enquanto que os colaboradores trabalham nos apartamentos do fundo.



Figura 37 – 1º dia da alvenaria interna às 08:00

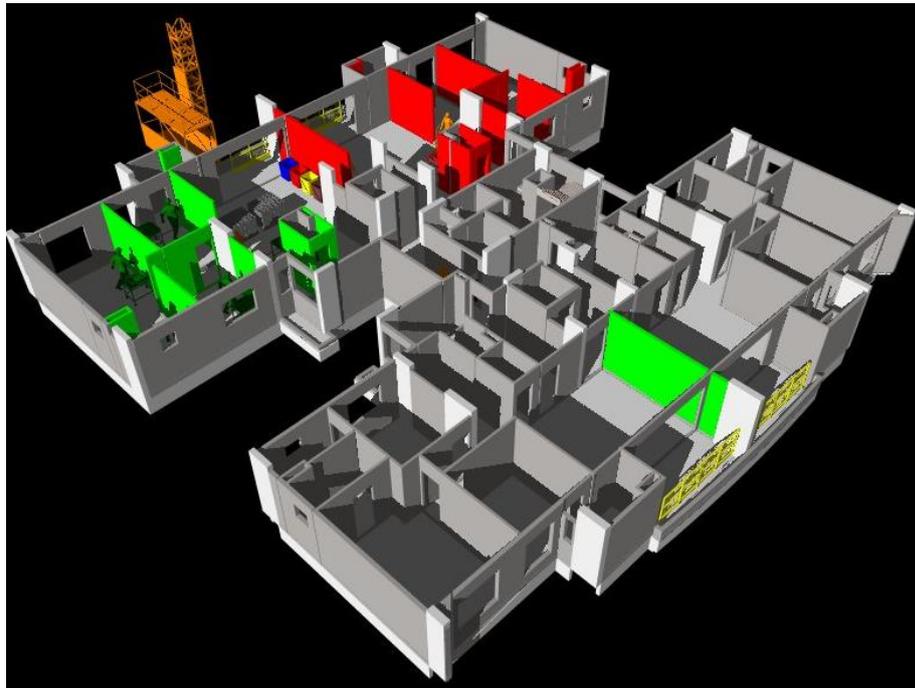


Figura 38 – 4º dia da alvenaria interna às 08:00

5.3.4. Serviços de revestimento

O quarto estágio do modelo indica um momento de transição entre os serviços mais pesados (como superestrutura e vedações) para os serviços de maior refino (acabamentos). Em acordo com o que foi discutido anteriormente, os serviços conseguintes à alvenaria foram abordados de modo mais superficial, por se entender que o procedimento para aprofundar o nível de detalhes de qualquer serviço é análogo ao utilizado para o serviço de alvenaria.

Logo após a conclusão da alvenaria, inicia-se o serviço de taliscamento das paredes. Para representar esse serviço, foi necessário recorrer, novamente, ao recurso que define os tipos de atividade. Considerando que as taliscas, caso adicionadas ao modelo, seriam imperceptíveis, a solução encontrada foi representar as paredes cujas taliscas estavam em execução com uma cor diferente; conforme ilustra a Figura 39. Desse modo, o serviço que antes seria imperceptível passa a ser facilmente identificável.

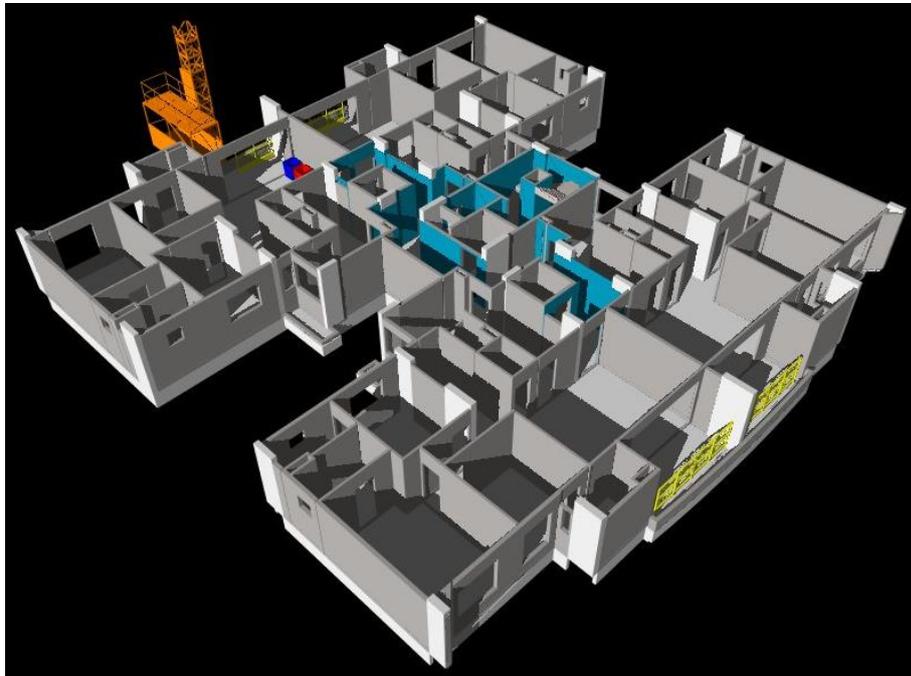


Figura 39 – Execução de taliscamento nas paredes do Hall

Concluído o serviço de taliscamento, a equipe de contramarcos assume o pavimento. O assentamento de contramarcos sofre com o mesmo problema de representação que o taliscamento, por conta das dimensões e coloração dos seus

elementos. Conseqüentemente, aplicou-se a mesma forma de representação para esse serviço.

Em seguida, se inicia o serviço de revestimento em argamassa, popularmente conhecido como “massa única”. Para essa obra, a construtora considerou a projeção mecânica de argamassa, via uma argamassadeira situada no pavimento. Para abastecer o sistema de projeção, serão transportados *pallets* de argamassa bombeável para o pavimento. Esse material foi previsto para ser armazenado inicialmente na sala da coluna 03 (coluna do elevador) e posteriormente transportado manualmente para argamassadeira, situada na sala da coluna 04. Esse processo é ilustrado pela Figura 40.

