UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JÚLIA ANDRADE STEIN
LIVIA GOMES DE AZEVEDO

ANÁLISE QUALITATIVA DA APLICAÇÃO DO BIM 4D DESENVOLVIDO NO NAVISWORKS PARA O PLANEJAMENTO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA

VITÓRIA
2021

JÚLIA ANDRADE STEIN
LIVIA GOMES DE AZEVEDO

ANÁLISE QUALITATIVA DA APLICAÇÃO DO BIM 4D DESENVOLVIDO NO NAVISWORKS PARA O PLANEJAMENTO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profª Drª Karla Moreira Conde

VITÓRIA
2021

JÚLIA ANDRADE STEIN
LIVIA GOMES DE AZEVEDO

ANÁLISE QUALITATIVA DA APLICAÇÃO DO BIM 4D DESENVOLVIDO NO NAVISWORKS PARA O PLANEJAMENTO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profª Drª Karla Moreira Conde.

Vitória, 12 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Drª. Karla Moreira Conde
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Profª. Drª. Luciana Aparecida Netto de Jesus
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

Prof. Dr. Milton Paulino da Costa Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pelo dom das nossas vidas, por ter nos guiado durante toda nossa jornada e por ter nos proporcionado chegar ate aqui.

Às nossas famílias - aos nossos pais, irmãos e irmãs, por todo o apoio durante essa caminhada e incentivo nas horas mais difíceis. Vocês são as nossas bases e peças essenciais nas nossas vidas.

Aos nossos amigos de faculdade, pelo companheirismo e por terem feito esse caminho ser muito mais fácil e prazeroso. Também, aos amigos de vida, que sempre estiveram do nosso lado, pela amizade incondicional e por toda cumplicidade durante essa etapa.

Às empresas que nos forneceram os recursos e materiais necessários para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores, por todos os ensinamentos que levaremos conosco em nossa profissão, em especial, à nossa orientadora, Profª. Drª. Karla Moreira Conde, pela disponibilidade, pela confiança depositada em nós e pela disposição em nos ajudar a desenvolver essa pesquisa.

Por fim, agradecemos à universidade, que ao longo da nossa formação nos proporcionou conhecimentos que nos permitiram chegar com êxito ao final desse ciclo.

RESUMO

O BIM engloba capacidades multidimensionais, dentre elas a terceira e a quarta dimensões. Para o desenvolvimento dos projetos de cada disciplina e detecção de interferências, utiliza-se a dimensão 3D do BIM. Adicionando-se o tempo ao modelo 3D, tem-se a quarta dimensão, que permite a visualização do empreendimento em diferentes fases da construção e a simulação de suas etapas construtivas, sendo conhecida como 4D do BIM. O BIM 4D tornou-se um recurso inovador que agrega vários benefícios se comparado às formas de representação gráfica de cronograma tradicionais. Assim, cria-se a necessidade, por parte das empresas, de contratar profissionais que trabalhem com BIM 4D, para se adequar às exigências do mercado. O presente trabalho teve o objetivo de desenvolver um modelo BIM 4D de um projeto de infraestrutura no *software* Navisworks, visando identificar os desafios, as soluções e os ganhos que essa ferramenta pode gerar. Utilizou-se como estudo de caso a modelagem BIM 4D das obras de reabilitação e duplicação de um trecho de 7,52 km da rodovia ES-010 que liga Jacaraípe a Nova Almeida. Verificou-se que o BIM 4D garantiu a otimização do trabalho, o aprimoramento e o aumento de precisão do planejamento, possibilitou a antecipação de tomadas de decisão para a fase de elaboração do projeto, o estudo da sequência dos trechos que serão trabalhados em obra e a validação da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e permitiu a visualização e correção de erros e a identificação de oportunidades de melhoria. Porém algumas limitações relacionadas ao Navisworks foram observadas, como a impossibilidade de adicionar legendas para identificar as cores das atividades, a diferença entre as cores escolhidas e as efetivamente exibidas na simulação e a desorganização do texto que informa as tarefas ativas na simulação, que o torna confuso e extenso.

Palavras-chave: BIM 4D; infraestrutura; Navisworks; planejamento de obra.

ABSTRACT

BIM comprehends multidimensional capabilities, including the third and fourth dimensions. For the development of each discipline's projects and interferences detection, the 3D dimension of BIM is used. Adding the factor time to the 3D model, there is the fourth dimension, which allows the visualization of the enterprise in different phases of the construction and the simulation of its constructive steps, being known as 4D of BIM. BIM 4D has become an innovate resource that adds several benefits compared to traditional scheduling's graphical representation. This creates the necessity, on the part of companies, to hire professionals who work with BIM 4D, to adapt to market requirements. This work had the objective to develop a BIM 4D model of an infrastructure project in Navisworks, aiming to identify the challenges, solutions and gains that this software can generate. It was used as a case study the BIM 4D modeling of the rehabilitation and duplication works of a 7,52 km stretch of the ES-010 highway that connects Jacaraípe to Nova Almeida. It was verified that BIM 4D ensured the optimization of the work, the improvement and the increase of construction planning, enabled the anticipation of decision-making for the design phase of the project, the study of the construction sequence and the validation of the Project Analytical Structure (EAP), allowed the visualization and correction of errors as well, and identification of opportunities for improvement. However, some limitations related to Navisworks were noted, such as the impossibility of adding captions to identify the colors of the activities, the difference between the colors chosen and those effectively displayed in the simulation and the desorganization of the text that informs the active tasks in the simulation, which makes it confusing and extensive.

Keywords: BIM 4D; infrastructure; Navisworks; construction planning.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 3
RESUMO 4
ABSTRACT 5
ÍNDICE DE FIGURAS 8
ÍNDICE DE TABELAS 11
ÍNDICE DE QUADROS 12
1 INTRODUÇÃO 13
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA 15
1.2 OBJETIVOS 16
1.2.1 Objetivos gerais 16
1.2.2 Objetivos específicos 16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 BIM 17
2.2 BIM 4D 22
2.2.1 Planejamento de obra 23
2.2.2 Ferramentas de representação de cronograma 24
2.2.3 Conceito de BIM 4D 26
2.2.4 Vantagens 28
2.2.5 Limitações e obstáculos 30
2.2.6 Aplicabilidades 31
2.2.7 *Softwares* de modelagem 4D 32
2.2.8 Fluxo de modelagem 4D no Navisworks 36
3 METODOLOGIA 46
3.1 DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE 47
3.2 SOFTWARES UTILIZADOS 51
3.3 SEQUÊNCIA DE TRABALHO 51
3.3.1 Etapa A: Desenvolvimento de cronograma no Project e no Excel 52
3.3.2 Etapa B: Modelagem 3D no Revit 53
3.3.3 Etapa C: Modelagem 4D no Navisworks 53
3.3.4 Etapa D: Análise da simulação e aprimoramento do planejamento 54

4 ESTUDO DE CASO 57

4.1 ETAPA A: DESENVOLVIMENTO DE CRONOGRAMA NO PROJECT E NO EXCEL 58

4.1.1 Desenvolvimento da simulação 4D da ordem de interdição e execução dos trechos 60

4.1.2 Desenvolvimento da simulação 4D da sequência de atividades 69

4.1.3 Cálculos das durações 78

4.2 ETAPA B: MODELAGEM 3D NO REVIT 89

4.3 ETAPA C: MODELAGEM 4D NO NAVISWORKS 89

4.4 ETAPA D: ANÁLISE DA SIMULAÇÃO E APRIMORAMENTO DO PLANEJAMENTO 90

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 94

5 CONCLUSÃO 99

REFERÊNCIAS 102

APÊNDICE 109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Os 25 usos do BIM definidos pelo *Computer Integrated Construction Research Program* (2011) com destaque para os usos mais comuns no Brasil 20

Figura 2 - Dimensões BIM do 3D ao 7D e seus diversos usos possíveis 21

Figura 3 – Exemplo de gráfico de Gantt 24

Figura 4 - Exemplo de rede PERT/CPM 25

Figura 5 - Exemplo de LOB 26

Figura 6 - Esquema de planejamento de obra utilizando CAD 4D 27

Figura 7 – Fluxo de modelagem BIM 4D 37

Figura 8 – Fases de modelagem e de análise do método de implementação de BIM 4D proposto por Borges (2019) 38

Figura 9 - Fase de modelagem 4D ampliada 39

Figura 10 - Solução de representação de atividades por cores 44

Figura 11 - Condições para definição da metodologia 46

Figura 12 - Projeto de pesquisa deste trabalho 47

Figura 13 - Mapa de situação da rodovia ES 010 48

Figura 14 - Mapa de situação do trecho onde se realizarão as obras 48

Figura 15 – Principais pontos de passagem do trecho 49

Figura 16 - Fluxo de planejamento 4D a ser aplicado no estudo de caso, com destaque para a etapa D 55

Figura 17 – Fluxo de implementação de ações corretivas no planejamento 56

Figura 18 - Croqui dos trechos 1 a 8 com identificação da ordem de execução 60

Figura 19 - Croqui dos trechos 9 a 16 com identificação da ordem de execução 60

Figura 20 - Vista 3D da via modelada no Revit em toda sua extensão (a) e com zoom aplicado (b) 62

Figura 21 - Modelo 3D reduzido da via 62

Figura 22 - Propriedades de um objeto no modelo 3D com destaque para o parâmetro CODIGO_TAREFA 63

Figura 23 - Texto exibido na simulação após configurações 63

Figura 24 - Simulação 4D de interdições 64

Figura 25 - Simulação 4D de interdições ajustada 65

Figura 26 - Estrutura do código das tarefas 68

Figura 27 - *Task Types* criados e cores associadas 69

Figura 28 - Solo existente sobreposto a calçada e revestimento a construir no modelo 3D 70

Figura 29 - Exemplos de aplicação dos filtros de fase nas vistas do modelo 3D 71

Figura 30 – Propriedades de um fragmento de revestimento asfáltico do modelo 3D que está associado a quatro diferentes tarefas 72

Figura 31 - Dia 1 da simulação 4D da EAP 73

Figura 32 – Dia 1 da simulação 4D da EAP revisada 74

Figura 33 – Captura da simulação onde se observa o problema gerado ao se exibir as tarefas-resumo separadas de suas subtarefas 75

Figura 34 - Texto da simulação após exclusão das tarefas-resumo e renomeação dos *Task Types* 76

Figura 35 – Comparação entre a cor marrom exibida no vídeo (a) e a cor marrom configurada (b) 77

Figura 36 - Vista 3D do empreendimento após incluir texto tridimensional para identificar os trechos 77

Figura 37 - Dia 1 da simulação 4D da EAP revisada pela segunda vez 78

Figura 38 - Dia 1 da simulação 4D do cronograma 89

Figura 39 - Exemplo de dia da simulação onde seria necessário interditar os dois sentidos da pista no trecho 9 91

Figura 40 - Dia 1 da simulação 4D do cronograma revisado 92

Figura 41 - Dia 1 da simulação 4D do cronograma revisado pela segunda vez 92

Figura 42 - Tarefa de drenagem longitudinal (vermelho) e recuperação de base das faixas externas (marrom escuro) ocorrendo ao mesmo tempo no trecho 3, no dia 03/06/2021 93

Figura 43 – Dia 03/06/2021 da simulação 4D do cronograma revisado pela terceira vez 93

Figura 44 - QR Code da simulação 4D 98

Figura 45 - Configuração do *Task Type* "Interdição" 109

Figura 46 - *Task Types* definidos no Navisworks 110

Figura 47 - Janela *Field Selector*, exibida no momento da importação do cronograma e utilizada para relacionar campos do cronograma no Project com campos da tabela do *TimeLiner* 111

Figura 48 - Aba *Data Sources* do *TimeLiner*, com destaque para a ferramenta *Refresh* 111

Figura 49 - Janela exibida quando selecionada a ferramenta *Refresh* 112

Figura 50 - Configuração de regra da ferramenta *Auto-Attach Using Rules* .113

Figura 51 – Janela *TimeLiner Rules* após a criação das quatro regras de associação de tarefas e objetos 113

Figura 52 - Janela *Simulation Settings* 114

Figura 53 - Janela *Overlay Text* e configurações aplicadas 115

Figura 54 - Janela *Animation Export*, exibida ao selecionar a ferramenta *Export Animation* 116

Figura 55 - Janela *Phasing* exibindo as sete fases de projeto criadas 117

Figura 56 - Exemplo de objeto do modelo 3D (contornado de vermelho) a ser criado na fase de Pavimentação e sem demolição prevista.....118

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Softwares utilizados no estudo de caso.....51
Tabela 2 - Cálculo do quantitativo da sinalização horizontal pela empresa N 80
Tabela 3 – Parte da tabela de quantidades da sinalização horizontal com os ajustes.....82
Tabela 4 - Cálculo do quantitativo de escavação e aterro feito pela empresa N 83
Tabela 5 - Tabela de quantidades do volume de corte e aterro do trecho a ser duplicado.....83
Tabela 6 - Colunas que fazem parte da tabela para cálculo de duração.....86
Tabela 7 - Adição da coluna de quantidade.....87
Tabela 8 - Parte da tabela do cálculo das durações.....88

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Benefícios relacionados ao uso do BIM 4D e recorrência na literatura de 2010 até 2017 29

Quadro 2 - Dificuldades relacionadas ao uso do BIM 4D e recorrência na literatura do período entre 2010 e 2017 31

Quadro 3 - Comparação de softwares de modelagem 4D 36

Quadro 4 - Exemplos de códigos (*Task ID's*) e nomes das tarefas a que se relacionam 40

Quadro 5 - Divisão do trecho total em cinco partes 57

Quadro 6 - Definição dos trechos de execução 58

Quadro 7 - Atividades a serem realizadas no trecho 8 59

Quadro 8 - Cronograma de interdições para simulação 4D 61

Quadro 9 - Comparação das listas de tarefas atualizada e original 66

Quadro 10 - EAP atualizada, com atividade de demolições para duplicação expandida 67

Quadro 11 - Fragmento da EAP incluindo as colunas de Código, Task Type e Predecessoras 68

Quadro 12 - Exemplo de tarefa-resumo e suas subtarefas 75

Quadro 13 - EAP atualizada, com atividade de sinalização horizontal e as suas subtarefas 79

Quadro 14 - Distribuição dos intervalos das estacas de acordo com cada trecho da obra conforme planejamento 81

Quadro 15 - EAP atualizada, com a tarefa-resumo de escavação e bota-fora do trecho a ser duplicado 82

Quadro 16 - Identificação dos serviços que compõem a drenagem longitudinal 85

Quadro 17 – Correlação entre as dificuldades percebidas no estudo de caso e as soluções recomendadas 97

1 INTRODUÇÃO

A metodologia de desenvolvimento de projetos de empreendimentos tem passado por um processo de evolução desde a década de 1970. Antigamente, tudo era feito manualmente, através de instrumentos físicos de desenho (réguas, lapiseiras, borrachas, etc.). Mas, na década de 1970, foi lançada a tecnologia de *Computer Aided Design* (CAD), ou desenho auxiliado por computador, que permitiu o uso de computadores como ferramenta para o desenvolvimento de projetos. A princípio, a tecnologia CAD permitia a representação somente em duas dimensões, mas, posteriormente, surgiu também a possibilidade de trabalho em três dimensões (DA COSTA; FIGUEIREDO; RIBEIRO, 2015).

O lançamento do CAD propiciou o surgimento de discussões sobre a criação de uma tecnologia computadorizada que permitisse, além de projetar o empreendimento graficamente em três dimensões, associar propriedades não gráficas aos elementos representados. Essas discussões se iniciaram em 1975 e culminaram no surgimento do *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção (EASTMAN *et al*, 2014).

O BIM é uma das mais promissoras metodologias da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Através dessa tecnologia, um empreendimento é construído de forma digital, gerando um modelo tridimensional que apresenta geometria exata e dados relevantes que dão suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos para sua realização (EASTMAN *et al*, 2014).

Sendo assim, o BIM possibilita a criação de um modelo digital de todas as especialidades de projeto integradas, compreendendo todo o ciclo de vida da edificação (AZEVEDO, 2009). Diversos são os usos do BIM e esse tipo de metodologia engloba capacidades multidimensionais, dentre elas a terceira e a quarta dimensões.

A dimensão 3D do BIM é entendida como a utilização do BIM para modelagem autoral, isto é, para o desenvolvimento de projetos de cada disciplina, bem como para a detecção de suas interferências. Na quarta dimensão, também conhecida como BIM 4D, tem-se a adição do componente tempo ao modelo 3D, que permite visualizá-lo em diferentes fases da construção e simular as suas etapas construtivas (CBIC, 2016c).

Dessa forma, com a utilização do BIM, os projetos são ricos em detalhes. Isso se dá não só devido à quantidade de informações que estão inseridas no modelo, como também pela parametrização e inteligência dos objetos BIM, o que torna automática a atualização de qualquer alteração em qualquer vista do modelo, contribuindo para eliminação de problemas referentes à escassez de informações nos projetos e aos erros e omissões (VASCONCELOS, 2010). Assim, os modelos BIM contam com um banco de dados que auxilia a equipe colaborativa dos projetos a tomar decisões e criar soluções (CAMPESTRINI *et al*, 2015).

Além disso, o BIM pode auxiliar na otimização do processo de planejamento de obra, solucionando dificuldades inerentes ao método tradicional através do BIM 4D (SILVA; CRIPPA; SCHEER, 2019). Por meio das simulações da construção geradas a partir do modelo BIM 4D, é possível verificar interferências, riscos de segurança e logística de pessoas e elementos no canteiro de obras, de modo a evitar surpresas durante a fase de execução, minimizar conflitos e problemas que só seriam notados

na obra e garantir maior assertividade no cumprimento dos prazos inicialmente propostos (BORGES, 2019).

Por esses motivos, a simulação da construção em BIM 4D é um recurso inovador que possui diversos benefícios em comparação às ferramentas tradicionais de representação gráfica de cronograma, como o gráfico de Gantt, a rede PERT/CPM e as linhas de balanço, uma vez que apresenta de forma clara informações tanto temporais como espaciais da construção, permitindo a compreensão do planejamento por todas as partes interessadas no empreendimento, facilitando a comunicação e gerando aprimorações no cronograma (EASTMAN *et al*, 2014; SILVA JÚNIOR, 2017).