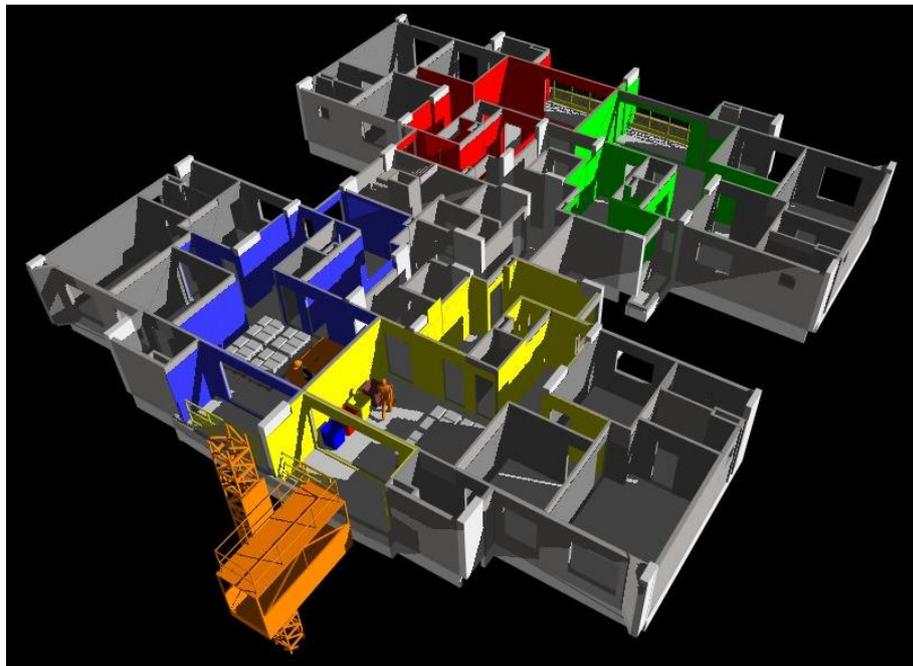


Figura 40 – 3º dia do ciclo de revestimento em argamassa

A sequência executiva do revestimento em argamassa pode ser facilmente compreendida ao analisar as Figuras 27, 40 e 41. A primeira, por representar o momento inicial do serviço, ilustra os pacotes de trabalho de cada subequipe. A segunda e a terceira, por retratarem diferentes dias do ciclo do serviço, fornecem subsídio para que se visualize que o plano de ataque contempla a execução do revestimento partindo dos cômodos mais externos do apartamento em direção à

região central do pavimento. Essa sequência visa à redução de respingos de projeção em paredes concluídas e consequentes retrabalhos.

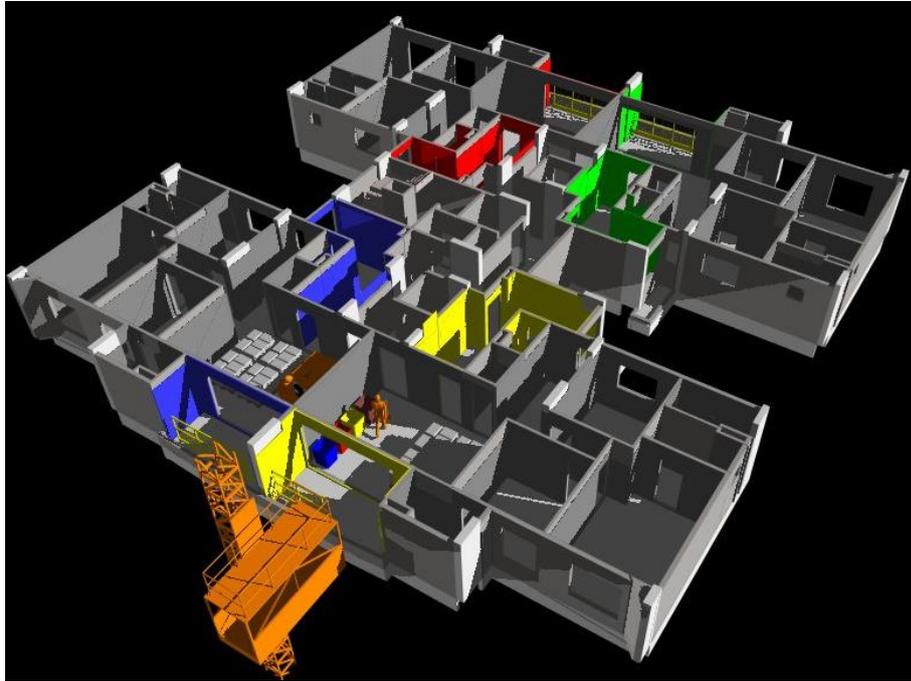


Figura 41 – 5º dia do ciclo de revestimento em argamassa

O recurso de *walkthrough* também pode ser aplicado a esse caso, conforme ilustra a Figura 42. Essa ferramenta fornece um modo eficiente de enxergar que os corredores previstos na região de descarga do elevador cremalheira são suficientes para atender à circulação de colaboradores.

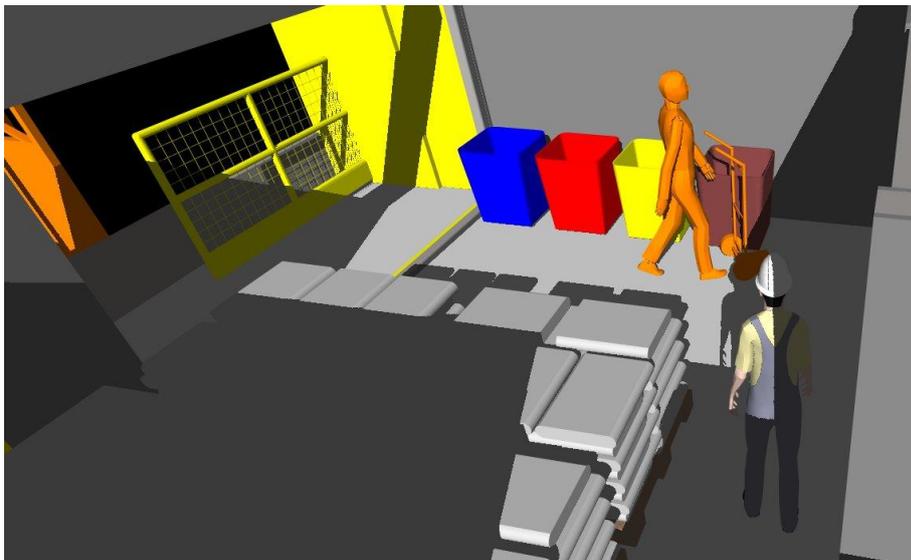


Figura 42 – *Walkthrough* no revestimento em argamassa

Após execução do revestimento em argamassa, diversos serviços pequenos são executados, como, por exemplo, marcação, furação e impermeabilização de ralos. Esses serviços possuem a mesma dificuldade de representação encontrada no taliscamento e assentamento de contramarcos; logo, também possuem a mesma solução.

Desse modo, passa-se ao serviço de contrapiso. Assim como em quase todos os elementos a base de cimento, o aspecto final modelado do contrapiso não lhe confere destaque suficiente para que sua visualização seja de forma clara. Por isso, optou-se por representar esse serviço por duas cores distintas: verde e amarelo. A Figura 43 retrata esse esquema de representação, no qual os cômodos cujo contrapiso está em execução estão representados pela cor verde; enquanto que os contrapisos concluídos aparecem em amarelo. Essa configuração de cores permite ao usuário uma fácil identificação do andamento do serviço.

A logística prevista para transporte, armazenamento e produção da argamassa de contrapiso é análoga à da argamassa de revestimento. Existe uma argamassadeira instalada no pavimento e abastecida por *pallets* de argamassa específica para contrapiso.

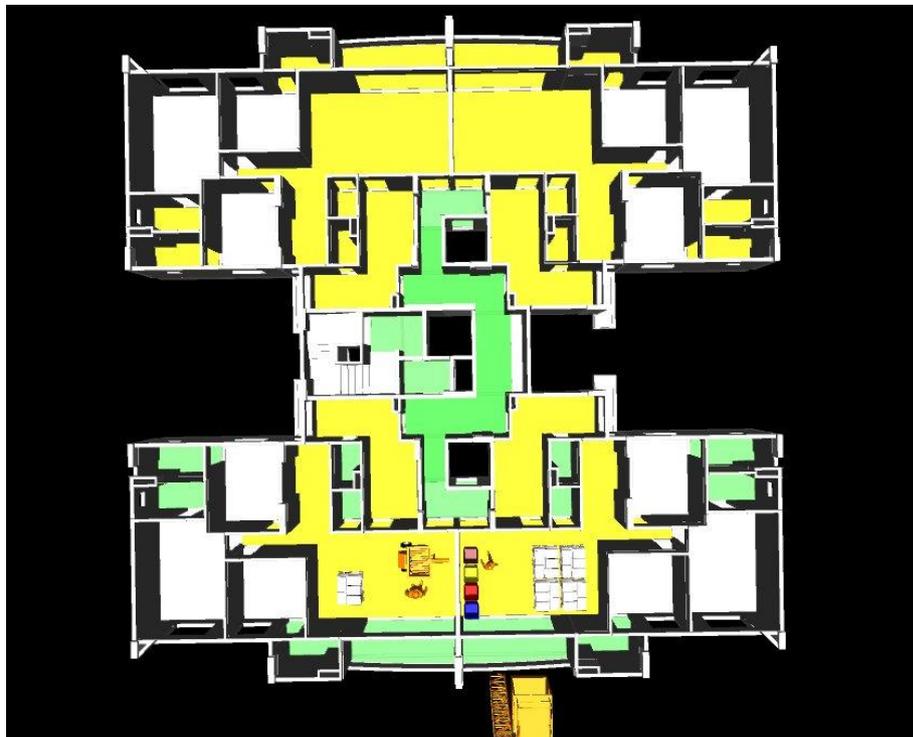


Figura 43 – Execução de contrapiso

Por fim, tem-se o assentamento de cerâmicas. Seguindo a mesma lógica de representação dos serviços anteriores, percebe-se na Figura 44 que nas cozinhas e sanitários o cinza escuro que representa o revestimento em argamassa dá lugar ao branco das cerâmicas. O revestimento que ainda será assentado aparece representado na cor verde. Os dois serviços consequentes ao assentamento, a limpeza e o rejuntamento, foram representados de forma análoga à própria execução do revestimento. Dessa forma, os locais onde se irá executar esses serviços aparece em verde, enquanto que os locais onde os serviços foram concluídos possuem a aparência da cerâmica finalizada.