A utilização de ferramentas BIM para o desenvolvimento do planejamento, no entanto, ainda está em crescimento na construção civil, e formas de potencializar seu uso além da função tridimensional estão sendo buscadas (GRUSKA *et al*, 2019). No entanto, a transição do uso do CAD para o BIM exige adaptações no fluxo de trabalho dos escritórios, se apresentando como uma das barreiras para adoção desse tipo de metodologia (SOUZA, AMORIM e LYRIO, 2009).

Como outros desafios, Freitas, Melhado e Cardoso (2018) citam: a dificuldade de encontrar famílias (objetos BIM) adaptadas às tendências construtivas brasileiras, a complexidade aliada ao alto custo de aquisição dos *softwares* BIM, a dificuldade de aprendizado de uso da metodologia e as faltas de mão de obra qualificada, de comunicação entre equipes de diferentes disciplinas de projeto e de normas acerca do tema.

Em relação ao BIM 4D, Silva, Crippa e Scheer (2019) citam, entre outros, a dificuldade e o grande consumo de trabalho excessivo para implementação, as falhas na automatização da comunicação entre os *softwares* e a desconsideração de tarefas como escavações, limpeza de terreno e fatores de risco externo como desafios enfrentados pelos profissionais e organizações da AEC que se tornam uma barreira à implementação da metodologia.

Contudo, o desenvolvimento da metodologia BIM no Brasil tem se mostrado promissor, dadas as diversas iniciativas que vêm sendo tomadas no Brasil para se alcançar essa evolução (FREITAS; MELHADO; CARDOSO, 2018). Como exemplo de iniciativa, cita-se a do governo federal, que criou, em 2017, o Comitê Estratégico de Implementação do BIM (CE-BIM), que tem como objetivo formular uma estratégia para impulsionar o uso do BIM no Brasil. Tal estratégia foi elaborada e chamada de Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Estratégia BIM BR) (BRASIL, 2018).

A Estratégia BIM BR propõe um cronograma de exigência de adoção de BIM nas obras públicas dividido em três fases. A primeira se inicia em 2021, quando serão exigidas a elaboração de modelos e quantitativos e a detecção de interferências entre os elementos em BIM. Na segunda, a partir de 2024, o BIM deverá ser adotado também para orçamentação e planejamento de obra. E na terceira, a partir de 2028, exigir-se-á uso do BIM adicionalmente no gerenciamento e na manutenção das obras. Dessa forma, espera-se aumentar em 10% a produtividade das empresas, reduzir em 9,7% os custos, aumentar em 10 vezes a adoção do BIM e elevar em 28,9% o PIB da construção civil (BRASIL, 2018).

Segundo Freitas, Melhado e Cardoso (2018), outras iniciativas para fomentar o BIM no Brasil incluem: os lançamentos da NBR 15965 – Sistema de classificação da informação da construção e da Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC; o subsídio oferecido pela CBIC - Câmera Brasileira da Industria da Construção, para a implementação da

metodologia; a realização, pela CBIC, do Evento Nacional da CBIC – Seminário BIM (2018) e dos dez eventos de capacitação de profissionais para a metodologia (2017); e a criação do seminário internacional BIM em 2010, realizado anualmente desde então pelo SindusCon-SP.

Além disso, a própria produção literária cumpre papel importante no ensino de utilização de *softwares* BIM e na demonstração da ferramenta por meio de estudos de caso, sendo importantes fomentadores da disseminação dessa metodologia. Entre os autores importantes para este estudo, destacam-se Borges (2019), Carreiró (2017), Dirweesh (2015), Velasco (2013) e Haymaker e Fischer (2001).

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

No Brasil, embora o BIM tenha sido introduzido em 2005 (ROTTA, 2017b), observa-se que essa filosofia de trabalho se encontra em seus estágios iniciais de adoção (MAGALHAES, 2019). Como já mencionado, Freitas, Melhado e Cardoso (2018) citam como motivos para isso, entre outros: a dificuldade de encontrar famílias (objetos BIM) adaptadas às tendências construtivas brasileiras; a complexidade dos softwares BIM, que gera dificuldade de aprendizado ou falta de interesse; a falta de comunicação entre equipes de diferentes disciplinas de projeto; e a dificuldade de reestruturar o fluxo de trabalho em todos os estágios de projeto, incluindo a execução.

Em outros países, como Chile, Reino Unido e Singapura, observa-se, desde o surgimento do BIM, um esforço governamental para disseminar sua utilização através de políticas de incentivo, conferindo ao BIM um tratamento estratégico (MAGALHAES, 2019).

Com isso, nota-se uma tendência de expansão do uso dessa metodologia de trabalho e destaca-se a importância da produção de estudos brasileiros acerca do tema, para conhecimento de empresas, de instituições acadêmicas e do poder público, além da população em geral, que se beneficia com os resultados de uma construção civil mais eficiente.

Apesar dos desafios da adoção do BIM no Brasil, o governo brasileiro tem dado atenção ao tema (MAGALHAES, 2019), o que se reflete, por exemplo, na criação da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil – Estratégia BIM BR (2018) pelo Comitê Estratégico de Implementação do BIM (CE-BIM). Essa estratégia estabelece, entre outras determinações, a exigência do uso de BIM 4D nas obras públicas, com prazo até 2024 (BRASIL, 2018).

Dessa forma, cria-se uma necessidade por parte das empresas de contratar profissionais que trabalhem com BIM 4D, para se adequar às exigências do mercado, sejam elas legais, por concorrência ou por demanda de projetos mais assertivos e obras mais previsíveis.

Além disso, o BIM 4D é uma alternativa eficiente para um planejamento mais assertivo, visto que, em comparação às ferramentas tradicionais, facilita a visualização do processo construtivo, evitando erros por falta de atenção ou inexperiência, que implicariam o surgimento de imprevistos e retrabalhos nas obras e, consequentemente, maior gasto de tempo e dinheiro (EASTMAN *et al*, 2014; MA; WEI; ZHANG, 2012).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

Objetiva-se, com esta pesquisa, desenvolver um modelo BIM 4D de um projeto de infraestrutura no *software* Navisworks de modo a identificar desafios, soluções e ganhos.

1.2.2 Objetivos específicos

De forma a cumprir o objetivo geral, serão definidos os seguintes objetivos específicos:

- Levantar as etapas da modelagem BIM 4D e todo o arcabouço necessário para a utilização do *software* Navisworks;
- Desenvolver modelo BIM 4D de um projeto de infraestrutura;
- Relatar as dificuldades e soluções adotadas ao longo do processo de modelagem 4D;
- Identificar os ganhos e as limitações da utilização do BIM 4D como ferramenta de representação do cronograma de obra de infraestrutura.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O primeiro expõe a relevância, a justificativa do estudo do tema e os objetivos gerais e específicos do trabalho.

No segundo, apresentam-se os conceitos e conhecimentos essenciais para desenvolvimento e compreensão da pesquisa. Os tópicos abordados são BIM e BIM 4D, nessa ordem. Em relação ao BIM 4D, são apresentadas a definição, as vantagens, as limitações e obstáculos, as aplicabilidades, os *softwares* e o fluxo de trabalho.

No terceiro capítulo, descreve-se a abordagem metodológica da pesquisa, onde será incluído um fluxo de trabalho com BIM 4D, elaborado com base na fundamentação teórica e que será validado através da aplicação no estudo de caso. Além disso, apresenta-se a unidade de análise do estudo de caso.

No quarto capítulo, apresenta-se o procedimento utilizado no estudo de caso, juntamente com os resultados obtidos e as discussões decorrentes dos mesmos, incluindo as vantagens e limitações observadas e oportunidades de melhorias recomendadas.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões desta pesquisa.

Por fim, apresentam-se as referências do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta os conceitos que respaldam esta pesquisa, utilizados na análise do estudo de caso e na proposição das recomendações projetuais. Inicia-se com a abordagem sobre o BIM, suas definições e conceitos, suas vantagens, aplicabilidades, limitações, obstáculos e algumas discussões acerca do seu nível de adoção no Brasil e as medidas que têm sido tomadas para disseminá-lo. Em sequência, são apresentados os conceitos relacionados ao BIM 4D, incluindo suas diferenças em relação às ferramentas tradicionais de planejamento de obra, vantagens, limitações e obstáculos, aplicabilidades, *softwares* de modelagem BIM 4D e, por fim, o detalhamento desse processo de modelagem com uso do *software* Navisworks. Os conceitos abordados a seguir inter-relacionam-se e, portanto, a organização do capítulo em itens não implica em sequência linear de conceitos, uma vez que são abrangentes, complexos, multidisciplinares e sistêmicos.

2.1 BIM

A sigla BIM vem do termo em inglês *Building Information Modeling,* que em português significa Modelagem da Informação da Construção. É possível encontrar diversas definições para esse termo.

Eastman *et al*. (2014, p.13) definem que BIM é “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Cho *et al.* (2011) complementam dizendo que é uma fusão da tecnologia na construção que pode aumentar a produtividade por meio da redução de materiais, tempos e custos da construção. Já para De Menezes (2011), o BIM é uma filosofia de trabalho que tem como produto um modelo virtual 3D associado a um banco de dados que guarda propriedades de seus objetos. Ao visualizar uma parede no modelo 3D, por exemplo, o banco de dados contém os tipos de bloco que a constituem, suas dimensões, o tipo de revestimento, os fabricantes, entre outros.

O BIM trabalha com o conceito de parametrização e inteligência relacionada aos seus objetos. Isso significa que os objetos BIM guardam informações de suas propriedades, de sua posição e de sua influência em relação a outros objetos BIM. Essas informações são importantes para estabelecer limites de modificações que o usuário pode fazer, caso estas sejam inadequadas. Por exemplo, uma janela BIM não pode ser colocada fora de uma parede, pois o *software* emite um aviso e impede o usuário de realizar esta ação. Além disso, quando o usuário aumenta as medidas da janela, por exemplo, automaticamente a parede hospedeira se ajusta, aumentando o espaço livre e permitindo o encaixe adequado da janela (CBIC, 2016a).

Alguns *softwares* do mercado anunciam oferecer soluções BIM 3D, mas, na prática, vendem soluções CAD 3D. Por isso, é importante saber as diferenças entre esses dois tipos de soluções para desenvolvimento de projetos, segundo CBIC (2016a), a exemplo de:

- *Softwares* de modelagem tridimensional que não permitem adicionar propriedades não geométricas aos objetos não são BIM;
- *Softwares* de modelagem tridimensional cujos objetos não são paramétricos e inteligentes acabam por dificultar quaisquer alterações

que precisem ser feitas, tornando o processo de modificações difícil, demorado e não automático, ao contrário de *softwares* BIM;

- Ao alterar um determinado objeto em uma vista em um *software* que não é BIM, as demais vistas não são atualizadas automaticamente. O processo de atualização das mesmas deve ser feito manualmente, gerando maior possibilidade de erros e gasto de tempo;
- Ao alterar uma propriedade de um objeto através de um recurso não gráfico de um *software* BIM, como listas, tabelas, planilhas, etc., a alteração será refletida automaticamente nas vistas do modelo, inclusive as vistas tridimensionais, as plantas baixas, as elevações, entre outras. Em outras palavras, os *softwares* BIM fazem o gerenciamento de bancos de dados integrados, ao contrário de *softwares* que não são BIM.

Com *softwares* BIM, também é possível realizar passeios virtuais (*walkthrough*s) dentro do modelo, permitindo a visualização e a análise do mesmo de forma mais precisa e efetiva em comparação ao método tradicional, em que a revisão do projeto é realizada por meio de desenhos em 2D (SILVA JÚNIOR, 2017).

É de suma importância compreender o conceito das dimensões do BIM. Segundo Campestrini *et al*. (2015, p. 31) “quanto mais dimensões tiver o modelo, maiores serão os tipos de informações possíveis de serem modeladas a partir deles, tornando as tomadas de decisão mais complexas e acertadas.”

Um modelo com três dimensões ou 3D é um modelo que contém informações espaciais (ou geométricas) e qualitativas (ou não geométricas) dos elementos do projeto. Do mesmo, é possível extrair dados de forma automatizada, como, por exemplo, especificações e quantitativos de materiais (CAMPESTRINI *et al.*, 2015; CBIC, 2016a).

Um modelo BIM 4D, por sua vez, é gerado ao se introduzir informações de prazo ao modelo BIM 3D, como a produtividade das equipes de produção, o número de equipes e a sequência construtiva. Desse modelo, é possível extrair informações sobre o cronograma da obra, como as datas de início e fim de cada atividade e as configurações espaciais do canteiro a cada etapa da execução (CAMPESTRINI *et al.*, 2015).

Associando-se o fator custo aos objetos do modelo, tem-se um modelo BIM 5D, assim, pode-se gerar um orçamento e uma representação do custo da construção ao longo do tempo. Como benefícios, listam-se a redução do tempo gasto para elaboração do orçamento, o aumento da confiabilidade do mesmo (KAMARDEEN, 2010) e a possibilidade da comparação de custos entre várias alternativas de materiais e tecnologias, resultando em economia (CZMOCH; PĊKALA, 2014).

Sobre BIM 6D e BIM 7D, encontram-se opiniões divergentes na literatura. Para Czmoch e Pękala (2014), o BIM 6D é aplicado em estudos de consumo de energia e proteção do meio ambiente, enquanto o BIM 7D é utilizado na gestão do edifício, através da adição ao banco de dados do tipo, da especificação, da data da próxima manutenção ou substituição, do período de garantia e do tempo de consumo dos elementos, incluindo equipamentos (como lâmpadas e aquecedores) e itens de construção, estrutura e acabamento. Já para Hardin e McCool (2015) consideram o contrário: 6D é a dimensão que auxilia a gestão do edifício, ao passo que o 7D se destina ao estudo da sustentabilidade do projeto.

Por último, ao fornecer ao banco de dados do modelo BIM informações relacionadas à segurança dos trabalhadores na obra, Kamardeen (2010) introduz o conceito de BIM 8D. Nessa dimensão, estuda-se o modelo para elaborar um perfil dos riscos a que serão submetidos os trabalhadores durante a execução. Em seguida, aplicam-se soluções para mitigar os riscos sem deixar de atender aos requisitos do projeto. Os riscos que não puderem ser mitigados através do projeto são informados aos contratantes para que sejam tomadas as medidas cabíveis no canteiro.

Segundo Rotta (2017a), desenvolver um projeto em BIM pode exigir um investimento adicional de até 20% comparado ao método convencional. No entanto, o seu custo-benefício é significativo quando se consideram os erros e incompatibilizações presentes nos projetos convencionais. O BIM permite a visualização de incompatibilidades no modelo, dessa forma, garante a antecipação de problemas e a redução de erros de projeto, conferindo maior produtividade e economia na construção. Se esses erros são detectados na fase de construção, é preciso interromper a obra e adequar o projeto, o que aumenta os gastos (ALVES *et al*., 2019; KAMARDEEN, 2010; MARTINS, 2017; ROTTA, 2017a). Com isso, estima-se uma redução de 9,7% dos custos totais da obra graças ao BIM (BRASIL, 2018).

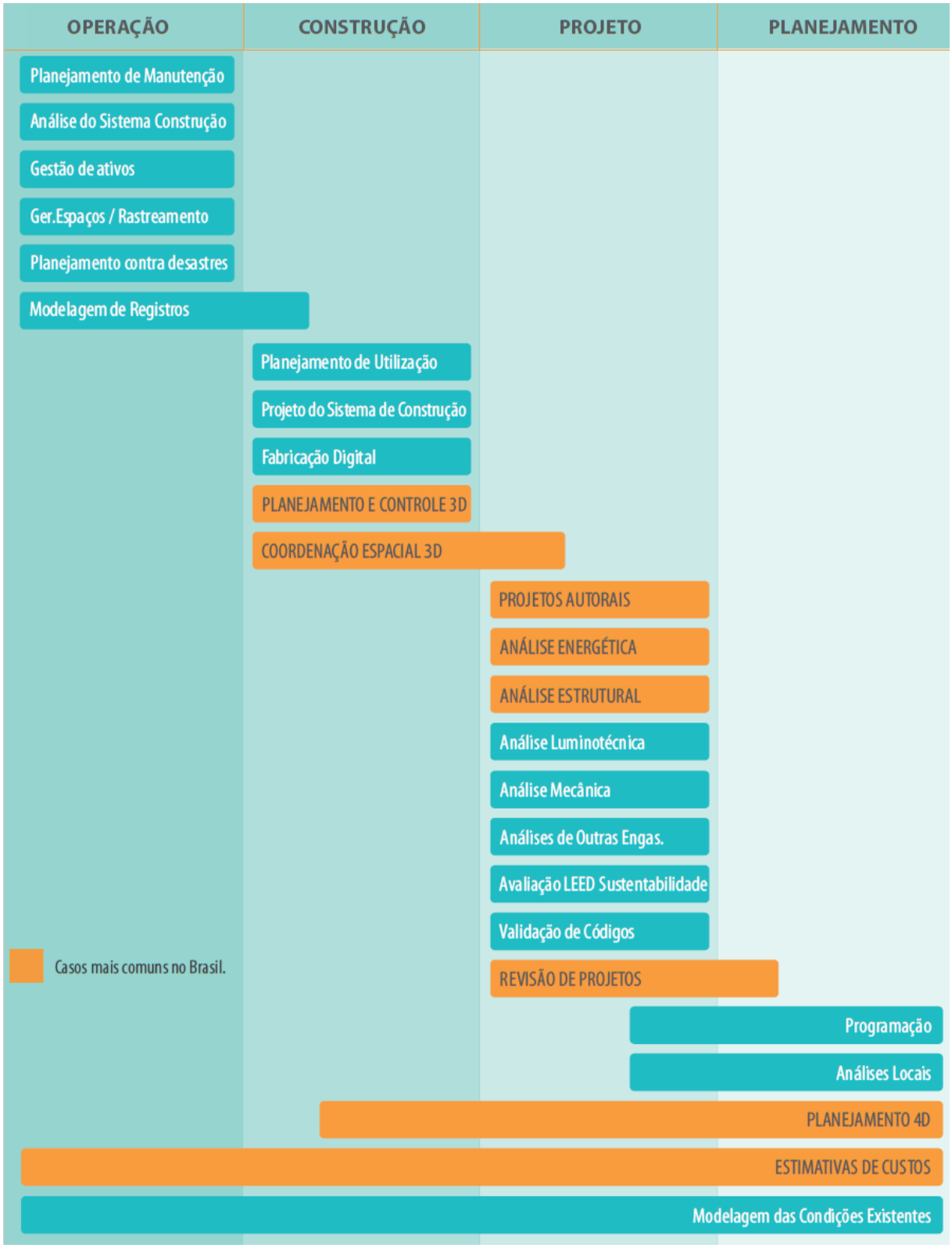
Como vantagens, o BIM melhora a comunicação e a cooperação entre os diversos agentes envolvidos no desenvolvimento do projeto, facilita o trabalho do gestor do edifício (ou *facility manager*), auxilia o planejamento e orçamento da construção, aumenta a qualidade dos projetos e melhora a visualização dos mesmos, dissipando dúvidas e erros de leitura e interpretação (MARTIS, 2017).