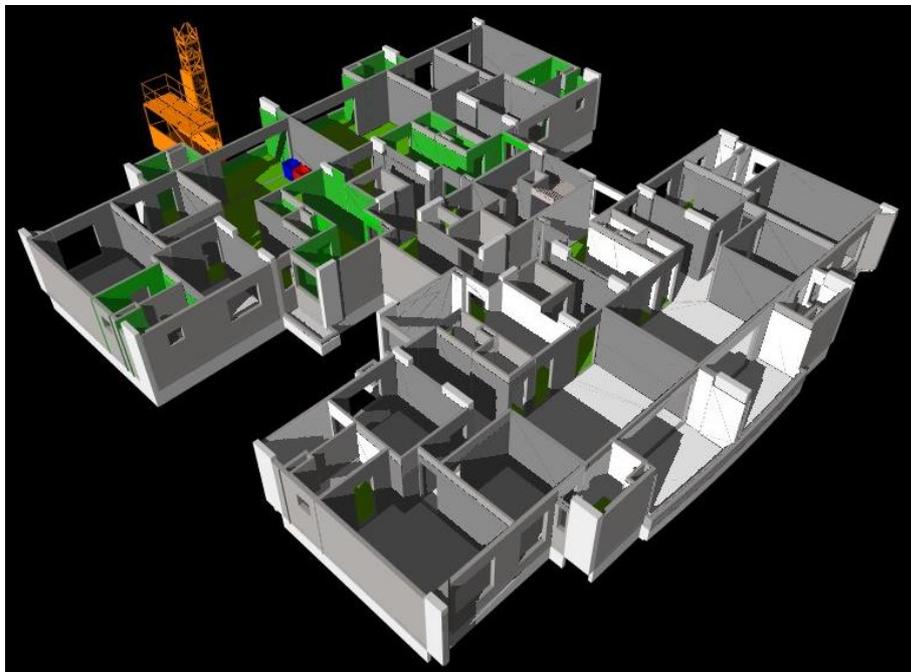


Figura 44 – Assentamento cerâmico

5.3.5. Serviços de acabamento

O primeiro serviço previsto após a conclusão do estágio de revestimento é a execução de forro em placas de gesso. Considerou-se para esse serviço a presença de duas equipes em cada pavimento, cada uma responsável por dois apartamentos e um quinhão do hall. Conforme discutido anteriormente, houve necessidade de alterar a transparência e cor do forro em seu aspecto final; de modo a garantir visibilidade dos serviços consequentes. De modo equivalente aos serviços anteriores, os pacotes de trabalho a realizar são representados na cor verde com transparência, de acordo com a Figura 45.

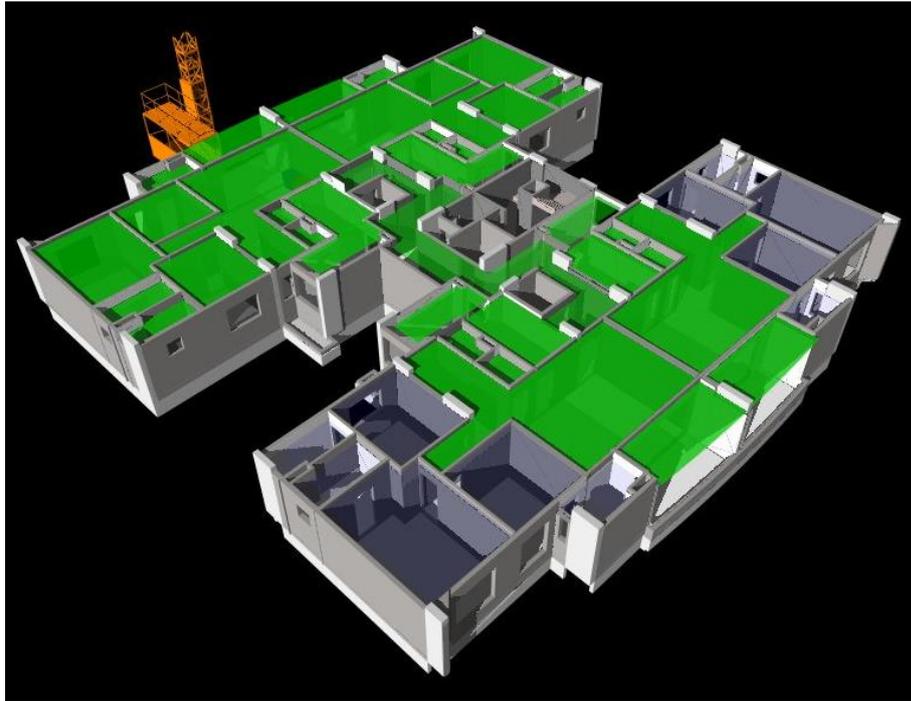


Figura 45 – Execução de forro de gesso

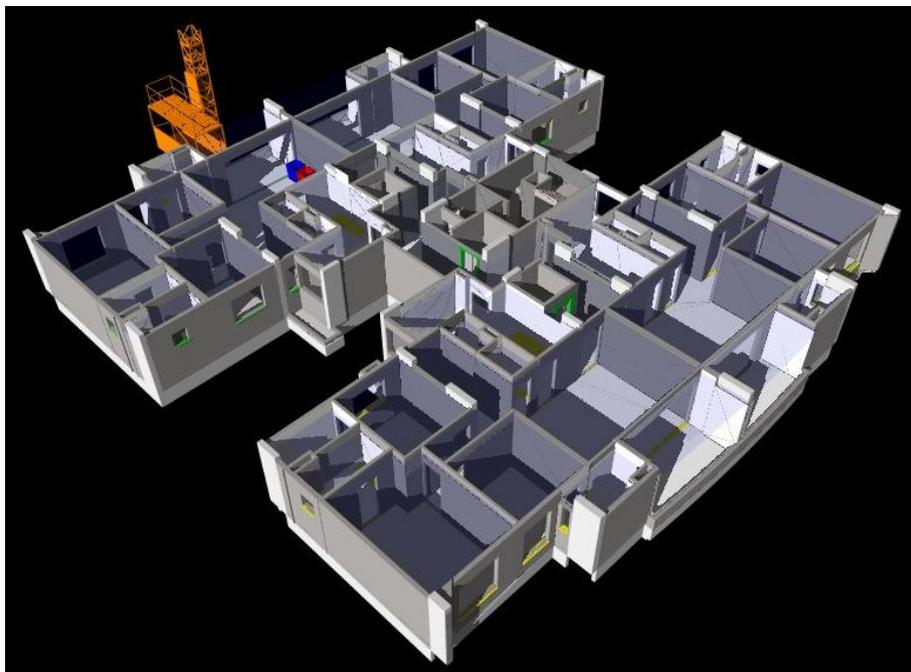


Figura 46 – Assentamento de Mármore e Granitos

Em seguida, deu-se início ao assentamento de soleiras, bancadas, peitoris e portais em mármore e granito. Considerando que os elementos possuem uma dimensão pouco expressiva dentro do pavimento, escolheu-se representá-los pelas cores verde e amarela, de modo análogo ao contrapiso. A Figura 46 retrata claramente

essa situação, já que os elementos dos apartamentos da frente (colunas 01 e 02) aparecem representados em amarelo (aspecto final), enquanto que os elementos dos apartamentos do fundo (colunas 03 e 04) ainda aparecem em seu aspecto de execução. Percebe-se que os portais de elevador já estão em execução, indicando que as portas de elevador já foram instaladas. Apesar de não ter sido representado, a montagem dos elevadores foi considerada no planejamento das atividades, pois sua conclusão é predecessora para a desmobilização dos elevadores cremalheira.