Existe um grande leque de tarefas que podem ser executadas com maior assertividade e eficiência caso haja a incorporação do BIM. Dessa forma, essa metodologia de trabalho é muito abrangente, pois pode beneficiar equipes com diferentes objetivos, contemplando todas as fases do ciclo de vida da edificação (COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2011).

Os usos do BIM são documentados pelo *Computer Integrated Construction Research Program* (2011), e é de suma importância identificá-los logo no início do projeto. Para isso, devem-se considerar as características do projeto e os objetivos e habilidades da equipe.

O *Computer Integrated Construction Research Program* (2011) identificou 25 possíveis usos do BIM, ilustrados na Figura 1, onde foram divididos entre as diversas fases do ciclo de vida da edificação. Dentre eles, segundo CBIC (2016b), os mais comuns no Brasil são o planejamento e controle 3D, a coordenação espacial 3D, os projetos autorais, a análise energética, a análise estrutural, a revisão de projetos, o planejamento 4D e as estimativas de custos.

Figura 1 - Os 25 usos do BIM definidos pelo *Computer Integrated Construction Research Program* (2011) com destaque para os usos mais comuns no Brasil



Fonte: CBIC (2016b)

As empresas, quando iniciam a implementação do BIM em suas operações, devem primeiramente identificar as principais fases do ciclo de vida da edificação onde atuam. Se a empresa for uma construtora, por exemplo, provavelmente identificaria a

fase de construção. Assim, para a mesma, interessaria desenvolver um modelo com foco em execução da obra, que possa simular todas as fases do canteiro e a logística da utilização dos equipamentos (CBIC, 2016b).

Seguindo essa lógica, Freitas, Melhado e Cardoso (2018) pontuaram possíveis usos do BIM para diferentes tipos de empresas, entre elas:

- Empresas de gerenciamento de projetos e obras: BIM para planejamento de prazos, logística de canteiro e redução de retrabalhos e custos;
- Empresas orçamentistas: planejamento de custos com extração de quantitativos;
- Empresas de demolição: gerenciamento de riscos, diminuição de custos e planejamento do sequenciamento da demolição;
- Empresas de pré-fabricados: compreensão aprofundada das peças a serem produzidas e das conexões das mesmas com os outros componentes da construção; treinamentos para as equipes de montagem.

Hughes (2013), ainda, observou a variedade de usos dessa metodologia de trabalho em níveis de dimensões BIM (Figura 2), reforçando a abrangência dessa ferramenta.

Figura 2 - Dimensões BIM do 3D ao 7D e seus diversos usos possíveis

Fonte: Adaptado de Hughes (2013)

No Brasil, embora o BIM tenha sido introduzido em 2005 (ROTTA, 2017b), observa-se que essa filosofia de trabalho se encontra em seus estágios iniciais de adoção (MAGALHAES, 2019). Os motivos para isso foram investigados por Freitas, Melhado e Cardoso (2018), que os dividiram em cinco classificações:

- Desafios tecnológicos: interoperabilidade, dificuldade de encontrar famílias (objetos BIM) adaptadas às tendências construtivas brasileiras e complexidade e alto custo de aquisição dos *softwares* BIM;
- Desafios das equipes de trabalho: dificuldade de aprendizado, falta de mão de obra qualificada, falta de incentivos ao uso e resistência a mudanças;
- Desafios das organizações: falta de interesse, mau entendimento dos impactos da metodologia no fluxo de trabalho, necessidade de mudança cultural, tendência de uso superficial da ferramenta e falta de estímulos à adoção do BIM a nível nacional, partindo eles de instituições públicas ou privadas.
- Desafios de comunicação e gestão: falta de comunicação entre equipes de diferentes disciplinas de projeto, informalidade das relações sociais entre equipes e falta de normas acerca do tema.
- Desafios de processos: dificuldade de reestruturar o fluxo de trabalho em adaptação ao BIM e redefinir suas saídas (produtos). Além disso, o fluxo de elaboração de projeto é fragmentado e há uma segmentação da cadeia produtiva da construção.

Apesar dos desafios, “o governo e uma série de entidades e instituições estão conscientes da necessidade de evolução na velocidade de implementação do BIM” (MAGALHAES, 2019, p. 5), e isso se reflete em diversas iniciativas que vêm sendo tomadas no Brasil para se alcançar essa evolução (FREITAS; MELHADO; CARDOSO, 2018).

Como exemplo de iniciativa, cita-se a do governo federal, que criou, em 2017, o Comitê Estratégico de Implementação do BIM (CE-BIM), que tem como objetivo formular uma estratégia para impulsionar o uso do BIM no Brasil. Tal estratégia foi elaborada e chamada de Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Estratégia BIM BR) (BRASIL, 2018).

A Estratégia BIM BR propõe um cronograma de exigência de adoção de BIM nas obras públicas dividido em três fases. A primeira se inicia em 2021, quando serão exigidas a elaboração de modelos e quantitativos e a detecção de interferências entre os elementos em BIM. Na segunda, a partir de 2024, o BIM deverá ser adotado também para orçamentação e planejamento de obra. E na terceira, a partir de 2028, exigir-se-á uso do BIM adicionalmente no gerenciamento e na manutenção das obras. Dessa forma, espera-se aumentar em 10% a produtividade das empresas, reduzir em 9,7% os custos, aumentar em 10 vezes a adoção do BIM e elevar em 28,9% o PIB da construção civil (BRASIL, 2018).

São diversas as possibilidades e dimensões de BIM e, dado o enfoque deste trabalho, no item 2.2 será abordado o BIM 4D, destacando-se suas aplicações, vantagens e estratégias, seu nível de adoção e seus desafios.

2.2 BIM 4D

Neste item, serão apresentados os conceitos, as vantagens, as limitações, as aplicabilidades, os *softwares* disponíveis no mercado e os métodos de modelagem BIM 4D encontrados na literatura. Além disso, serão apresentados alguns métodos de planejamento tradicional de forma geral, com o objetivo de possibilitar a melhor

compreensão da evolução trazida pelo BIM 4D frente ao fluxo de planejamento de obra tradicional.

2.2.1 Planejamento de obra

Gehbauer (2002) define o planejamento de obra como a arte de planejar os trabalhos da obra antes que ela tenha início, o que inclui a escolha de métodos construtivos e meios de produção. Segundo Mattos (2010), o gestor da obra, isto é, o profissional responsável pelo gerenciamento da obra, utiliza o planejamento como ferramenta para priorizar ações, acompanhar serviços e comparar o estágio real da obra com o previsto, o que possibilita a tomada de providências em tempo hábil caso se detecte algum desvio.

Um planejamento inadequado pode causar males como frustração de prazo, estouros de orçamento, atrasos injustificados, indisposição do construtor com seu cliente e litígios judiciais para recuperação de perdas e danos (MATTOS, 2010).

Segundo Mattos (2010) o planejamento de obras é realizado em seis etapas: (1) identificação das atividades, (2) definição das durações, (3) definição das precedências, (4) montagem do diagrama de rede, (5) identificação do caminho crítico e (6) geração do cronograma com cálculo de folgas. Os próximos parágrafos detalham cada uma das etapas com base no mesmo autor.

No primeiro passo, identificam-se as atividades que integrarão o planejamento. Para fazer isso de maneira eficiente, sugere-se elaborar uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), que é uma estrutura que hierarquiza as atividades, decompondo-as em pacotes de trabalhos progressivamente menores à medida que o nível hierárquico diminui.

No segundo, definem-se as durações das tarefas, o que deve levar em conta a disponibilidade de recursos e as produtividades dos mesmos estabelecidas no orçamento. É um passo crucial, já que gera a integração orçamento-planejamento.

Em seguida, definem-se as dependências entre as atividades, que geram a sequência de atividades. Para isso, para cada atividade, são atribuídas tarefas predecessoras imediatas, ou seja, tarefas cujas conclusões são condições para que a atividade em questão possa ser desempenhada.

Em quarto lugar, monta-se o diagrama de rede, que é uma representação gráfica das atividades e suas dependências lógicas, descrevendo o fluxo de execução do projeto. Ele permite a visualização clara das inter-relações entre as atividades, sendo uma ferramenta típica para a análise de alternativas e o estudo de simulações.

No quinto passo, identifica-se o caminho crítico, isto é, dentre os possíveis conjuntos de atividades que ocorrem em sequência, o caminho crítico é aquele conjunto que possui a duração mais longa. Dessa forma, as atividades desse conjunto são chamadas de atividades críticas, e elas recebem esse nome porque, caso sejam executadas em tempo diferente do previsto, acabam por alterar o prazo total da obra, tornando-as um ponto que deve receber atenção especial.

Por último, tem-se o cronograma, que é o produto principal do planejamento. Além disso, determinam-se as folgas, que são os períodos de que as atividades podem dispor além de sua duração. Devem ser calculadas para cada uma das atividades do cronograma. Dessa forma, as atividades não críticas são capazes de

“flutuar” dentro do prazo total disponível para sua realização, pois elas possuem mais tempo disponível para sua execução do que sua própria duração.

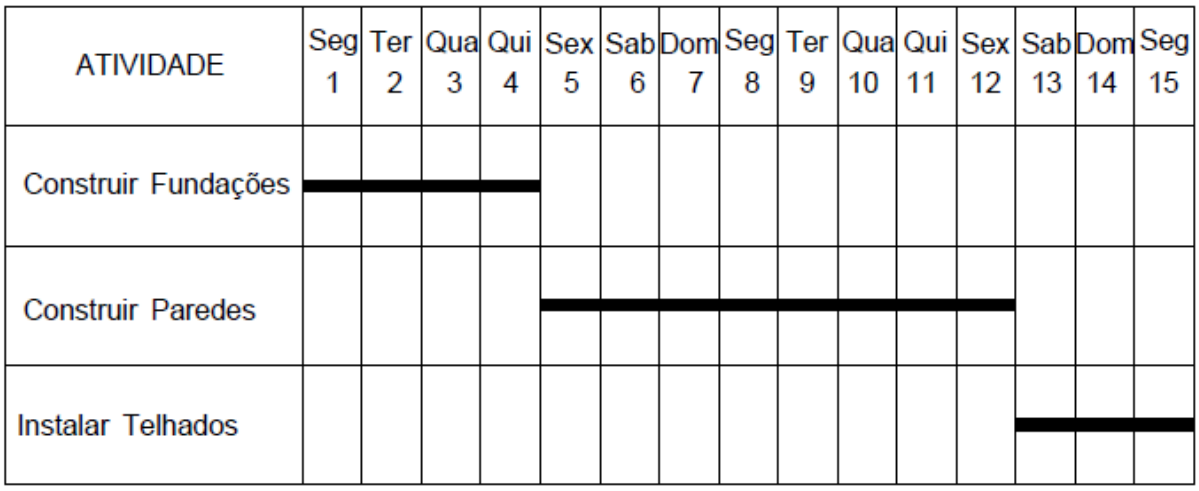
Neste ponto, se conclui o fluxo de planejamento de obra. No entanto, é possível utilizar recursos gráficos adicionalmente para ilustração e melhor compreensão das atividades do cronograma. Alguns desses recursos conhecidos são o gráfico de Gantt, a rede PERT/CPM, as linhas de balanço e o BIM 4D.

2.2.2 Ferramentas de representação de cronograma

A seguir serão apresentadas as ferramentas de representação de cronograma, incluindo o gráfico de Gantt, a rede PERT/COM e as linhas de balanço.

O gráfico de Gantt é uma importante ferramenta de gestão, por apresentar de maneira fácil de ser lida a posição de cada atividade ao longo do tempo. Nesse gráfico, à esquerda ficam listadas as atividades e à direita, suas respectivas barras desenhadas em uma escala de tempo. O comprimento das barras representa a duração das atividades e as datas de início e fim podem ser lidas nas subdivisões apresentadas pela escala de tempo (MATTOS, 2010). Um exemplo pode ser visto na Figura 3.

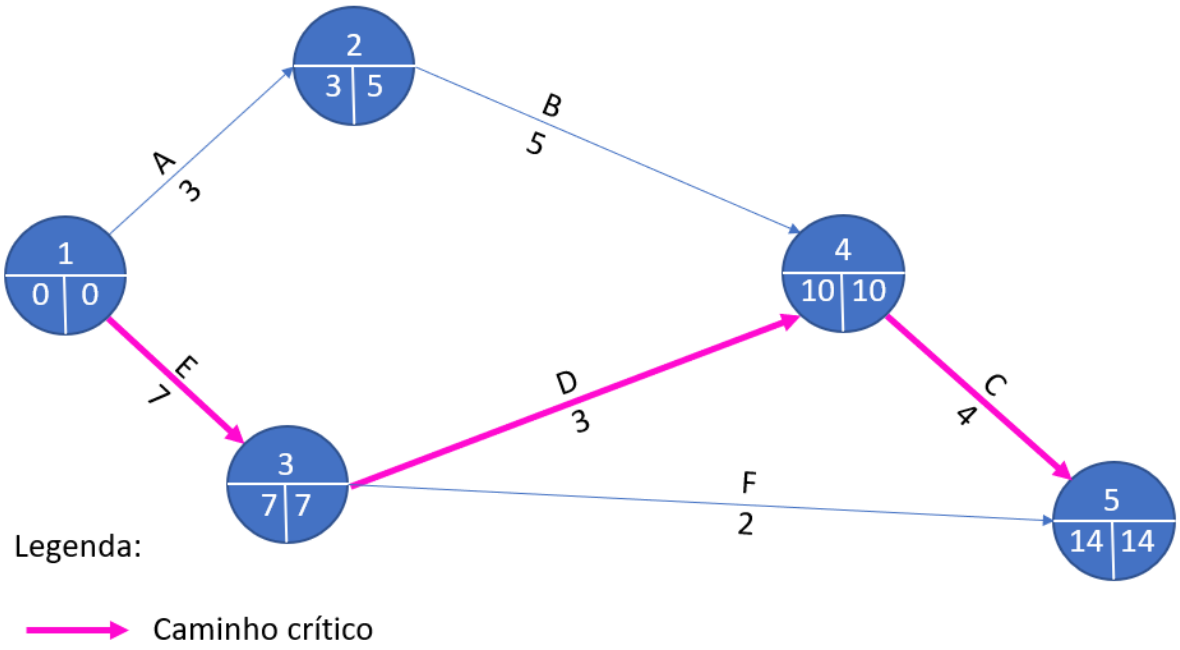
Figura 3 – Exemplo de gráfico de Gantt



Fonte: Adaptado de Mattos (2010)

Contudo, o gráfico de Gantt possui um *déficit* de funções, como a não possibilidade de visualizar a ligação entre as atividades, o fato de não levar as folgas em conta e a questão de não mostrar o caminho crítico (MATTOS, 2010). Dessa forma, para suprir essas funcionalidades, foram criadas outras formas gráficas de apresentar os cronogramas, como as redes PERT/CPM, onde se representam atividades através de setas e eventos através de círculos (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo de rede PERT/CPM



Fonte: Adaptado de Martins e Laugeni (2005)

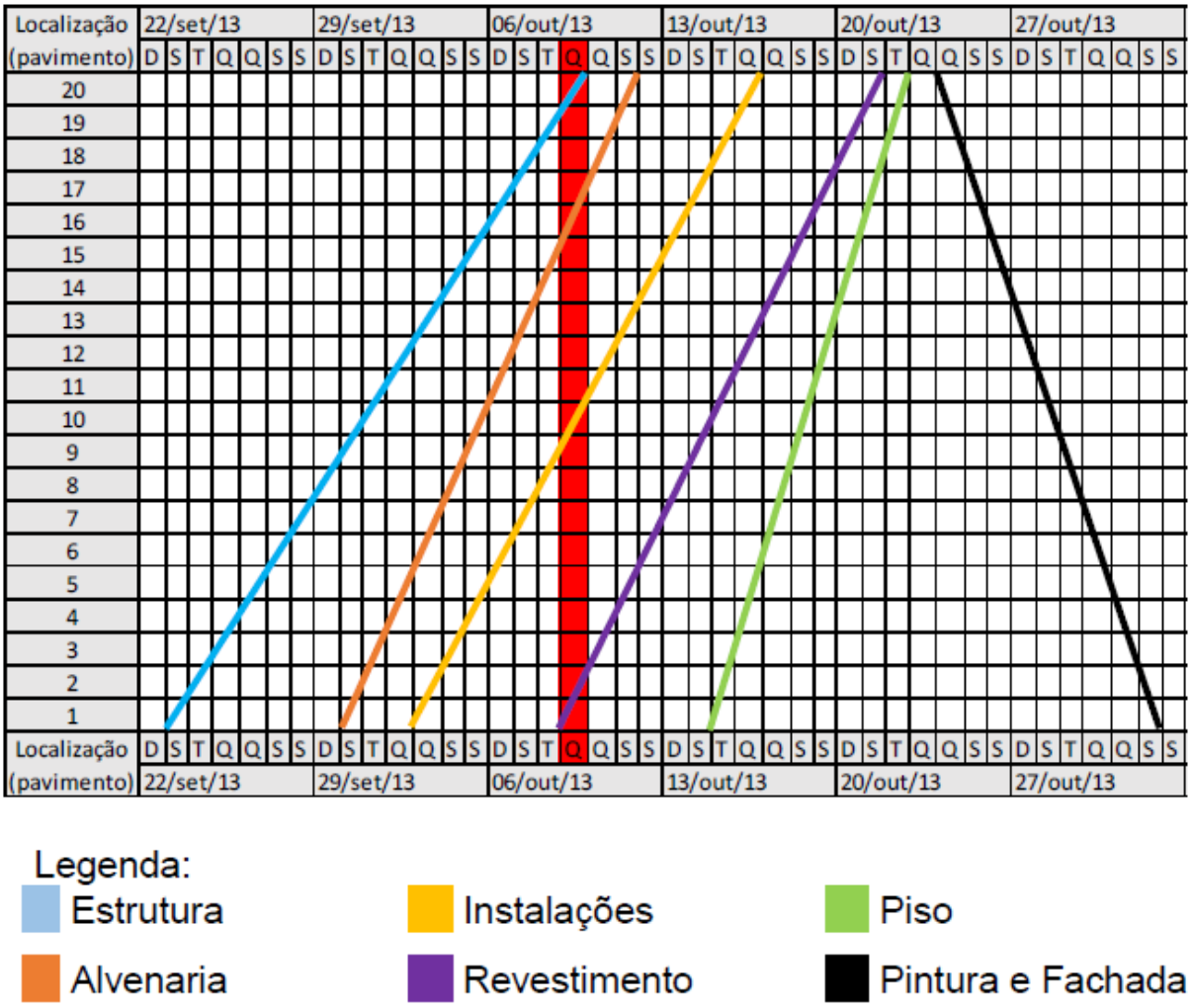
No exemplo apresentado na Figura 4, o projeto se inicia pelas atividades “A” e “E”, que não possuem predecessoras e ocorrem simultaneamente. Elas possuem durações distintas – “A” leva 3 dias para ser concluída ao passo que “E” leva 7. Os eventos são identificados por números (1 a 5) e cada um deles traz a primeira (à esquerda) e a última (à direita) data de início, isto é, a primeira data em que é possível iniciar as atividades que partem do referido evento, e a última data em que é possível fazer o mesmo, respectivamente. A tarefa “B”, por exemplo, pode iniciar no mínimo na data 3 e no máximo na data 5, como indica o evento 2 (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Além do gráfico de Gantt e das redes PERT/CPM, há uma terceira forma tradicional de representar cronogramas graficamente, conhecida como linha de balanço (LOB). Esse método é utilizado especificamente em cronogramas cujas atividades se repetem em momentos diferentes ao longo do projeto, como em projetos de estradas, de edifícios com vários pavimentos tipo, de conjuntos habitacionais e de fabricação e instalação de peças pré-moldadas (MATTOS, 2010).

Cada linha de balanço é uma reta que representa uma atividade que será executada em ciclos no projeto. As abcissas representam o tempo e as ordenadas representam as unidades de produção ou ciclos. Assim, quanto maior a inclinação da reta, maior a produtividade (MATTOS, 2010).

A Figura 5 apresenta um exemplo de LOB, em que o dia 9 de outubro de 2013 aparece em destaque, preenchido de vermelho. Nesse dia, quatro equipes trabalham simultaneamente no projeto: a primeira executa a estrutura do vigésimo pavimento; a segunda, a alvenaria dos pavimentos 16 e 17; a terceira finaliza as instalações do pavimento 9 e inicia o pavimento 10; e a última inicia o revestimento do primeiro pavimento. A atividade de pintura e fachada se apresenta com inclinação contrária por ser executada de cima para baixo na edificação, diferente das demais (NASCIMENTO, 2020).

Figura 5 - Exemplo de LOB



Fonte: Nascimento (2020)

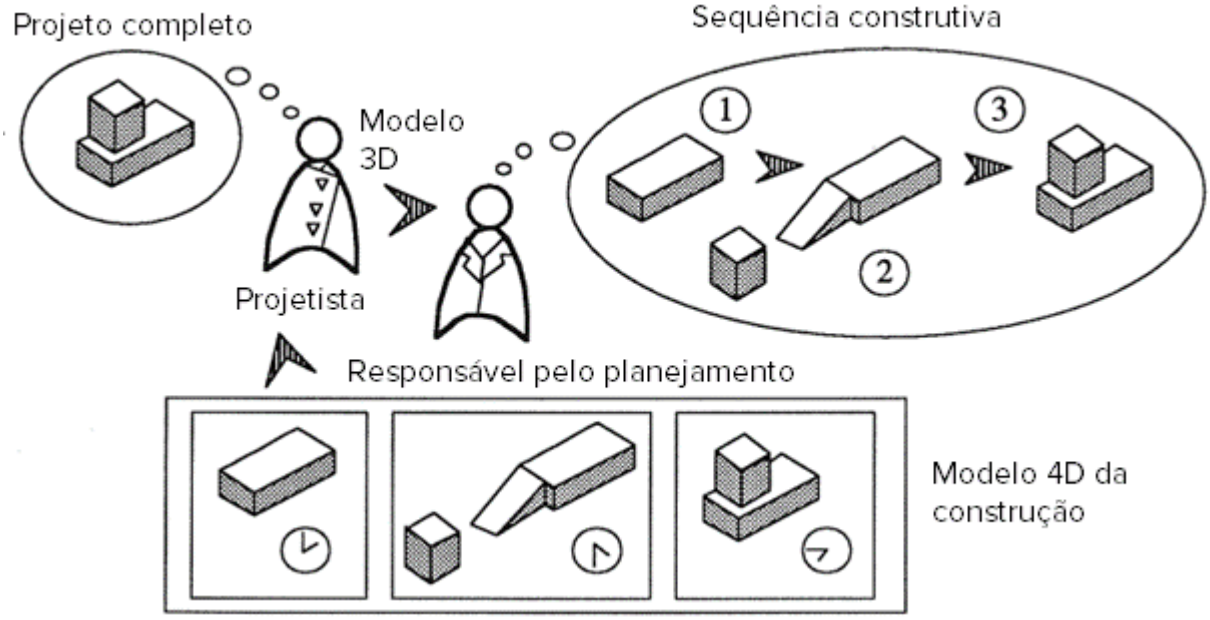
Por fim, além das ferramentas tradicionais apresentadas, surge um método inovador de representação gráfica de cronograma: o BIM 4D. O BIM 4D possui algumas funcionalidades que o destacam frente aos métodos tradicionais de representação de cronograma, que serão comentadas de forma aprofundada nos itens seguintes, por ser o delimitador do tema deste trabalho.

2.2.3 Conceito de BIM 4D

Antes do surgimento do termo BIM 4D, muito se falava sobre o chamado CAD 4D (COLLIER; FISCHER, 1995; FISCHER; AALAMI, 1996; HAYMAKER; FISCHER, 2001; KOO; FISCHER, 1998). Um modelo CAD 4D pode ser criado a partir de um modelo CAD 3D com a introdução da dimensão tempo no mesmo. Esse conceito de representação da construção surgiu pois notou-se que os componentes do modelo poderiam ser facilmente separados (e unidos) através do computador, e essa funcionalidade foi utilizada como base para simular a sequência construtiva dos projetos ao longo do tempo (COLLIER; FISCHER, 1995).

Dessa forma, o responsável pelo planejamento da construção, após definir uma sequência construtiva e estimar a duração das atividades, pode simular esse planejamento através de um vídeo das etapas de construção do modelo. Esse vídeo deve mostrar não só o prazo para cada atividade, mas também as informações geométricas dos objetos associados à atividade e as localizações dos mesmos em relação a outros objetos (Figura 6) (COLLIER; FISCHER, 1995; RISCHMOLLER; ALARCÓN, 2002).

Figura 6 - Esquema de planejamento de obra utilizando CAD 4D



Fonte: Collier e Fischer (1995)

Collier e Fischer (1995) explicam que gerar uma simulação CAD 4D é como possuir um modelo CAD 3D para cada dia de construção ou construir um modelo físico e tirar uma foto por dia de obra, porém com o diferencial de possibilitar a repetição desse processo quantas vezes forem necessárias, variando os pontos de vista e com diferentes prazos para análises comparativas. Em cada dia, o modelo mostra os elementos já construídos e aqueles que estão em fase execução.

Ainda, Collier e Fischer (1995) destacam que os modelos 4D permitem que todos os interessados na construção compreendam o processo construtivo e as implicações do mesmo em suas competências, consequentemente, todos podem trabalhar colaborativamente e executar o planejamento e a obra com mais qualidade.

A partir disso, vários outros termos foram criados para designar a mesma ferramenta de planejamento: *4D-Modeling*, *4D Planning and Scheduling, 4D Simulation, 4D site management model ou 4DSMM e 4D Technology*. Apesar disso, todos os termos se referem ao produto e ao processo de vinculação de um cronograma a um modelo 3D (GLEDSON; GREENWOOD, 2016).

Segundo Rischmoller e Alarcón (2002), esse conceito data de 1986-1987, quando a companhia de engenharia e construção Bechtel e a Hitachi Ltd. cooperaram para desenvolver o *software Construction CAE/4D Planner*. Dawood e Mallasi (2006) afirmam que essa companhia, em parceria com a equipe de pesquisa Martin Fischer, da Universidade de Stanford, formulou a técnica e a base originais para desenvolvimento dos modelos 4D, vinculando o cronograma ao modelo 3D para simular a sequência construtiva.

Com o tempo, a tecnologia de modelagem 4D avançou. As versões primitivas de 4D utilizavam o próprio *software* de modelagem 3D, que permitia a vinculação do fator tempo aos objetos. Atualmente, há *softwares* dedicados exclusivamente à modelagem 4D, permitindo a incorporação de vários modelos e dados de planejamento e vinculando objetos inteligentes a atividades interdependentes (GLEDSON; GREENWOOD, 2016).

No item 2.2.4, o tema será ainda mais aprofundado, com a apresentação das vantagens da metodologia BIM 4D de representação de cronograma.

2.2.4 Vantagens

Por meio de pesquisa bibliográfica, notam-se várias oportunidades de ganhos que o BIM 4D oferece em diversas fases do ciclo de vida da edificação e para diferentes partes interessadas no empreendimento. Eastman *et al*. (2014), por exemplo, pontuaram como benefícios:

1. **Comunicação e contribuição de múltiplas partes interessadas:** O modelo BIM 4D é uma ferramenta de visualização de planejamento mais eficiente do que um diagrama de Gantt tradicional, visto que apresenta de forma clara informações tanto temporais como espaciais. Dessa forma, possibilita uma comunicação visual do processo de construção entre os planejadores e as partes interessadas no empreendimento. Haymaker e Fischer (2001) reforçam essa vantagem ao relatar, em um estudo de caso de aplicação de BIM 4D para planejamento de obra, que, após o término de uma reunião da equipe para discussão do planejamento, não era incomum que alguns participantes permanecessem na sala por uma hora ou mais além do horário programado para discutir soluções para problemas identificados durante a reunião.
2. **Logística do canteiro:** Permite que os planejadores administrem áreas de armazenamento, acessos ao canteiro, locação de grandes equipamentos, dentre outros aspectos do empreendimento.
3. **Coordenação de disciplinas:** Permite que os planejadores coordenem o fluxo de trabalho no aspecto espaço-temporal das diferentes disciplinas de projeto no canteiro.
4. **Comparação de cronogramas e acompanhamento do progresso da construção:** Permite que os gerentes do empreendimento possam comparar programações distintas e ainda identificar se o projeto está atrasado ou não de acordo com o plano.

O modelo 4D ainda permite uma melhor visualização do processo de construção em todas as suas zonas (BRIOSO; MURGUIA; URBINA, 2017). Silva Júnior (2017) explica que, por meio do gráfico de Gantt, é preciso contar com a experiência dos envolvidos da obra para interpretar o gráfico. Com a metodologia BIM 4D, por outro lado, o cronograma físico é associado ao modelo 3D, permitindo visualizações gráficas de todo processo construtivo e, consequentemente, facilitando a interpretação, mesmo por leigos, da construção.

Segundo o estudo feito por Pitake e Patil (2013), a visualização do progresso da construção proporcionada pela simulação 4D acarreta uma economia de

aproximadamente 10 a 11% do tempo total de construção e de 3 a 4% dos custos do empreendimento.

Silva Júnior (2017) relaciona os benefícios do BIM 4D no controle do progresso da obra. Para isso, é necessário atualizar o modelo 4D constantemente com as datas reais de execução das atividades. Dessa forma, é possível visualizar com clareza quais tarefas estão no prazo e quais não estão, o que permite ao usuário definir medidas mitigadoras dos atrasos (isto é, transmitir os impactos ocasionados por atrasos do cronograma).

Hamada *et al*. (2017), Silva Júnior (2017), Brito e Ferreira (2015), Haymaker e Fischer (2001) atentam a potencialidade dessa ferramenta de detectar e analisar interferências de espaço e tempo antes que a construção seja iniciada, evitando fadigas durante a obra. Haymaker e Fischer (2001) aplicaram o BIM 4D em um estudo de caso que trouxe um exemplo interessante dessa potencialidade. A simulação 4D desses autores mostrava uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) sendo instalada na obra em um momento que a estrutura de aço da edificação já se encontrava pronta. Através do vídeo, notou-se que a estrutura impediria o acesso necessário para a instalação da UTA, e, com isso, pôde-se replanejar essas atividades. Vale observar que essa identificação permitiu que o pedido de fabricação de aço fosse feito no momento certo, garantindo assim a economia de estoque e evitando os gastos por retrabalho.

Silva, Crippa e Scheer (2019) realizaram uma revisão sistemática da literatura (RSL) acerca do tema, selecionando 32 artigos publicados de 2010 a 2017 em eventos e periódicos nacionais e internacionais. Destaca-se o periódico *Automation in Construction*, de onde se selecionaram 11 trabalhos (34% do total). Os autores da RSL sintetizaram os principais benefícios encontrados na utilização do BIM 4D. Essas informações foram reunidas no Quadro 1.

Quadro 1 - Benefícios relacionados ao uso do BIM 4D e recorrência na literatura de 2010 até 2017

Recorrência	Benefícios
44%	Otimização do processo construtivo
34%	Melhoria da comunicação através da integração
28%	Redução do retrabalho
25%	Redução do tempo de obras
25%	Análises e alocação de recursos mais eficientes associado à estimativa de produtividade
22%	Simulações do processo construtivo
19%	Otimização do cronograma
19%	Melhoria na visualização e interpretação do cronograma de obreas
16%	Integração e automação do sistema de monitoramento
16%	Controle virtual de obras
16%	Melhoria do arranjo físico e logístico do canteiro de obras
16%	Detecção de incompatibilidades
16%	Extração de quantitativos automática
13%	Criação de base de dados detalhada e consistente
6%	Coordenação em 3D
6%	Auxilia na identificação de recursos sobrecarregados

Fonte: Adaptado de Silva, Crippa e Scheer (2019)

Baia (2015) informa que o modelo BIM 4D possibilita a visualização de diferentes cenários de execução da construção e, com isso, permite que o usuário escolha aquele que apresenta a melhor relação custo-benefício. Dessa forma, trata-se de uma poderosa ferramenta de auxílio na tomada de decisões.

2.2.5 Limitações e obstáculos

Para Rolfsen e Merschbrock (2016), o crescente uso do BIM não mudou significativamente a maneira como os cronogramas são feitos: o gráfico de Gantt e o método do caminho crítico (PERT/CPM) continuam a ser as ferramentas preferidas dos gerentes de construção. Buscando comparar a aceitação dos profissionais aos diferentes métodos de planejamento, eles fizeram uma análise sustentada por um Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM).

Na análise de Rolfsen e Merschbrock (2016), o gráfico de Gantt é visto como o melhor instrumento para uso nas operações do cotidiano, por ser bem compreendido e familiar para os profissionais. No entanto, passa a ser desvantajoso quando utilizado em projetos complexos e com muitas atividades.

O BIM 4D, por sua vez, na análise de Rolfsen e Merschbrock (2016), apesar de apresentar poder explicativo e clareza superiores aos outros métodos de planejamento, tem seu uso considerado impraticável nas operações do cotidiano. O uso de computadores, na visão dos profissionais da construção, restringe a visualização, manipulação e interação com os cronogramas.

Como poucos profissionais da construção têm conhecimento de BIM e de Tecnologia da Informação, por enquanto, o 4D é utilizado apenas nos estágios iniciais do projeto, sendo visto como uma ferramenta meramente complementar, que não substitui os gráficos de barras. Assim, espera-se que a mudança de uso de Gantt para BIM 4D seja um processo gradual e difícil, devido à estrutura, à cultura e às rotinas da indústria da construção (ROLFSEN; MERSCHBROCK, 2016).

Assim, em contrapartida aos vários impactos positivos da adoção do BIM 4D no planejamento da construção, há alguns desafios. Pitake e Patil (2013) enfrentaram alguns problemas ao desenvolverem a modelagem em 4D. Além do alto investimento de tempo, esses autores relatam que é preciso que a equipe esteja qualificada e treinada para executar o fluxo de trabalho com o modelo 4D em um curto período. O desconhecimento de forma completa dessa tecnologia impediu que a sua total eficiência fosse aproveitada, além do custo alto de implementação e treinamento em comparação com outras ferramentas de planejamento de construção.

Hamada *et al*. (2017) em seus estudos mostraram alguns desafios à implementação do BIM 4D que estão relacionados a pessoas, tecnologia e gerência, como a falta de disponibilidade de equipe capacitada para lidar com o *software* BIM, a falta de estrutura necessária na empresa para receber esse tipo de tecnologia e a falta de suporte técnico dos fornecedores e de técnico para treinamento da equipe.

É importante ressaltar que o papel da gerência da empresa tem alta relevância, pois pode manter a equipe motivada e garantir o fornecimento do suporte necessário para que os funcionários aumentem suas habilidades com a ferramenta. Ainda assim, esse papel muitas vezes não é desempenhado de forma adequada (HAMADA *et al*., 2017).

Silva, Crippa e Scheer (2019) sintetizaram no Quadro 2 as principais dificuldades encontradas na literatura em relação à utilização do BIM 4D.

Quadro 2 - Dificuldades relacionadas ao uso do BIM 4D e recorrência na literatura do período entre 2010 e 2017

Recorrência	Dificuldades/restrições
30%	Dificuldade em implementação da tecnologia
19%	Grande consumo de trabalho intensivo para implementação efetiva da tecnologia e atualização do modelo e associção com o cronograma
15%	Comunicação entre os softwares não é 100% automatizada
11%	Desconsidera tarefas como escavações, limpeza de terreno e fatores de risco externo
7%	Custo alto de implementação e treinamento
7%	Visualização ineficiente para atividades internas e externas simultâneas
7%	Depende do bom funcionamento de hardware e da expertise do gestor para a estimativa de tempo de duração de atividades
4%	Falta de padronização de dados e documentos entre as equipes de projeto

Fonte: Adaptado de Silva, Crippa e Scheer (2019)

2.2.6 Aplicabilidades

Apesar dos desafios, deve-se destacar as diversas aplicabilidades que o BIM 4D possui, que permitem que este seja utilizado para alcançar diferentes objetivos. Dessa forma, a depender da empresa que utiliza essa ferramenta, encontram-se distintos meios de utilização e trabalho (BERNSTEIN *et al*., 2014).