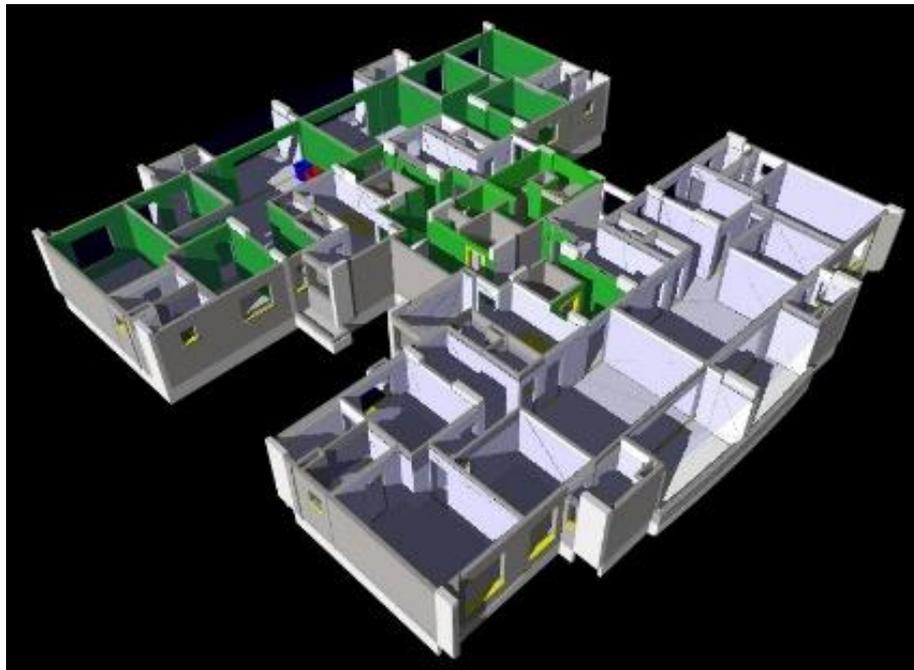


Figura 47 – Primeira demão de pintura

A primeira demão de pintura, contemplando as duas demãos de massa PVA, o lixamento e a primeira demão de tinta PVA branca, está representada pela Figura 47. Nota-se que, nesse momento, já não há mais elevador cremalheira no pavimento tipo em questão; indicando que os elevadores definitivos do empreendimento já se encontram em operação.

Após a primeira demão de pintura, as esquadrias já podem ser instaladas, conforme ilustrado pela Figura 48. Esse serviço é de extrema importância, pois garante a estanqueidade do pavimento; permitindo que se dê terminalidade aos serviços de acabamento. As portas em madeira (Figura 49), por exemplo, só devem ser assentadas após a instalação das esquadrias.

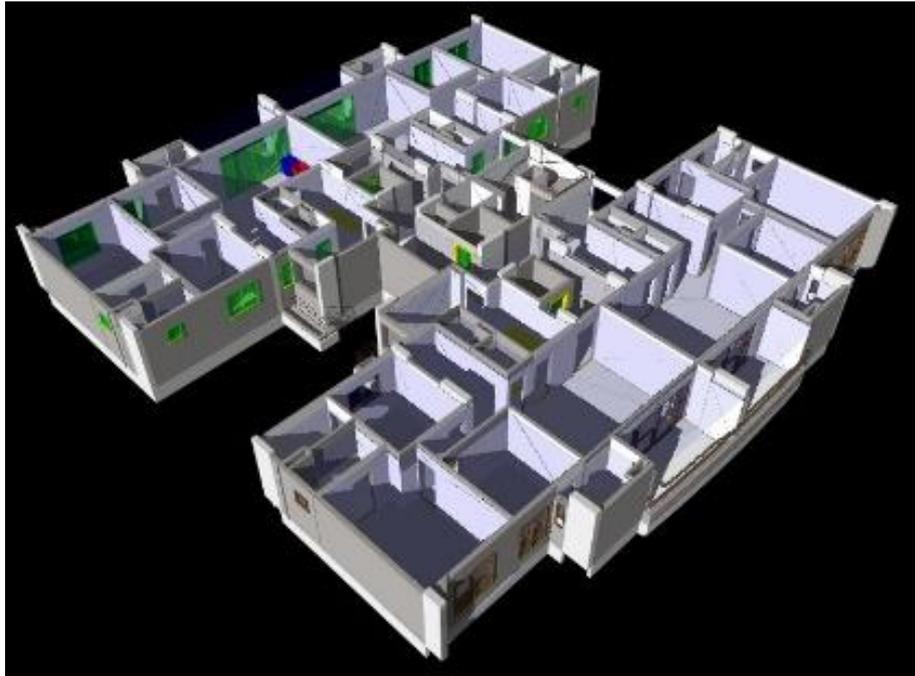


Figura 48 – Instalação de esquadrias de alumínio



Figura 49 – Assentamento de portas em madeira

Por fim, executa-se a última demão de pintura – representada pela Figura 50 – e as revisões de fechamento dos apartamentos. Após conclusão desses serviços, obtém-se o cenário retratado pela Figura 51: a conclusão do pavimento. Nota-se que todas as esquadrias e acabamentos já estão executados e, apesar das diversas cores

utilizadas para representar os serviços ao longo de sua execução, o aspecto final do pavimento condiz com o que foi modelado.