O planejamento através de BIM 4D pode ser caracterizado em duas categorias: planejamento de construção e planejamento de local. No caso do primeiro, o uso do BIM 4D pode ter como objetivos: obter sucesso na proposta inicial do trabalho, planejar o método de construção, fazer o questionamento do desenho proposto, gerenciar recursos, planejar a área de trabalho, identificar os riscos e planejar de forma segura. Já no caso do segundo, as aplicações do 4D incluem o gerenciamento de: logística do local, fluxo de pedestres e tráfego, entrega e armazenamento dos recursos, principais atividades da fábrica, trabalhos e/ou obras temporários, instalações de assistência social e segurança do local (JUPP, 2017).

Biotto, Formoso e Isatto (2012) utilizaram a modelagem 4D com objetivo de dar suporte a diversas atividades de planejamento e controle, como a tomada de decisão na gestão de sistemas de produção. Os principais benefícios relatados por eles foram: a facilidade na visualização dos erros de sequenciamento dos processos, dos conflitos entre os equipamentos de transporte, das restrições do canteiro, além do apoio na visualização do fluxo de trabalho e da logística dos equipamentos.

Ainda, Biotto, Formoso e Isatto (2013) apresentaram um método para o uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção de empreendimentos da construção, que se dividiu em três etapas do planejamento: (i) fase de preparação da empresa para utilizar os modelos BIM 4D e outras ferramentas do planejamento, (ii) fase de gestão da produção com o uso da modelagem BIM 4D e (iii) fase de análise de dados e tomada de decisão.

Scheer *et al*. (2014) apresentaram uma aplicação prática da integração de um modelo BIM com o planejamento de cronograma e custos. Demonstrou-se como extrair informações do modelo para utilizá-las no planejamento e controle da produção na construção local. Além de ter sido uma ferramenta para tomar decisões, instruir subcontratados e tornar o processo mais preciso.

Hamada *et al*. (2017) complementam dizendo que o BIM 4D é uma tecnologia moderna que pode ser utilizada em todas as fases de construção do projeto, mas especialmente na fase de planejamento. Sua aplicação auxilia o gerente de projetos a descobrir os problemas e questões que podem surgir durante a fase de construção.

Jupp (2017) resume dizendo que há quatro aplicações do BIM 4D que estão recebendo crescente atenção na pesquisa e na indústria, incluindo o planejamento do espaço de trabalho, o planejamento da segurança, o gerenciamento dos materiais e, mais recentemente, a avaliação do ciclo de vida do empreendimento.

Haymaker e Fischer (2001) destacam o uso do BIM 4D como apoio ao planejamento de logística da obra, como no planejamento de áreas de estoque do canteiro, na visualização do acesso geral à obra em momentos críticos do projeto e na refinação de estratégias de uso de andaimes.

Outros trabalhos também discutem o tema e apresentam outras aplicações do BIM 4D. Como exemplos, há o uso do BIM 4D como ferramenta de tomada de decisão e de simulação, auxiliando no reconhecimento de atrasos no cronograma nos estágios iniciais e no planejamento com antecedência (GELISEN; GRIFFIS, 2014); e como recurso para visualização do progresso da construção, possibilitando a otimização do seu processo (LI *et al*., 2014).

2.2.7 *Softwares* de modelagem 4D

Em relação à escolha do *software* de modelagem 4D, Eastman *et al*. (2014) levantam alguns pontos que se deve levar em conta:

1. **A capacidade de importação de modelos BIM:** a ferramenta deve garantir a importação de dados geométricos e não geométricos do modelo 3D para que os usuários possam visualizar as propriedades dos objetos, aplicar filtros e fazer consultas baseadas nelas.
2. **A capacidade de importação do cronograma:** a plataforma deve possibilitar a importação de diferentes formatos de cronograma, nativos ou de texto.
3. **A capacidade de fusão e atualização de diversos modelos BIM 3D:** a plataforma deve permitir a importação de diversos modelos BIM 3D em um arquivo único (fusão de um ou mais modelos), mesmo que esses tenham sido desenvolvidos em ferramentas BIM diferentes. Além disso, as atualizações feitas nesses modelos BIM 3D devem refletir nesse modelo federado BIM 4D.
4. **O suporte a reorganização:** a ferramenta deve suportar a reorganização de maneira simples e fácil dos componentes do modelo para agilizar o processo de modelagem.
5. **A inclusão de componentes temporários:** considerar se a ferramenta permite adicionar e remover componentes temporários (andaimes, áreas de

escavação, áreas de armazenamento, gruas). É ideal que ela tenha uma biblioteca para que os usuários os insiram rapidamente.

6. **A criação de animações:** considerar se a plataforma 4D permite que os usuários animem os objetos em um período específico para permitir a representação de equipamentos em movimento.
7. **A facilitação de análises:** considerar se a ferramenta permite análises como a de conflito de tempo-espaço.
8. **As saídas:** considerar se a ferramenta permite gerar facilmente filmes com vistas e períodos predefinidos. Isso permite o fácil intercâmbio da simulação BIM 4D com a equipe do empreendimento.
9. **A capacidade de conexão automática de objetos do modelo a itens do cronograma:** considerar se a plataforma permite conectar automaticamente os componentes da edificação aos itens do cronograma para facilitar a modelagem 4D.

Na literatura existente, é possível notar que se destacam os *softwares* Synchro, Vico Office e Navisworks para uso em modelagem 4D (ABDI; BRASIL, 2017; BORGES, 2019; CARREIRÓ, 2017; EASTMAN *et al*., 2014; SALGADO, 2016; SILVA, 2017). Esses softwares são tratados com mais recorrência, por isso, serão apresentados nos parágrafos seguintes.

O Synchro é um exemplo de ferramenta de modelagem 4D que recebe atenção de diversos autores. É um *software* que possui capacidades sofisticadas de cronogramas se comparada a outros *softwares* 4D. Dessa forma, são necessários conhecimentos aprofundados em programação e administração de empreendimentos para usufruir de todos os seus recursos de análise de riscos e recursos (EASTMAN *et al*., 2014).

Sendo uma ferramenta baseada no PERT-CPM, dispõe de funcionalidades sofisticadas de gestão e planejamento, sendo possível atribuir recursos, custos, riscos, dentre outras funções. Recursos como Análise do Valor Agregado (EVA), gráfico de análise de recursos, nivelamentos de recursos, criação de perfis de usuário e personalizações como representação de cores e transparências e simulação de crescimento/desaparecimento de objetos (ABDI; BRASIL, 2017).

Além disso, o Synchro permite visualizar o modelo em “datas distintas” simultaneamente, o que permite comparar o planejado com o executado e identificar possíveis desvios, trabalhar em soluções e antecipar possíveis erros.

Por fim, gerar diversos tipos de relatórios, permitir ligação direta entre objetos e atividades ou recursos e identificar possíveis erros de modelagem e/ou projeto completam o leque de funcionalidades e recursos que esse *software* garante (ABDI; BRASIL, 2017).

Outro *software* que recebe destaque na literatura é o Vico Office, produto fabricado pela Trimble que contém módulos integrados de 3D, 4D e 5D, isto é, carrega funcionalidades de quantificação, orçamentação e controle e gestão de produção (ABDI; BRASIL, 2017).

Dando ênfase na solução 4D da ferramenta, o Vico Office é baseado na metodologia de Linha de Balanço, permitindo a criação de agendamentos detalhados e precisos. Esse método pode ser gerado através da importação de um arquivo do planejamento do MS Project, por exemplo, para a obtenção da rede de precedências somadas a coeficientes de produtividade para cada serviço executado. Com os dados

no sistema, a ferramenta estipula as durações de cada atividade e gera a Linha de Balanço automaticamente.

É possível gerar relatórios e alertas de serviços para monitorar a produção no que tange ao término dentro ou fora do prazo planejado, facilitando e permitindo o controle e gestão da mão de obra e a produtividade, criando parâmetros de comparação e sendo base de referências na comparação de outros projetos, orçamentos e cronogramas.

Por fim, destaca-se o Navisworks, que é uma ferramenta de modelagem BIM 4D de vasta utilização no mercado. Trata-se de um produto de revisão de projeto da Autodesk que é utilizado principalmente nas indústrias de construção para complementar pacotes de projetos em 3D, como o Revit, AutoCAD e MicroStation (AUTODESK, 2016).

Através do Navisworks, o profissional da indústria da AEC pode analisar em sua total forma os modelos e os dados que a eles estão vinculados, permitindo melhores resultados do projeto (SILVA, 2017).

Segundo Carreiró (2017), os principais objetivos do Navisworks são:

1. Coordenação entre diferentes especialidades de um projeto;
2. Detecção de conflitos entre especialidades;
3. Visualização do processo construtivo;
4. Cálculo de custos totais do projeto.

Ainda, permite a visualização simultânea de todos os modelos do empreendimento (de todas especialidades ou disciplinas de projeto), a identificação de conflitos entre os mesmos durante o processo construtivo e a visualização de todos os membros da equipe. É possível também selecionar elementos dos modelos de forma individual ou em grupos que se pretendem analisar (CARREIRÓ, 2017).

No campo da simulação 4D, o *software* possui capacidade de fazer a integração entre cronogramas do MS-Project e do Oracle Primavera, além de outros formatos de arquivos de texto como “csv” ou ainda ”txt”. Permite que o cronograma original e o modelo 3D importado sejam atualizados. É possível, ainda, fazer a importação de modelos CAD, BIM, de *softwares* da mecânica (Catia, Solidworks, etc.) e de formatos neutros (IFC, IGES, SAT, etc.) (ABDI; BRASIL, 2017).

Ainda, segundo ABDI e Brasil (2017), as principais funcionalidades do Navisworks são: (i) navegação interativa de modelos tridimensionais; (ii) detecção de colisões; (iii) levantamento de quantitativos e (iv) simulação 4D e 5D.

Possui um conjunto abrangente de ferramentas essenciais de integração, análise e comunicação que ajuda na coordenação de disciplinas, resolução de conflitos e projetar planos antes mesmo da construção ser iniciada (SILVA, 2017). Pode-se citar o *Clash Detective* e o *Timeliner*, onde o primeiro detecta conflitos e o segundo permite atribuir o planejamento aos elementos do modelo em 3D.

Através da ferramenta “*Clash Detective*” é possível identificar, inspecionar e reportar as interferências baseadas na geometria encontradas no modelo BIM, isto é, identificar quando as geometrias de dois objetos se cruzam (CARREIRÓ, 2017).

Conforme Carreiró (2017), o modelo em sua forma original não pode sofrer alterações no Navisworks, tornando-se obrigatório voltar ao *software* utilizado no desenvolvimento do projeto para tal. Diante disso, é possível utilizar uma ferramenta

auxiliar chamada “*Switchback*” que permite a troca e a atualização de informação entre o Revit e o Navisworks.

A ferramenta “*TimeLiner*” permite adicionar aos elementos do modelo em 3D informações do planejamento da construção importado de diversas fontes. Isso permite a visualização da simulação de todo o processo construtivo do empreendimento (CARREIRÓ, 2017). É possível, então, fazer a conexão das tarefas planejadas com os objetos no modelo, criando a simulação.

Segundo a Autodesk (2018), o *Timeliner* também permite exportar imagens e animações da simulação, atribuir custos às tarefas e atualizar automaticamente a simulação se o modelo ou planejamento for modificado. Carreiró (2017) completa dizendo que a ferramenta possibilita comparar datas planejadas e reais da construção, visualizar o gráfico de Gantt e a sequência da construção.

2.2.7.1 Análise comparativa entre os softwares

Para se fazer a escolha do *software* de modelagem 4D, entretanto, é importante se fazer uma análise comparativa das opções do mercado. Salgado (2016) elaborou tal análise para os *softwares* Navisworks, Synchro e Vico Office, utilizando como base para modelagem 4D um modelo 3D desenvolvido no Archicad e um cronograma do MS Project.

O Navisworks, segundo Salgado (2016), apresentou alguns problemas de interoperabilidade (não reconheceu as camadas do modelo 3D criadas no Archicad). Por outro lado, a importação de cronograma foi realizada com sucesso, tendo como único ponto negativo a incapacidade de importar dependências, recursos e calendários, limitando-se às informações básicas.

Ainda sobre o Navisworks, Salgado (2016) destaca a morosidade do processo de associação dos elementos do modelo às atividades, mesmo que utilizando ferramentas facilitadoras (*auto-attach using rules*, que será explicada no item 2.2.8). Em termos de facilidade de utilização, ele considera o *software* de interação mais amigável que os demais (Vico e Synchro).

No caso do Synchro, Salgado (2016) observou os mesmos problemas de interoperabilidade do Navisworks. No que tange à importação do cronograma, o Synchro sai em vantagem em relação ao *software* da Autodesk, visto que importa dependências, calendários, recursos e demais informações.

O processo de associação de tarefas a objetos do modelo é igualmente moroso no Synchro, visto que a ferramenta de associação automática apresenta problemas de funcionamento. Em termos de facilidade de uso, Salgado (2016) considera o *software* de interface razoavelmente amigável.

Finalmente, o Vico Office foi o único que não apresentou problemas de interoperabilidade com o modelo vindo do Archicad. No caso da importação do cronograma, Salgado (2016) preferiu não a realizar, visto que o *software* tem o diferencial de usar linhas de balanço para representar o cronograma, ao contrário do MS Project, que utiliza o método do caminho crítico. Dessa forma, o cronograma foi criado no próprio Vico, porém de forma automatizada e que pouparia tempo investido no MS Project, além de concentrar todo o trabalho de planejamento em uma única plataforma.

A associação de tarefas a elementos do modelo no Vico é uma tarefa automática e, em termos de facilidade de utilização, o Vico é caracterizado por possuir interface amigável, segundo Salgado (2016). Seu estudo comparativo foi resumido no Quadro 3.

Quadro 3 - Comparação de softwares de modelagem 4D

	Navisworks	Synchro Pro	Vico Office
Tempo gasto para replicação do planejamento	20 dias	20 dias	5 dias
Problemas de interoperabilidade	Não reconhece os layers do Archicad	Não reconhece os layers do Archicad	Reconhece os layers do Archicad
Ferramentas de planejamento	Básicas	Médias/Avançadas	Avançadas
Ligação de elementos às tarefas	Tarefa morosa	Tarefa morosa	Tarefa fácil e expedita
Facilidade de uso	Fácil	Fácil/Mediano	Fácil e expedita
Utilização das vantagens da metodologia BIM	Média vantagem	Pouca vantagem	Grande vantagem

Fonte: Adaptado de Salgado (2016)

Borges (2019) também dedica parte de sua pesquisa a analisar o Navisworks e o Synchro comparativamente, observando os *softwares* sob aspectos diferentes de Salgado (2016). Segundo ela, no quesito de aparência da simulação, o Synchro apresenta maior vantagem, pois permite animar a aparição dos elementos segundo um sentido. É possível, por exemplo, exibir um elemento aos poucos, iniciando por sua base e seguindo até seu topo, de forma semelhante ao que ocorre na construção real. No Navisworks, não há essa opção.

Sobre percentual de adoção, Borges (2019) destaca o Navisworks em relação ao Synchro. Há duas razões prováveis para isso: 1) o Revit é o *software* mais utilizado entre os profissionais que trabalham com a metodologia BIM, e possui total interoperabilidade com os demais produtos da Autodesk. Dessa forma, os profissionais acabam preferindo produtos Autodesk (entre eles, o Navisworks) quando precisam escolher um *software* BIM; 2) a licença do Navisworks é mais acessível que a do Synchro.

Sobre o suporte aos usuários, o Navisworks também sai em vantagem em comparação ao Synchro. Isso se deve ao alto percentual de utilização de produtos Autodesk entre os profissionais de AEC, principalmente o Revit, o que, naturalmente, fez com que a empresa precisasse investir mais em suporte técnico para conseguir atender a demanda de seus usuários (criando um *chat online* 24 horas para conectar usuários a especialistas Autodesk). Além disso, os próprios usuários utilizam amplamente os fóruns de dúvidas Autodesk, dessa forma, é possível ter uma dúvida respondida nos mesmos em questão de minutos (BORGES, 2019).

2.2.8 Fluxo de modelagem 4D no Navisworks

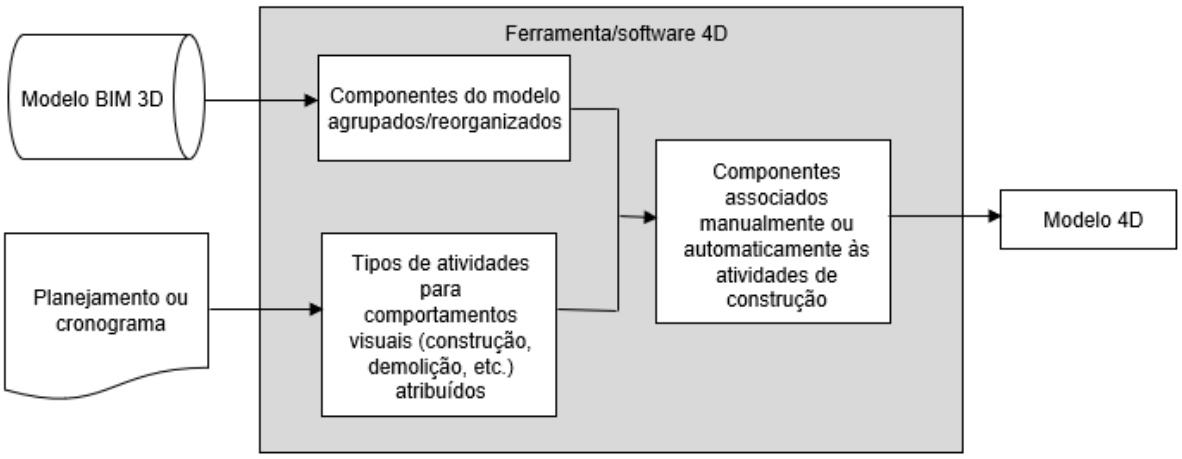
A partir do entendimento dos *softwares* disponíveis no mercado e das diferenças entre os mesmos, faz-se importante estudar o fluxo de modelagem 4D. Para Koo e Fischer (1998), são necessários três requisitos para isso, sendo eles: (i) construir um modelo geométrico 3D com componentes de construção; (ii) realizar um planejamento da construção, incluindo dados de atividades e durações, seguindo uma

lógica; e (iii) ter uma ferramenta de simulação em 4D que permite a vinculação dos elementos do modelo 3D aos do planejamento.

Esse fluxo está ilustrado na Figura 7 (EASTMAN *et al.,* 2014) e pode ser explicado da seguinte maneira (BAIA, 2015):

1. Inicialmente tem-se um modelo em 3D que contém geometria e dados atribuídos pelo usuário. Tais dados podem ser utilizados para reorganizar/agrupar os componentes do modelo de forma a se obter um grupo por etapa da sequência lógica da construção.
2. O planejamento/cronograma também é um item de entrada para a modelagem 4D. O modelador 4D deve, através de *software* apropriado, criar tipos de atividades que descrevam comportamentos visuais (por exemplo: de construção, demolição, etc.). Esses tipos de atividades devem, em seguida, ser atribuídos às tarefas do planejamento.
3. Assim, essas informações inseridas no planejamento e no modelo 3D podem ser associadas, de forma automática ou manual, para que a interligação entre o modelo 3D e as atividades da construção seja realizada. Como produto, tem-se o modelo BIM 4D.

Figura 7 – Fluxo de modelagem BIM 4D

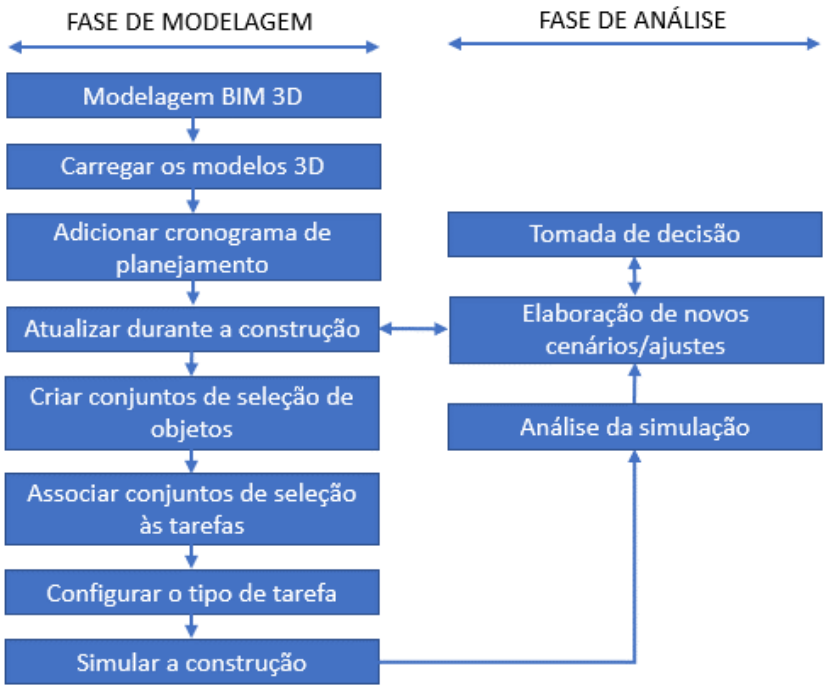


Fonte: Adaptado de Eastman *et al*. (2014)

Ainda com a compreensão sobre o fluxo geral de modelagem 4D, é importante observar que há diferenças nas ferramentas e processos que serão utilizados em função do *software* adotado. Uma vez que o Navisworks é a ferramenta escolhida pelas autoras no desenvolvimento do modelo BIM 4D do estudo de caso, tais particularidades serão abordadas nos próximos parágrafos, com apresentação de um método proposto por Borges (2019) para implementação do BIM 4D e complementação de outros autores (CARREIRÓ, 2017; DIRWEESH, 2015; HAYMAKER; FISCHER, 2001; VELASCO, 2013).

O método proposto por Borges (2019) sugere a implementação do BIM 4D em três etapas: preparação, modelagem e análise. Nesta revisão, somente as fases de modelagem e análise (Figura 8) serão detalhadas, visto que são realizadas com auxílio do Navisworks, portanto, possuem grande relevância para este trabalho.

Figura 8 – Fases de modelagem e de análise do método de implementação de BIM 4D proposto por Borges (2019)



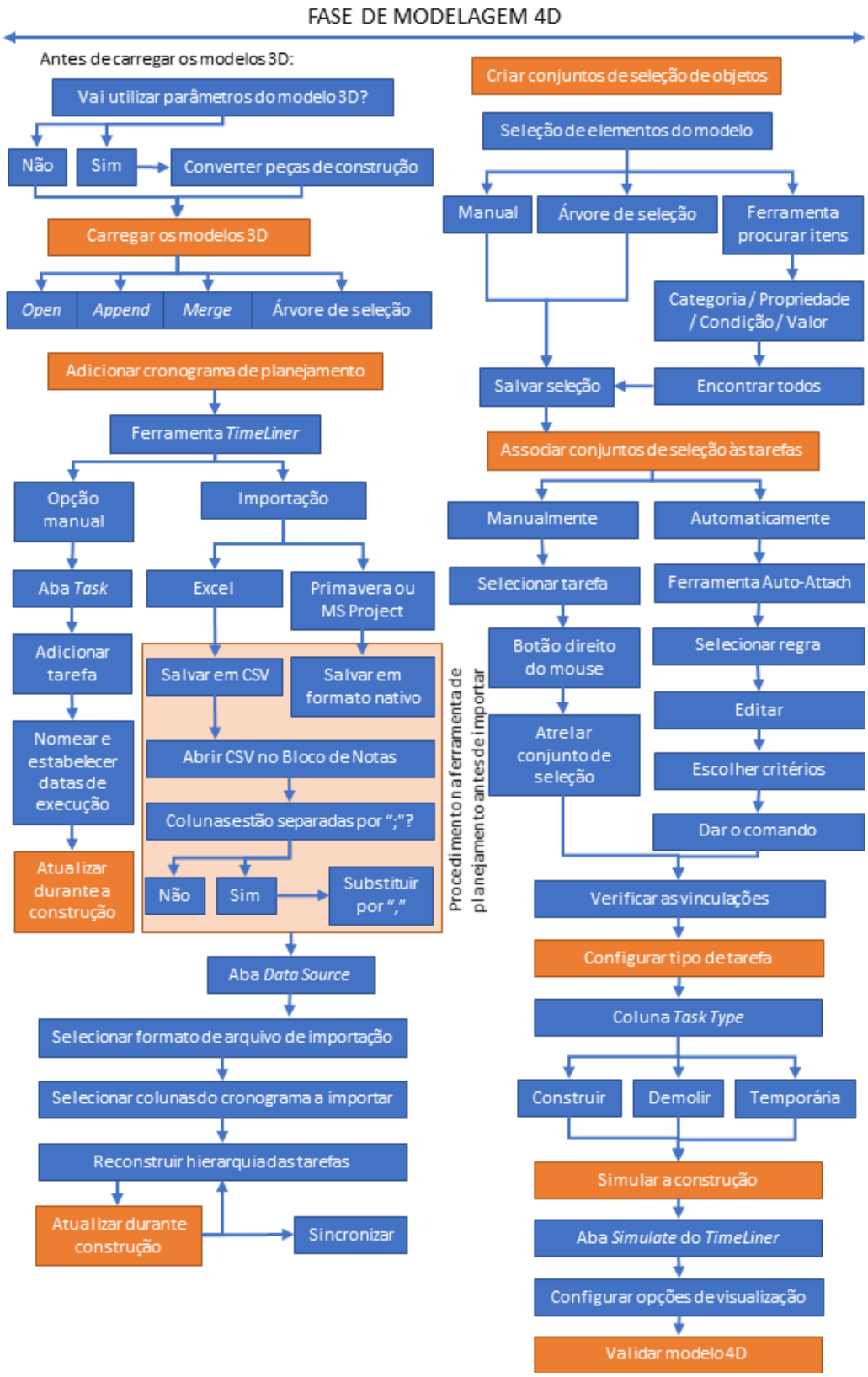
Fonte: Adaptado de Borges (2019)

A fase de modelagem do método proposto por Borges (2019) é compreendida em oito etapas:

ETAPA 1. Criar o(s) modelo(s) 3D;
ETAPA 2. Importar na ferramenta de modelagem 4D todos os modelos 3D;
ETAPA 3. Adicionar cronograma de planejamento;
ETAPA 4. Revisar continuamente o modelo 4D, atualizando o cronograma à medida que a obra avança;
ETAPA 5. Criar conjuntos de seleção de objetos (os elementos do modelo 3D que serão associados a uma tarefa devem ser selecionados simultaneamente e, em seguida, a seleção deve ser gravada – há comandos para gravar seleções nas ferramentas de modelagem 4D);
ETAPA 6. Associar cada tarefa ao seu respectivo conjunto de seleção;
ETAPA 7. Configurar tipos de tarefas, isto é, diferenciar as tarefas quanto ao seu tipo de visualização na simulação;
ETAPA 8. Simular a construção.

Na fase de análise do método proposto por Borges (2019), com a visualização da construção, o usuário pode identificar oportunidades de melhoria no cronograma ou até mesmo problemas na simulação, que possuem causas que vão desde erros de compatibilização ou de sequência construtiva a prazos equivocados, atividades justapostas no mesmo espaço e problemas de logística. A partir das análises, se houver necessidade, deve-se ajustar o modelo 3D ou o cronograma, bem como elaborar novos cenários de planejamento e, por fim, escolher a alternativa mais viável. Borges (2019), ainda, detalha a fase de modelagem 4D com um outro fluxo, apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Fase de modelagem 4D ampliada



Fonte: Adaptado de Borges (2019)

Na **ETAPA 1** da modelagem 4D (etapa de modelagem 3D), como recurso adicional a ser adotado no intuito de facilitar a posterior associação de atividades a elementos do modelo, Borges (2019), Carreiró (2017), Dirweesh (2015), Velasco

(2013) e Haymaker e Fischer (2001) indicam a criação de uma codificação para as tarefas. Haymaker e Fischer (2001) sugerem que esses códigos armazenem informações de localização e tipo de atividades, no entanto, esses mesmos autores reconhecem a dificuldade de criar uma regra de codificação que represente todos os objetos, incluindo casos específicos, como por exemplo, objetos que ocupam mais de uma área ou pavimento.

Borges (2019) exemplifica uma tarefa de execução dos pilares do pavimento térreo que poderia ser atribuída ao código “01.04.03.02 Pilares Térreo”, onde 01 é o número do projeto, 04 é o número de “superestrutura” na EAP, 03 indica “pilares” e 02 indica o pavimento térreo.

Outros exemplos podem ser observados no Quadro 4, onde Dirweesh (2015) apresenta uma lógica de criação desses códigos (*Task ID’s*).

Quadro 4 - Exemplos de códigos (*Task ID’s*) e nomes das tarefas a que se relacionam

Task ID	Duração (dias)	Nome da Tarefa
T01	2	Limpeza do local
T02	6	Trabalho de escavação
PC01	4	Lastro de concreto
F01	30	Fundações
AB01	14	Pilar de extremidade-1
PI02	9	Pilar intermediário-2
PI01	9	Pilar intermediário-1
AB02	14	Pilar de extremidade-2
PI03	9	Pilar intermediário-3
PG02	15	Vigas pré-fabricadas P1-P2
PG01	15	Vigas pré-fabricadas A1-P1

Fonte: Adaptado de Dirweesh (2015)

A coluna “*Task ID*” do Quadro 4 é identificada por Carreiró (2017), Dirweesh (2015) e Velasco (2013), que sugerem sua criação no cronograma da obra. Além disso, os autores indicam a criação de um parâmetro de mesmo nome no Revit (*software* de modelagem 3D), onde se deve inserir os códigos de identificação das atividades.

O processo de codificação é moroso inicialmente, mas Borges (2019) indica como recurso a criação de tabelas com filtros e agrupamentos adequados no *software* de modelagem 3D para atribuir os códigos aos elementos do modelo com maior eficiência.

Com isso, visa-se automatizar a criação de conjuntos de seleção (BORGES, 2019) ou a interligação entre as atividades e os elementos do modelo (CARREIRÓ, 2017; DIRWEESH, 2015; VELASCO, 2013) que serão realizadas posteriormente.

Assim, com a modelagem 3D realizada, é possível entrar na **ETAPA 2** do fluxo de modelagem 4D, onde se carregam os modelos 3D no Navisworks. Para isso, há quatro ferramentas possíveis:

- **opção *Open* do menu principal (“N”):** só é possível adicionar um único modelo com essa ferramenta. Se outro for adicionado, substituirá o primeiro;

- **opção *Append* da *Ribbon*:** podem-se adicionar diversos modelos com essa ferramenta, dessa forma, todos os modelos são visualizados juntos na tela do Navisworks;
- **opção *Merge* da *Ribbon*:** utilizada quando já houver um modelo no arquivo do Navisworks e se deseja atualizá-lo com novos elementos e dados (que foram adicionados no *software* de modelagem 3D). Essa opção adiciona somente as modificações que foram feitas, impedindo a criação de conteúdo duplicado; ou
- arrastando os arquivos para a Árvore de Seleção.

Na **ETAPA 3**, o cronograma é inserido no Navisworks, tarefa que pode ser realizada com auxílio ou não de outros *softwares* de planejamento. Caso se opte por utilizar somente o Navisworks, as tarefas são adicionadas manualmente, o que é desaconselhado por Borges (2019) mesmo em empreendimentos pequenos. A razão para isso pode ser o fato do Navisworks, ao contrário de outros *softwares* de planejamento, não permitir a introdução de precedências entre as tarefas (CARREIRÓ, 2017), o que torna a criação de cronograma através do mesmo um processo ineficiente.

Assim, o cronograma pode ser gerado em diversas extensões (CSV, Microsoft Project e Primavera). A extensão CSV (*comma-separated values* ou valores separados por vírgula) é particularmente útil para quem deseja desenvolver o cronograma no Microsoft Excel, uma vez que é possível exportar o arquivo XLSX (nativo do Excel) para CSV.

Nesse caso, utilizando o Microsoft Excel para criação do cronograma, deve-se criar uma coluna com um código único por atividade, podendo ser, por exemplo, uma ordem numérica ou os *Task ID's* descritos anteriormente. Em seguida, deve-se salvar o arquivo em formato CSV e abri-lo com um aplicativo editor de texto (Bloco de Notas, por exemplo) para se identificar o símbolo separador das colunas. Se for identificado ponto e vírgula (";") em vez de vírgula (","), deve-se substituir esse por este com a opção Editar seguida de Substituir do Bloco de Notas e, por fim, salvar (BORGES, 2019).

Para importar o cronograma do Navisworks, utiliza-se a aba *Data Sources* da ferramenta *TimeLiner*, onde se seleciona a extensão do arquivo do cronograma e se identifica cada coluna do mesmo, associando as mesmas às colunas do *TimeLiner*. No caso de importação de arquivo em CSV, deve-se associar *Synchronization ID* à coluna de código das atividades mencionada anteriormente (BORGES, 2019).

O processo de importação descrito somente disponibiliza o arquivo do cronograma como uma origem de dados do Navisworks. Após isso, é necessário, ainda, criar as tarefas no *TimeLiner* a partir dessa origem de dados importada, clicando no botão *Refresh* e depois em *Rebuild Task Hierarchy*. Dessa forma, as tarefas poderão ser visualizadas na aba *Tasks* do *TimeLiner* (AUTODESK, 2018c).

Assim, completando-se a **ETAPA 3**, a **ETAPA 4** compreende as atualizações no cronograma à medida que a obra avança e a **ETAPA 5** se refere à criação dos conjuntos de seleção. Esta pode ser omitida caso se opte por codificar as tarefas e os elementos do modelo, conforme descrito anteriormente.

Para a **ETAPA 5**, é necessário selecionar todos os elementos pertencentes a um determinado *set* (conjunto de seleção) e salvar, atribuindo um nome ao mesmo. Borges (2019) e Autodesk (2018b) sugerem a criação de um padrão de nomenclatura

visando maior eficiência em etapas posteriores, como por exemplo atribuir aos *sets* os mesmos nomes das tarefas do cronograma.

Os objetos que irão compor os *sets* podem ser selecionados de três formas diferentes: manualmente através do modelo 3D, através da árvore de seleção ou utilizando a ferramenta *Find Items* encontrada na aba *Home* – sendo esta última a opção menos morosa e suscetível a erros segundo Borges (2019).

A opção *Find Items* é uma ferramenta de busca. Ao selecioná-la, devem-se inserir os parâmetros e seus valores que delimitarão a busca por itens do modelo 3D, e, clicando em *Find All*, os elementos cujos parâmetros possuem os valores especificados serão selecionados. Tais especificações podem ser salvas em um arquivo de extensão *.xml que pode ser importado através da mesma ferramenta de busca para uso em projetos futuros. Essa possibilidade sugere a criação de um padrão de modelagem que considere o uso de um arquivo *.xml único (que possa ser utilizado em qualquer projeto) para a busca de itens nos modelos, o que pouparia tempo durante a modelagem 4D, tornando o trabalho mais eficiente (BORGES, 2019).

Seguindo na modelagem 4D, há a **ETAPA 6**, de associação de tarefas a elementos do modelo. No caso de *sets* criados na etapa anterior, estes que devem ser associados às atividades, o que pode ser feito de forma manual ou automática. Na forma manual, seleciona-se o *set*, clica-se com o botão direito na tarefa correspondente e seleciona-se a opção "*Attach set*". Na forma automática, por sua vez, utiliza-se a ferramenta *Auto-Attach Using Rules*, onde se criam regras para indicar quais tarefas e elementos devem ser associados (com base em suas propriedades, parâmetros, nomes, valores, etc.).

Dirweesh (2015), Borges (2019) e Autodesk (2018b) desaconselham a associação manual principalmente em projetos complexos, visto que esse método exige muito tempo para ser feito e aumenta a possibilidade de erros. Sendo assim, o ideal é a conexão automática, que traz resultados mais confiáveis e eficientes.