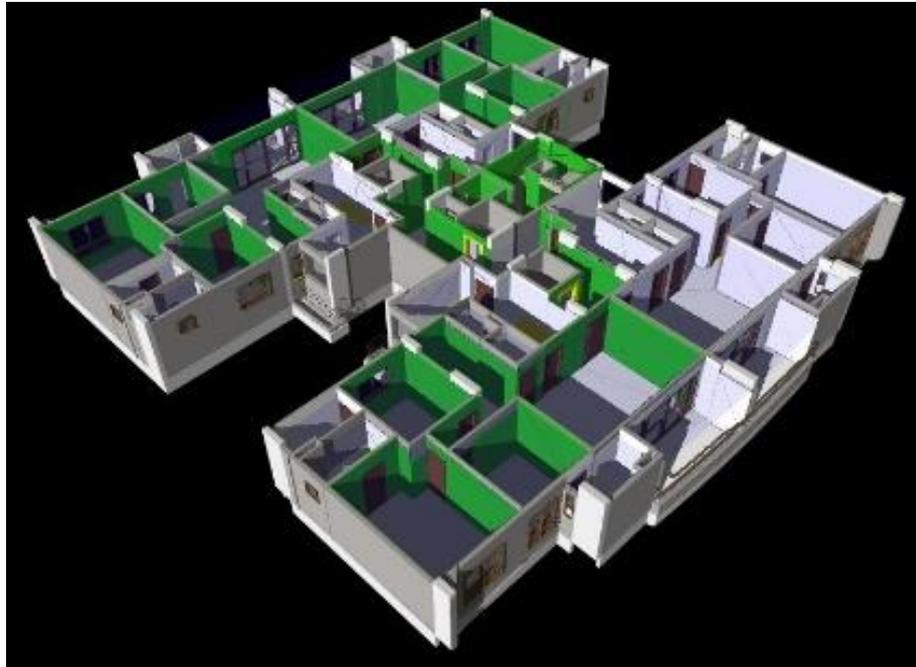


Figura 50 – Segunda demão de pintura

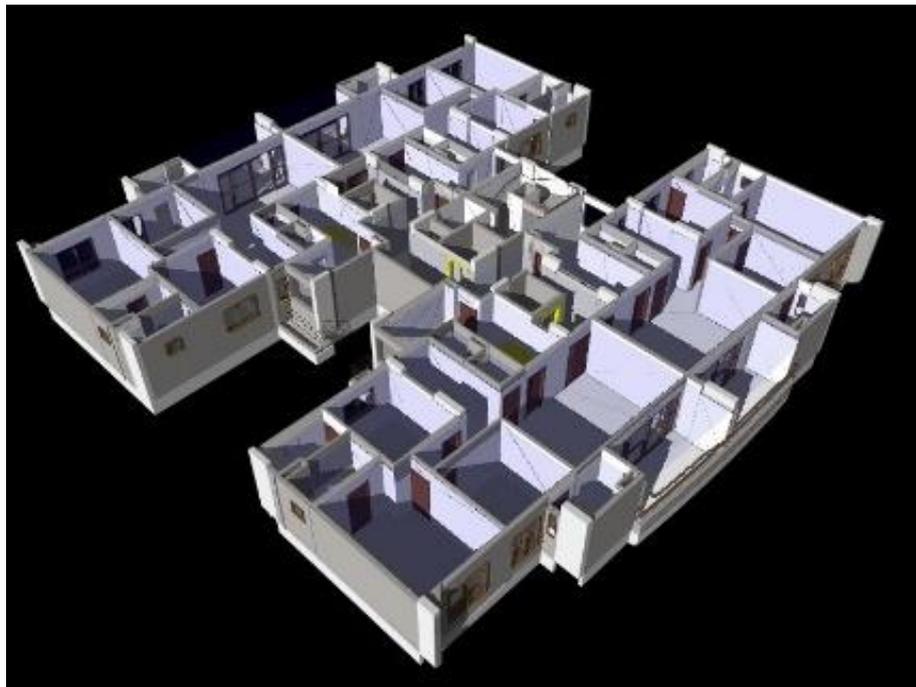


Figura 51 – Pavimento concluído

5.4. ANÁLISE DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO MODELO 4D

A principal informação de um modelo BIM é seu escopo. Portanto, deve ser o primeiro item a ser discutido e definido. No caso do modelo construído para este trabalho, o escopo inicial era a visualização e compatibilização dos projetos. Portanto, as informações foram inseridas de um modo que dificultou alguns processos da elaboração do 4D, como o caso da divisão da primeira fiada de alvenaria.

A definição do escopo inicial permite leva à definição do LOD desejado. É importante que, ao adotar um LOD, se tenha em mente quais informações deverão ser levantadas para que se atinja o objetivo. Caso o modelo seja elaborado muito cedo, algumas definições podem não estar disponíveis; o que leva à falta de informações ou até mesmo inserção de dados incoerentes. De qualquer modo, o resultado final do modelo será comprometido.

No caso abordado neste trabalho, as informações referentes aos processos envolvidos na maioria dos serviços já haviam sido definidas; o que facilitou a construção do modelo. Contudo, aguardar um momento em que todos os dados já estejam disponíveis para iniciar a modelagem pode acarretar em atrasos na aplicação prática do modelo. Assim, o método mais eficaz acaba sendo uma mescla de um modelo inicial – elaborado com um LOD inferior – com um modelo final, atualizado continuamente e retroalimentado com as informações definidas mais próximas à execução.

Outro ponto importante é a integração dos processos envolvidos na construção do modelo. Um exemplo claro retirado deste estudo é a necessidade de ajuste da EAP para se adequar à divisão dos pacotes de trabalho. Considerando que o planejamento base não continha em seu escopo o detalhamento de atividades por dia, tampouco a associação a um modelo BIM, a comunicação entre EAP e modelo não ocorreu naturalmente. Desse modo, pode-se constatar que há a necessidade de integrar os diversos processos que compõem o ciclo de vida do projeto, de modo que haja comunicação entre eles. Os mesmos conceitos fundamentais ao BIM, como definição de escopo e nível de desenvolvimento, devem ser estendidos aos demais processos.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O estudo mostrou a integração do planejamento da obra aos elementos construtivos presentes em um modelo tridimensional, caracterizando a construção de um modelo 4D.