Optando-se pela conexão automática, existem quatro opções de regras predefinidas, além da possibilidade de personalizar regras:

> Items By Task Name. Escolha esta regra para anexar item de geometria no modelo em cada tarefas com o mesmo nome na coluna especificada. O padrão é utilizar a coluna Name.
>
> Selection Sets By Task Name. Escolha esta regra para anexar cada Conjunto de seleção e de Pesquisa no modelo para cada tarefa com o mesmo nome na coluna especificada. O padrão é utilizar a coluna Name.
>
> Layers By Task Name. Escolha esta regra para anexar cada camada no modelo para cada tarefa com o mesmo nome na coluna especificada. O padrão é utilizar a coluna Name.
>
> Attach Items to Task by Category/Property. Escolha esta regra para anexar cada item no modelo com a propriedade definida, para cada tarefa com o mesmo nome na coluna especificada. O padrão é utilizar a coluna Name;no entanto, você também precisará definir os valores <categoria> e <propriedade>. (AUTODESK, 2018b)

No caso de uso do código identificador das atividades (*Task ID*), deve-se personalizar uma nova regra que associe tarefas do cronograma a elementos do modelo de mesmo *Task ID* (CARREIRÓ, 2017).

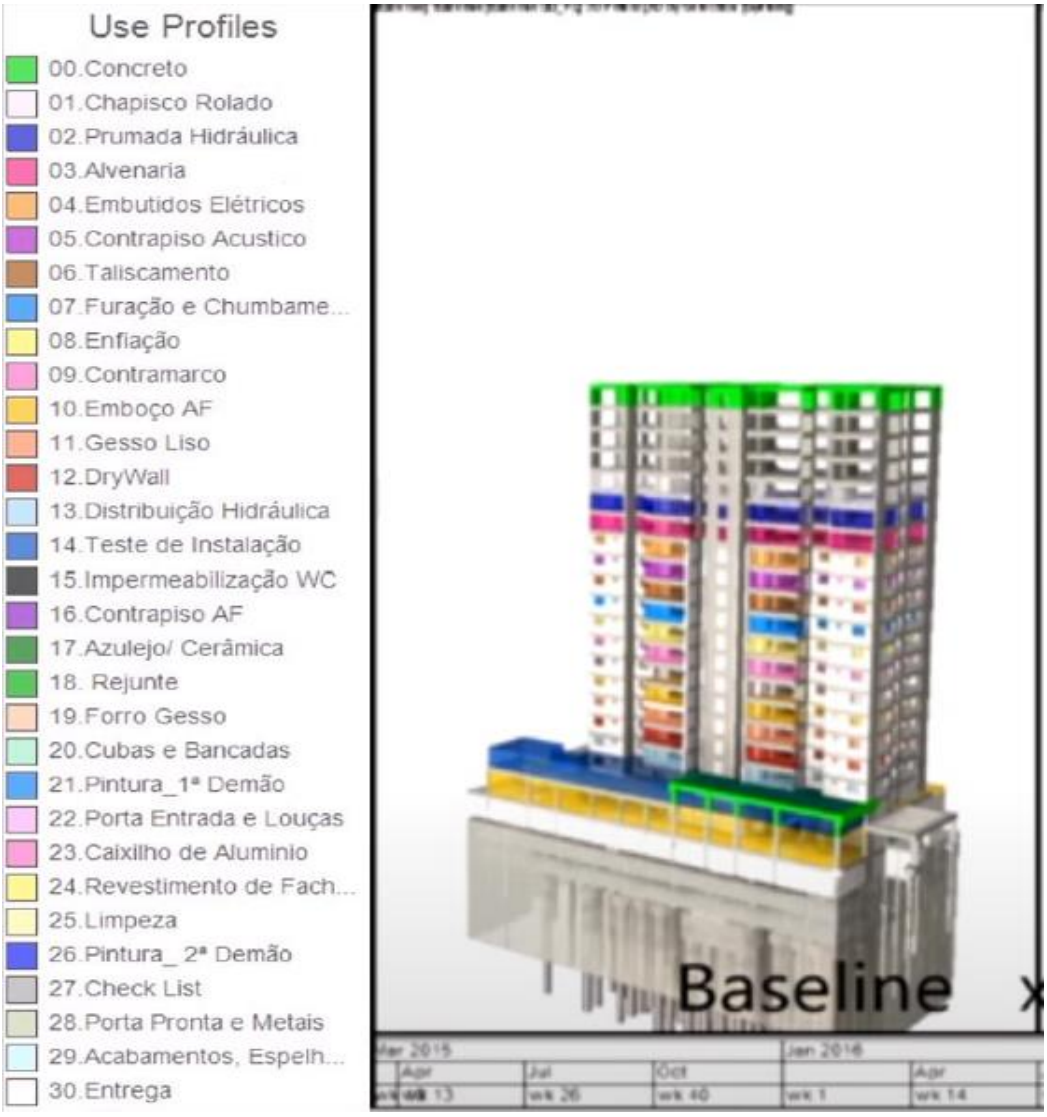
Posteriormente, inicia-se a **ETAPA 7** de modelagem 4D, que compreende a configuração dos tipos de tarefa, que descrevem o modo de visualização dos elementos durante a simulação da construção. Por padrão do Navisworks, encontram-se três tipos de tarefas: ***Construct* (Construção)** – os elementos surgem junto com o início da atividade e permanecem na simulação após o seu fim –, ***Temporary* (Temporário)** – os elementos surgem com o início da atividade e desaparecem com seu fim – e ***Demolish* (Demolição)** – os elementos são visíveis desde o início da simulação, mas desaparecem no fim da atividade (CARREIRÓ, 2017).

Borges (2019) sugere que as tarefas com seus tipos associados sejam importados do arquivo do cronograma, visando reduzir o trabalho no Navisworks e aumentar a eficiência desse processo. Para isso, deve-se criar uma coluna no *software* de planejamento para identificar os tipos de cada tarefa.

Além dos tipos de tarefa padrão do Navisworks, é possível criar outros com configurações diferenciadas de visualização (incluindo outras cores), através da aba *Configure* do *TimeLiner,* opção que pode ser utilizada para reproduzir as soluções apresentadas por Ribeiro (2018) e Haymaker e Fischer (2001).

Uma solução interessante para identificar as tarefas em andamento na simulação foi apresentada por Ribeiro (2018). Nela, utiliza-se uma variedade de cores para identificar as tarefas em andamento, adicionando uma legenda ao vídeo (Figura 10). A mesma solução foi adotada no trabalho de Haymaker e Fischer (2001).

Figura 10 - Solução de representação de atividades por cores



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2018)

Essa solução possibilita:

- Visualizar tarefas que estão ocorrendo no interior da edificação, mesmo após levantadas as vedações externas (RIBEIRO, 2018);
- Desenvolver modelos com baixo nível de detalhamento (LOD). Feito isso, basta representar as tarefas de elementos não modelados em elementos de fácil visualização que estejam próximos. Haymaker e Fischer (2001), por exemplo, representavam atividades mecânicas e elétricas nas lajes do pavimento onde ocorriam.

Finalmente, com os tipos de tarefa configurados (**ETAPA 7**), é possível se reproduzir a simulação (**ETAPA 8**). Assim, verifica-se se a simulação representa adequadamente a sequência de atividades ou se apresenta problemas de visualização. Para edifícios de grande porte e/ou complexos, a visualização das atividades pode ser deficiente, uma vez que podem ocorrer diversas atividades simultaneamente, em diferentes áreas da construção – o que aumenta a complexidade, dificultando o entendimento pleno do processo. Para solucionar isso, Haymaker e Fischer (2001) sugerem a criação de diversas simulações 4D para um

único projeto, em pontos de observação diferentes, na quantidade necessária para se obter entendimento pleno das atividades. Pode-se, por exemplo, criar uma simulação por disciplina de projeto, por área ou pavimento, entre outros.

Outro problema que pode ser observado é que atividades internas acabam ficando ocultas por causa dos elementos externos, que bloqueiam a visão, conforme observado nas referências do estudo de Silva, Crippa e Scheer (2019). Haymaker e Fischer (2001), então, apresentam uma solução de criar uma simulação por ambiente (externo/interno) ou de representar atividades internas com o realce da laje do pavimento ou área onde ocorrem.

Em seguida, finaliza-se a fase de modelagem 4D, podendo dar início à fase de análise, onde se consideram alterações no cronograma. Nesse caso, segundo Carreiró (2017), não é possível configurar o Navisworks de modo a atualizar o cronograma para refletir alterações feitas no modelo. É necessário, assim, atualizar o cronograma no *software* de planejamento e, posteriormente, sincronizá-lo no Navisworks, o que pode ser feito através de duas ferramentas:

> Rebuild Task Hierarchy. Escolha esta opção para reimportar todas as tarefas e dados associados do(s) arquivo(s) de projeto selecionado(s) e reconstruir a hierarquia de tarefas na guia Tasks.
>
> Synchronize. Escolha esta opção para atualizar todas as tarefas existentes na guia Tasks, com os dados associados mais recentes do(s) arquivo(s) de projeto selecionado(s) (por exemplo, as datas Start e End).
>
> **Dica:** Também é possível clicar com o botão direito do mouse na guia Data Sources e selecionar a opção Synchronize ou Rebuild Task Hierarchy. (AUTODESK, 2018d)

Dito isso, Carreiró (2017) destaca que o cronograma e o modelo acabam por ser atualizados constantemente, por isso, as ferramentas utilizadas na modelagem 4D devem facilitar esse processo e a interação entre o modelo e o cronograma de forma adequada e eficiente.

Dessa forma, foram expostos nesse capítulo os conceitos de BIM 4D, as vantagens, dificuldades e obstáculos, aplicabilidades, softwares e os processos envolvidos na modelagem 4D. No próximo item, será abordada a metodologia desta pesquisa.

3 METODOLOGIA

O BIM é uma tecnologia que está em fase de crescimento no Brasil e que vem trazendo perspectivas diferentes para o desenvolvimento de ferramentas para as previsões de tempo de uma construção, isto é, aplicam-se informações sobre tempo (modelagem 4D) em um modelo de três dimensões. Nesta pesquisa, o objetivo principal é desenvolver um modelo BIM 4D de uma obra de infraestrutura no *software* Navisworks, visando identificar os desafios, as soluções e os ganhos nesse tipo de modelagem.

Com vistas no alcance do objetivo principal deste trabalho, parte-se do princípio que é possível montar um plano de modelagem para o desenvolvimento de um modelo na quarta dimensão. Entre as metodologias de pesquisa conhecidas, estão os experimentos, os levantamentos, as análises de arquivos, as pesquisas históricas e os estudos de caso. Para escolher uma delas, é necessário avaliar três condições: (a) o tipo de questão que a pesquisa se propõe a responder, (b) o controle que se possui sobre eventos comportamentais e (c) o período de interesse da pesquisa (YIN, 2001). A Figura 11 apresenta de que maneira essas condições afetam a escolha pela metodologia mais adequada de pesquisa.

Figura 11 - Condições para definição da metodologia

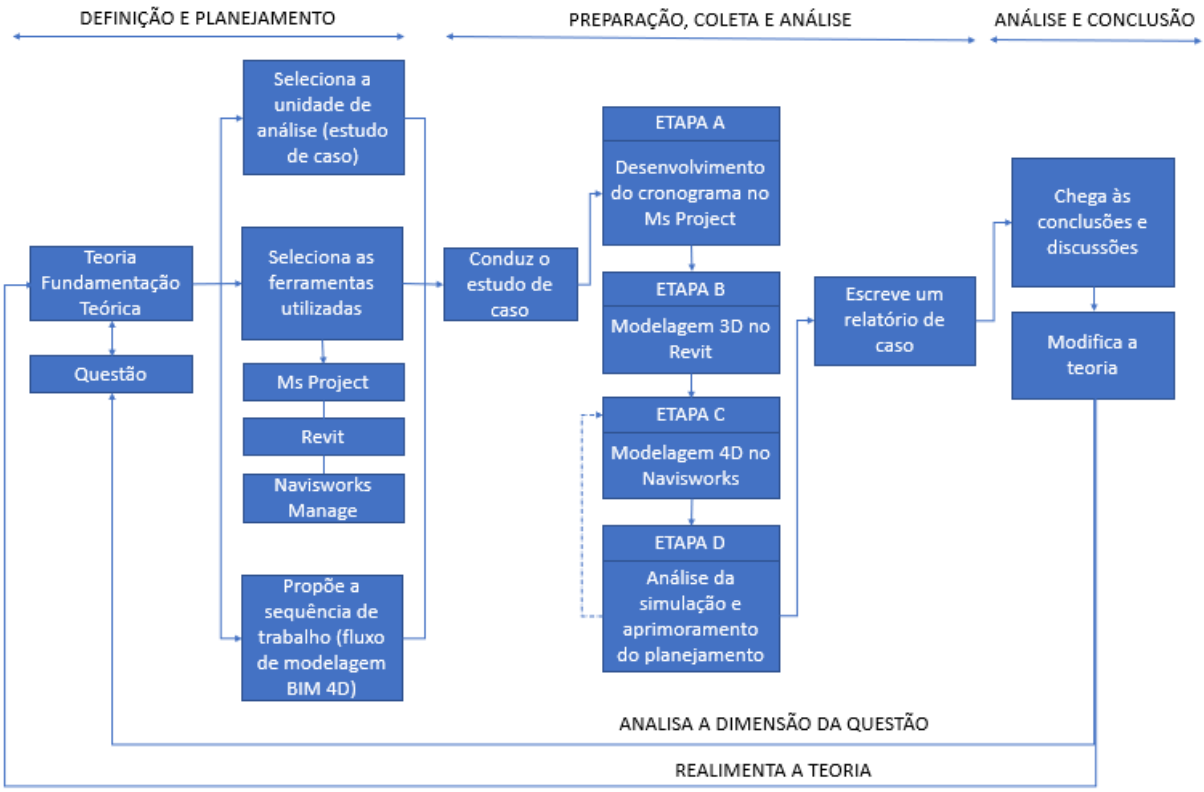
Estratégia	Forma da questão de pesquisa	Exige controle sobre eventos comportamentais?	Focaliza acontecimentos contemporâneos?
Experimento	Como, por que	Sim	Sim
Levantamento	Quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim
Análise de arquivos	Quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim/não
Pesquisa histórica	Como, por que	Não	Não
Estudo de caso	Como, por que	Não	Sim

Fonte: Adaptado de Yin (2001)

Esta pesquisa se propõe a contribuir para responder a seguinte questão: “como desenvolver um modelo BIM 4D no *software* Navisworks de uma obra de infraestrutura?”, visto que se observa uma lacuna na literatura em relação a esse tipo de projeto. Assim, ao se identificar uma questão de “como” e sabendo que o período em que a pesquisa se concentra é o contemporâneo, identifica-se o método exploratório como adequado para o desenvolvimento deste trabalho, com a elaboração de estudo de caso de uma obra de infraestrutura a ser realizada na Rodovia ES 010, no município de Serra/ES. Neste capítulo apresentam-se a abordagem metodológica da pesquisa, a descrição da unidade de análise, os *softwares* utilizados para o desenvolvimento da modelagem e a sequência de trabalho do caso em estudo.

A abordagem metodológica utilizada nesta pesquisa é apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Projeto de pesquisa deste trabalho



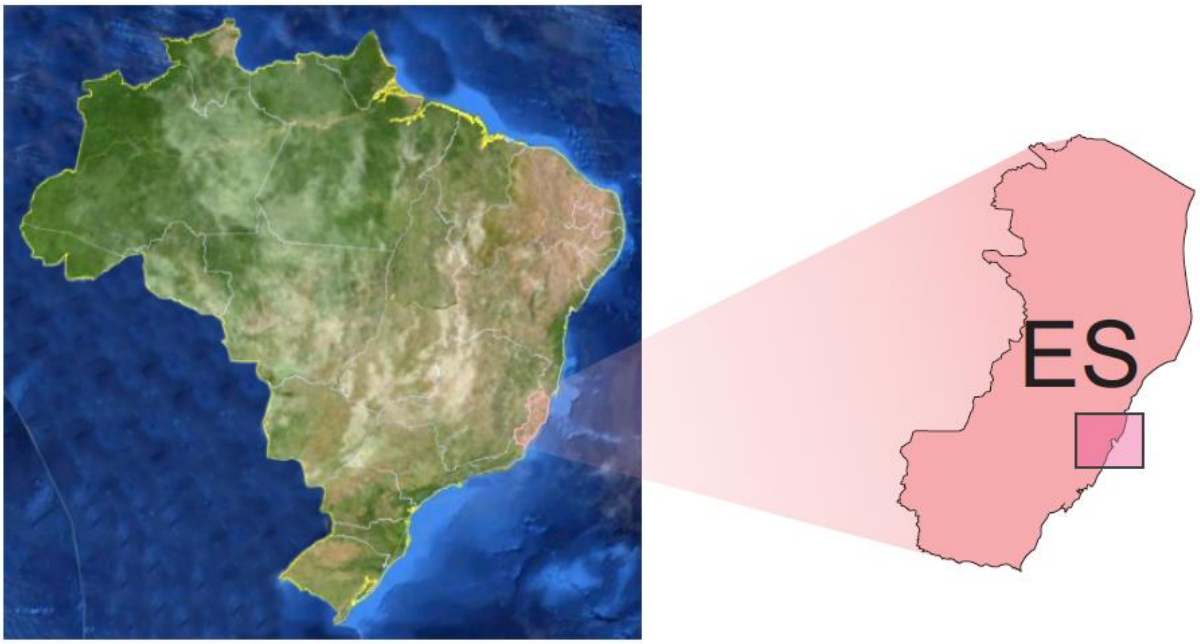
Fonte: A partir de Yin (2001)

O método adotado é composto pelo estudo da modelagem BIM 4D utilizando o *software* Navisworks; elaboração de um fluxo de trabalho com base na pesquisa bibliográfica; desenvolvimento do cronograma da obra através do Ms Project; desenvolvimento do modelo BIM 3D da obra do estudo de caso através do Revit; associação do fator tempo ao modelo BIM 3D desenvolvido através do Navisworks; e apresentação das dificuldades encontradas, soluções adotadas, ganhos obtidos e limitações existentes no processo. No item 3.1 se apresentam a descrição da unidade de análise, os critérios para a sua seleção, os agentes envolvidos no processo e as etapas que serão desenvolvidas por cada um deles. No item 3.2 se apresentam os *softwares* utilizados para o desenvolvimento do estudo e os critérios para a seleção dos mesmos. Por fim, no item 3.3 são apresentados o procedimento seguido na modelagem BIM 4D do caso de estudo, as etapas e as atividades realizadas em cada uma delas.