Além do próprio modelo, foram obtidos como produtos desse estudo dois vídeos representando o planejamento executivo do pavimento tipo: o primeiro abordando os principais serviços e o segundo focado no estudo realizado para a alvenaria. Outro produto interessante é a geração de projetos para proteções coletivas e para alocação de materiais e equipamentos.

Foram identificados benefícios referentes ao uso do BIM como ferramenta na gestão da obra. Dentre elas, deve ser dado destaque à transparência, tanto na análise do planejamento quanto na transmissão dessas informações para outros integrantes. Os principais resultados obtidos com esse trabalho são abordados a seguir.

• PROCEDIMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE UM MODELO 4D

O procedimento concebido, avaliado e adotado para construção do modelo foi apresentado de forma sucinta no capítulo anterior. O registro desse procedimento permite que o conhecimento obtido neste trabalho sirva de base para outros trabalhos.

• PROJETOS DE PROTEÇÃO COLETIVA

A modelagem de elementos de proteção coletiva realizada neste trabalho gerou, com relativa facilidade, projetos para execução dessas atividades. Um exemplo prático está abordado pela paginação de guarda-corpos metálicos. Estes elementos – cuja modulação possui dois metros de comprimento – foram modelados no padrão utilizado pela construtora (tubos metálicos amarelos, com travessa central, rodapé de 20 cm e tela soldada). Dessa forma, para a construção do modelo foi necessária uma paginação desses elementos. O projeto foi gerado em Revit e exportado para PDF.

• PROJETO DE ALOCAÇÃO DE PALLETS DE BLOCO

Após o estudo de logística referente aos *pallets* de bloco de concreto, foi gerado um projeto de alocação desses elementos. O projeto, de modo análogo ao de guarda-corpos, foi elaborado em Revit e exportado para PDF. Desse modo, as equipes de produção poderão distribuir os blocos de concreto antes do início da marcação de

alvenaria – reduzindo a demanda por atividades de transporte – e saber qual deve ser a sequência de utilização.

•RELAÇÃO DIRETA ENTRE PLANEJAMENTO E COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO

Um dos maiores desafios de elaborar um planejamento é, analisando plantas bidimensionais, estabelecer uma relação imaginária entre os elementos que compõem a construção e as atividades programadas, geralmente via CPM. A grande questão que circunda essa análise é a falta de uma relação direta entre o planejamento e os componentes da construção, que torna o processo complexo e suscetível a falhas.

A análise do modelo 4D, por sua vez, permite que se visualize detalhadamente as atividades em execução ao longo de cada hora, dia, semana ou mês. Conseqüentemente, a interpretação desse planejamento se torna muito mais visual do que conceitual; reduzindo consideravelmente a complexidade e aumentando sua assertividade.

•TRANSPARÊNCIA

Em acordo com o conceito de transparência, a capacidade de transmitir as informações sobre a sequência executiva para os demais integrantes da obra, utilizando o modelo 4D, provou-se eficaz. Com esse recurso, a comunicação entre equipes se funda sobre a percepção visual; em vez de uma interpretação conceitual e acerca de que se diz.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta uma contribuição na disseminação do uso do BIM, que, apesar de discutido há mais de 15 anos em outros países, ainda se apresenta de forma tímida no Brasil. O estudo de caso foi focado em um pavimento tipo, por entender que este representa a repetição dentro de um empreendimento.

Esse estudo permitiu compreender melhor o processo de construção de um modelo em BIM, associado ao planejamento. Ao abordar os processos de um pavimento tipo, a modelagem exigiu um nível de desenvolvimento maior; justamente por se tratar de um objeto de escala menor dentro do contexto da obra. Dessa forma, chegou-se à conclusão de que quanto mais se eleva o nível de desenvolvimento de uma modelagem 4D, mais real se torna a representação da construção. Contudo, esse detalhamento deve ser elaborado com cautela, pois se trata de questões cruciais para o bom andamento de uma obra, como planos de logística, dimensionamento de equipes e planos de ataque.

Outro ponto importante é a assertividade das informações. Por conter dados referentes a processos executivos, a participação de integrantes diretamente ligados à produção – principalmente os encarregados – torna-se fundamental, pois existem fatores que teriam sido ignorados sem a contribuição de quem faz do campo seu cotidiano.

A construção de um modelo BIM e sua aplicação a uma obra traz diversos benefícios, dentre os quais se destaca a transparência na transmissão de informações. No entanto, essa ferramenta deve ser implantada de forma consciente, mantendo sempre em mente que a qualidade do produto final está diretamente relacionada com a assertividade das informações inseridas. Por isso, ao implantar o BIM, é fundamental que se tenha claro o conceito de que o modelo é apenas uma forma de representação. A elaboração de estudos de dimensionamento de equipes, logística e plano de ataque dispensa o uso do BIM, porém este proporciona uma poderosa forma de representar seus resultados.

Por meio deste trabalho, foi possível compreender que a implantação do BIM em uma empresa não pode ser imposta – tampouco realizada de modo abrupto. Deve ser uma mudança de cultura, conscientizando os envolvidos no processo de que o BIM não é a solução para todos os problemas e de que sua função não é uma modelagem

meramente visual. Trata-se de uma ferramenta com parametrização e interoperabilidade, ou seja, um protótipo virtual do empreendimento; em todas as suas fases.

- **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

As sugestões para trabalho futuro são:

- Avaliar a aplicação de um modelo 4D para controle do planejamento e sequencia executiva dentro do ciclo das atividades;
- Aplicar o nível de desenvolvimento estudado neste trabalho para modelos de maior escala;
- Estudar o uso do BIM para elaborar e transmitir a programação semanal de serviços em obras, avaliando a transparência em sua aplicação;
- Avaliar a aplicação de um modelo 5D envolvendo custo por fases, incluindo elementos de canteiro, visando à alimentação de dados ao estudo de viabilidade do empreendimento.
- Avaliar a aplicação de um modelo 6D envolvendo manutenção e inspeções dos elementos de canteiro.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L. **Planejamento empresarial**. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 1976. 114p.
- ADDOR, M.; CASTANHO, M. *et al.* **Colocando o “i” no BIM**. Revista eletrônica de arquitetura e urbanismo, 4. ed., 2010. Disponível em: <www.usjt.br/arq.urb>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. **BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências**. In: *Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído (SBQP)*, 9, 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos: 2009.
- AOUAD, G. *et al.* **Developing a vision of nD-enabled construction**. *Salford Centre for research & innovation*, Salford, 2003.
- ARAÚJO, T. T.; HIPPERT, M. A. S.; ABDALLA, J. G. F. **Diretrizes para elaboração de Projetos de Manutenção usando a tecnologia BIM**. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, X., nov 2011. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011
- AUTODESK. **Ajuda do Autodesk Navisworks Simulate 2014**. Disponível em: <<http://docs.autodesk.com/>> Acesso em: 07/09/2013.
- AYRES, C.; SCHEER, S. **Diferentes Abordagens do Uso do CAD no Processo de Projeto Arquitetônico**. In: VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2007, Anais... Curitiba - PR. VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2007
- AZEVEDO, O. J. M. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na Direção Técnica de Obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- BALLARD, G. **Lookahead planning: the missing link in production control**. In: Annual Conference On Lean Construction, 5., 1997, Gold Coast. **Anais...** Gold Coast, 1997.
- BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) – *School of Civil Engineering, Faculty of Engineering*. University of Birmingham, Birmingham.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. **Shielding production: an essential step in production control**. *Journal of Construction Engineering in Management*, v. 124, n.1, 1998.
- BEDRICK, J. **A Level of Development Specification for BIM Processes**. 2013. Disponível em: <www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_68.html>. Acesso em: 10 de agosto de 2013.
- BERNARDES, M. M. S. **Planejamento e controle da produção para empresas da construção civil**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.
- CHANG, H; CHEN, P.; KANG, S. **Systematic procedure of determining an ideal color scheme on 4D models**. *Advanced Engineering Informatics*, Taipei, Taiwan, 2009
- DANG, D.T.P.; TARAR, M. **Impact of 4D modeling on construction planning process**. 2012. Thesis (Master of Science) – *Chalmers University of Technology*, Göteborg, Sweden.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2ª ed. Hoboken: Wiley, 2011.

FARIA, Renato. **Construção integrada**. Revista Técnica. São Paulo: Pini, n. 127, p. 44-49, out. 2007.

FAUCHIER, D.; ALVES, T. C. L. **Last planner system is the gateway to lean behaviors** In: International Summit of the International Group for Lean Construction, 21, 2013. **Anais...** Fortaleza, 2013.

FORMOSO, C. **Planejamento e Controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre, NORIE, UFRGS, 2001.

FORMOSO, C. T., SANTOS, A. d. e POWELL, J. **An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites**. Journal of Construction Research, 2002.

GRAPHISOFT. **Open BIM: why should I change from CAD to BIM?** Disponível em: <http://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/about_bim> Acessado em 13 nov. 2013

HENDRICKSON, C. **Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders**. Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2008

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations**. New York: Mac Graw Hill, 2008.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1º ed. São Paulo. PINI, 2010.

MCPHEE, A. **What is this thing called LOD?** Practical BIM, 01 mar 2013. Disponível em: <<http://practicalbim.blogspot.com.br/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>>. Acesso em 12, out, 2013

OWEN, R.L. *et al.* **Integrated Design & Delivery Solutions Research Roadmap Report**. *International Council for Research Innovation in Building and Construction*, n.373, 2012.

PAPAMICHAEL, K. **Application of information technologies in building design decisions**. *Building Research & Information*, v. 27, n. 1, p. 20-34, 1999.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um Guia de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos: Guia PMBoK**. Project Management Institute, Inc. 4ª Ed. Pennsylvania, 2008.

RENDERBLOG. **BIM: a evolução do CAD**. 20 jul. 2011. Disponível em: <<http://blog.render.com.br/diversos/bim-a-evolucao-do-cad/>> Acessado em 30 nov. 2013

REVISTA AU, edição nº 208. São Paulo, Editora Pini. Julho 2011

RIEPER, M. **Gráfico de Gantt no Excel – Gráfico de Barra Empilhada**. 30 jun. 2011. Disponível em: < <http://guiadoexcel.com.br/grafico-de-gantt-no-excel-grafico-de-barra-empilhada>> Acesso em 15 out. 2013.

ROCHA, F. E. M.; HEINECK, L. F. M.; RODRIGUES, I.T.P.; PEREIRA, P. E. **Logística e Lógica na Construção Lean**; Fortaleza, 2004.

SAMPAIO, A. Z., GOMES, A. M., GOMES, A. R., ROSÁRIO, D. P. **Building Maintenance Activity Supported in Virtual Interactive Models: Façades and Interior Walls**. In: XII

DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2011, Porto, Portugal. **Anais...** Porto, 2011.

SANTOS, R. **Caminho Crítico**. 19 dez. 2011. Disponível em: <http://www.rafael-santos.net/2011/12/caminho-critico.html> > Acessado em 30 set. 2013.

SILVEIRA, S. J.; GÓMEZ, L. A.; JUNGLES, A. E. **Metodologia para interoperabilidade entre softwares de planejamento e de visualização gráfica para o desenvolvimento do planejamento 4D**. In: ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2006.

SILVEIRA, N. A. N. C. **O papel do BIM para a qualidade do projeto**: avaliação da técnica em escritório de arquitetura. Monografia apresentada ao curso de especialização em construção civil da escola de engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2013.

TOBIN, J. Proto-Building: **To BIM is to Build**. AECbytes, 28 mai. 2008. Disponível em: < <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding.html> > Acesso em: 21, out. 2013.

VALENTE, R.C. **Implantação de práticas de transparência visando melhorias nos processos de planejamento, orçamento e qualidade das obras**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) - Escola Politécnica Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.