3.1 DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE

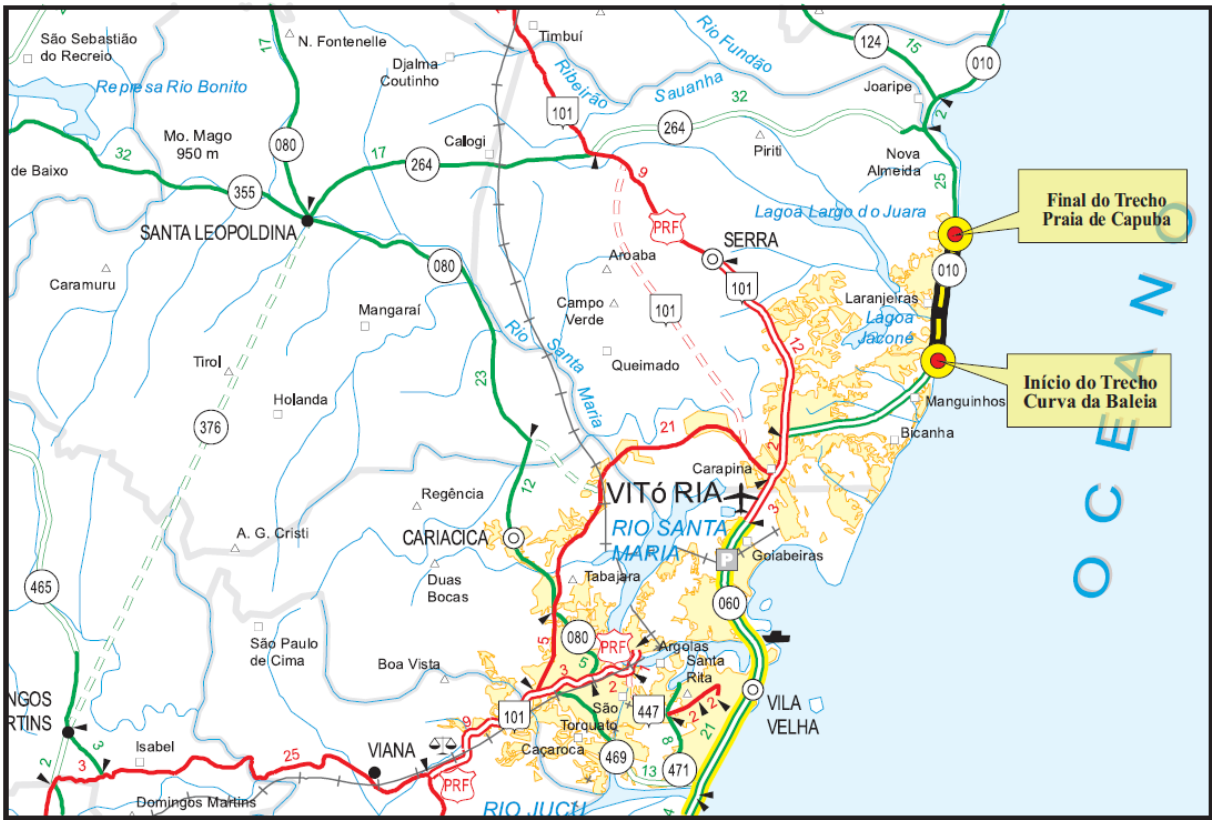
A rodovia ES 010 possui 264,7 km de extensão no total, ligando a capital do estado, Vitória, ao município de Conceição da Barra, situado no norte do estado do Espírito Santo (Figura 13). O trecho onde se darão as obras fica no município de Serra, com início no bairro de Jacaraípe (estaca 1000) e final na Praia de Capuba (estaca 1376), totalizando 7,52 km (Figura 14).

Figura 13 - Mapa de situação da rodovia ES 010



Fonte: Espírito Santo (2020)

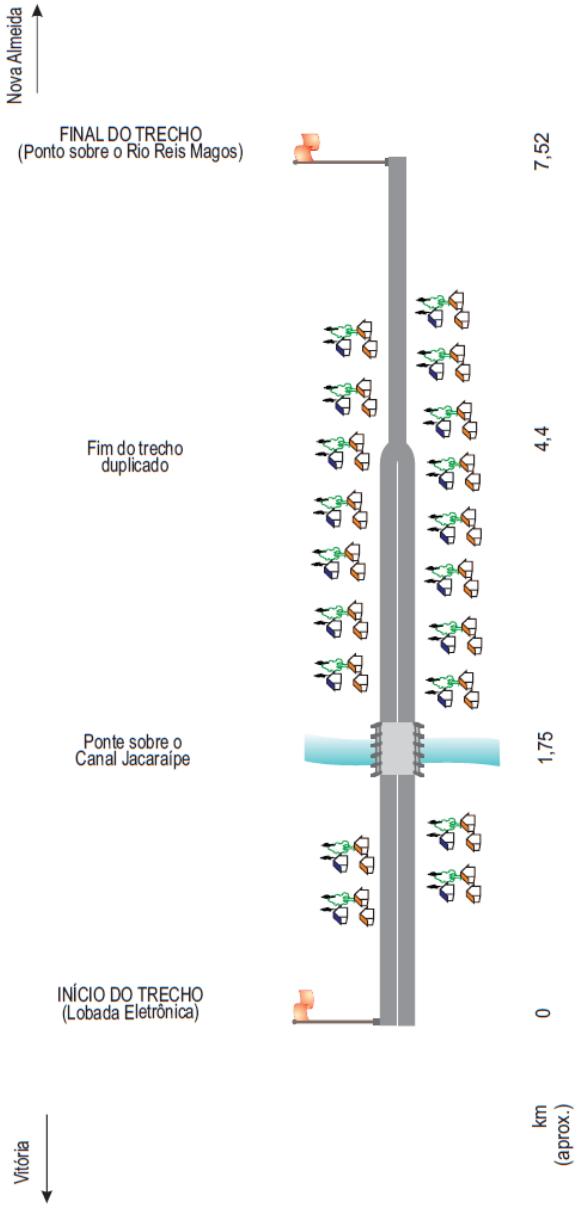
Figura 14 - Mapa de situação do trecho onde se realizarão as obras



Fonte: Espírito Santo (2020)

O trecho possui uma parte duplicada (iniciando no quilômetro 0 e finalizando no 4,4) e outra parte de pista simples (do quilômetro 4,4 ao 7,52), além de uma ponte que passa sobre o canal de Jacaraípe, localizada no quilômetro 1,75 (Figura 15).

Figura 15 – Principais pontos de passagem do trecho



Fonte: Espírito Santo (2020)

O projeto inclui serviços de terraplenagem, drenagem, restauração do pavimento em pista dupla existente, implantação de pista dupla, reforço e/ou recuperação estrutural da ponte (inclusive contenção dos encabeçamentos e substituição dos aparelhos de apoio), sinalização rodoviária, obras complementares e proteção ambiental (ESPÍRITO SANTO, 2020).

Do km 0 ao km 4,4, onde se encontra a pista dupla, será realizada a recuperação do pavimento e o serviço de drenagem. A ponte, localizada no km 1,75, se encontra em estado deteriorado estruturalmente, dessa forma, serão realizados serviços de reforço e recuperação estrutural, inclusive contenção dos encabeçamentos e substituição dos aparelhos de apoio. Deve-se, ainda, executar serviços de recuperação do pavimento, do passeio e do guarda-corpo. O trecho do km 4,4 ao km 7,52, por sua vez, será duplicado, além de se executarem serviços de recuperação do pavimento danificado e drenagem. Por fim, toda a via será sinalizada – vertical, horizontal e semafórica.

A intervenção visa agregar, além de recuperação estrutural em toda a extensão do trecho, melhorias na fluidez do trânsito, eliminação dos alagamentos, implantação de marginal em Capuba e melhorias na mobilidade de pedestres e pessoas com deficiência (PCD) (ESPÍRITO SANTO, 2020).

Estão envolvidos no processo três agentes principais: o Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo (DER-ES), a empresa N e a empresa C – denominadas dessa forma para manter suas identidades protegidas. A execução da obra se dará pela empresa C e os projetos básico e executivo de Engenharia serão desenvolvidos pela empresa N, enquanto o DER-ES será responsável por fiscalizar e aprovar todo o processo. Todas as atividades da prestação do serviço serão realizadas com base nos anteprojetos de execução anexados ao edital de licitação, que foram desenvolvidos pela empresa M, também denominada dessa forma para proteger sua identidade.

Diante disso, a seleção desse estudo de caso foi dada seguindo alguns critérios. O primeiro critério se deu pela disponibilização do projeto pela empresa N, empresa essa em que uma das autoras realiza seu estágio. O segundo critério foi o interesse por parte dos envolvidos em realizar os projetos em BIM e inicialmente, desenvolver o planejamento da obra seguindo essa tecnologia. Também, se observa na literatura uma lacuna no que tange à aplicação de modelagem BIM 4D em projetos de infraestrutura, tornando-se um exemplo interessante a ser estudado, sendo este o terceiro e último critério utilizado para a escolha da unidade em análise.

A empresa N é uma empresa fundada em 2014 que tem como propósito oferecer soluções BIM para projetos de arquitetura e engenharia. Com uma equipe multidisciplinar de engenheiros e arquitetos que trabalham de forma integrada, oferece serviços de BIM 3D a BIM 5D, incluindo as disciplinas das áreas de Arquitetura, Engenharia, Infraestrutura, Urbanismo e Gerenciamento. Alguns de seus produtos e serviços incluem gerenciamento de obra, compatibilização de projetos, projetos de Infraestrutura (Geometria, Terraplenagem, Drenagem, Pavimentação e outros), Estruturais, Hidrossanitários, Elétricos, entre outros.

A empresa C, por sua vez, é uma incorporadora e construtora fundada em 1986 e tem como objetivo atuar no mercado de obras públicas e economia mista. Seus principais clientes são órgãos Federais, Estaduais e Municipais, de Economia Mista, bancos e clientes particulares. É responsável por realizar obras de pavimentação, drenagem e galerias.

A empresa C foi contratada para executar as obras através de processo licitatório de ampla participação. O critério de julgamento era o maior desconto, aplicado no valor de referência de R$ 49.013.660,48. A empresa C foi a primeira colocada, oferecendo desconto de 22,51%, totalizando R$ 37.980.685,50 (DER-ES, 2020).

A empresa N, por sua vez, foi convidada pela empresa C para desenvolver os projetos de infraestrutura, além de planejar e gerenciar as obras, obtendo, dessa forma, participação nos lucros dos serviços. Por isso, é de grande interesse de ambas as partes que o investimento seja o mínimo possível, maximizando, assim, o lucro obtido. Por esse motivo, optou-se por utilizar o BIM 4D no planejamento, dado o potencial de economia que essa ferramenta confere aos projetos (PITAKE; PATIL, 2013; SILVA; CRIPPA; SCHEER, 2019).

No próximo item serão apresentados os *softwares* que serão utilizados no desenvolvimento deste estudo de caso.

3.2 SOFTWARES UTILIZADOS

Neste estudo de caso, serão utilizados três *softwares* principais: Project e Excel versões 2016, desenvolvidos pela Microsoft, para o desenvolvimento do cronograma da obra – etapa A; Revit versão 2020, da empresa Autodesk, para a modelagem 3D – etapa B; e Navisworks Manage versão 2020, também da empresa Autodesk, para a modelagem 4D – etapa C (Tabela 1).

Tabela 1 - Softwares utilizados no estudo de caso

	Desenvolvimento do cronograma (etapa A)		Modelagem 3D (etapa B)	Modelagem 4D (etapa C)
Software	Project	Excel	Revit	Navisworks Manage
Desenvolvedor	Microsoft	Microsoft	Autodesk	Autodesk
Versão	2016	2016	2020	2020
Extensão de arquivo nativo	MPP	XLSX	RVT	NWF

Fonte: autoras (2021)

Para a seleção, os *softwares* disponíveis no mercado foram avaliados sob quatro parâmetros principais: nível de adoção e ocorrência no mercado em geral; acessibilidade; *softwares* adotados por Borges (2019), principal fonte de diretrizes para desenvolvimento da modelagem 4D; e familiaridade das pesquisadoras com as ferramentas.

No primeiro critério, os *softwares* da Autodesk e da Microsoft se destacam, pois são amplamente utilizados no mercado nacional. No caso dos softwares da Autodesk, estes possuem licenças acessíveis, além de versões gratuitas para estudantes, o que justifica a escolha do Navisworks e do Revit sob o segundo critério. Os terceiro e quarto critérios, por sua vez, apontam para a utilização do Revit, do Navisworks, do Excel e do Project – *softwares* adotados por Borges (2019) e já conhecidos pelas autoras.

Assim, no próximo item serão apresentadas as atividades realizadas em cada um dos *softwares* escolhidos.

3.3 SEQUÊNCIA DE TRABALHO

O procedimento seguido na modelagem BIM 4D do caso de estudo foi dividido em quatro etapas: A – desenvolvimento de cronograma no Project e no Excel; B – modelagem 3D no Revit; C – modelagem 4D no Navisworks; e D – análise da simulação e aprimoramento do planejamento. As atividades a serem realizadas em cada uma delas serão detalhadas nos próximos itens.

3.3.1 Etapa A: Desenvolvimento de cronograma no Project e no Excel

As atividades a serem realizadas para desenvolver o cronograma foram orientadas por Mattos (2006, 2010), conforme apresentado no item 2.2.1, página 23. Sendo assim, essa etapa se iniciará com a listagem das atividades a serem realizadas na obra, utilizando como recurso de organização a hierarquização das mesmas, obtendo-se, assim, uma EAP.

Em seguida, serão definidas as precedências das tarefas e, em terceiro lugar, as durações das mesmas – sequência invertida à apresentada por Mattos (2010), pois entende-se que o processo de definição de precedências independe de as durações estarem planejadas ou não.

No caso da definição das durações, será necessário utilizar o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), que é um sistema que possui uma extensa lista de serviços realizados em obras de infraestrutura, com seus respectivos preços de referência, insumos necessários e produtividade de mão de obra, como principal composição de serviços. Desse sistema, serão extraídas as produtividades dos serviços listados na EAP, levando-se em conta, ainda, a disponibilidade de recursos (mão de obra e equipamentos) para cada tarefa. Assim, supondo uma atividade no SICRO com produtividade de 1,5 m³/h para uma equipe de 2 pedreiros, se houver disponibilidade de 4 pedreiros, por exemplo, a produtividade considerada será de 3 m³/h.

Além do SICRO, será necessário contar com a experiência dos engenheiros de obra para estimar a produtividade ou a duração de alguns serviços, visto que o SICRO não contempla todas as atividades a serem realizadas na obra, podendo ser utilizada também outra composição caso isso ocorra.

Ainda para calcular as durações, é necessário obter as quantidades de cada serviço a ser realizado, o que é feito a partir de observação das medidas dos projetos, com contagem de elementos e cálculos de áreas e volumes, a depender da tarefa considerada. Por fim, em posse das quantidades e produtividades de cada tarefa, aplica-se a fórmula:

$$D = \frac{Q}{P}$$

Onde D é a duração, Q é a quantidade e P é a produtividade do serviço. Voltando ao exemplo dado anteriormente, caso o serviço considerado tenha um total de 45 m³, a duração será de 15 horas.

Assim, com as precedências e durações definidas, prossegue-se para a codificação das tarefas. Os códigos deverão incluir a natureza das tarefas e a identificação do local onde serão realizadas.

O seguinte e último passo consiste na criação de uma coluna para se identificar o tipo de cada tarefa. Cada tipo será associado a uma cor na etapa C à frente, assim, no vídeo da simulação 4D será possível identificar as tarefas que estão sendo realizadas a partir das cores que aparecem.

Dessa forma, tem-se um cronograma pronto para ser representado em uma simulação 4D. O diagrama de rede, a identificação do caminho crítico e as folgas das atividades são elementos interessantes para o estudo do cronograma (MATTOS, 2010), no entanto, entende-se que, a título de teste dos benefícios da ferramenta BIM

4D, são dispensáveis, por isso, não serão utilizados. Na próxima etapa, será realizada a modelagem 3D no Revit.

3.3.2 Etapa B: Modelagem 3D no Revit

Com a etapa A concluída, prossegue-se para a etapa B, de modelagem 3D a partir do software Revit. Nesta etapa, deverão ser modelados os diversos elementos que compõem a rodovia antes e após as obras, como as diversas camadas do pavimento (subleito, sub-base, base e revestimento), os meios-fios, a calçada e o canteiro central. No entanto, cada elemento será dividido em partes, de acordo com a sequência construtiva definida na etapa A. Por exemplo, se a execução das calçadas é realizada a cada cinco quadras, o elemento calçada no Revit deve ser dividido de modo que cada parte tenha o comprimento de cinco quadras.

Assim, entende-se que há uma relação entre cada elemento 3D e uma tarefa do cronograma. Por isso, o próximo passo é estabelecer essa relação no Revit através da codificação dos objetos 3D com os códigos definidos na etapa A. Isso é feito através do recurso de parametrização do Revit.

Para parametrizar objetos, primeiramente, deverá se criar um parâmetro novo do tipo texto. Em seguida, ao selecionar um objeto 3D, aparecerá na janela de propriedades do mesmo o parâmetro criado, sem valor algum atribuído inicialmente. Deve-se, então, alimentar o parâmetro com o código daquele objeto. Essa atribuição de código deve ser realizada para todos os objetos 3D, exceto aqueles que não se associam a tarefa alguma.

Dessa forma, finaliza-se a etapa B e prossegue-se para a etapa C, descrita no próximo item.

3.3.3 Etapa C: Modelagem 4D no Navisworks

A etapa C, realizada no Navisworks, se inicia com o carregamento do modelo 3D a partir da ferramenta *Append*. Em seguida, na ferramenta *TimeLiner*, criam-se os tipos de tarefas definidos no último passo da etapa A, com atribuição de uma cor para cada um deles.

O terceiro passo é de importação do cronograma, através do *TimeLiner*. Após a importação, é necessário atualizar a tabela do *TimeLiner* com as tarefas do arquivo importado, utilizando a opção *Rebuild Task Hierarchy*.

Com cronograma e modelo 3D carregados, o próximo passo é associar as tarefas do cronograma aos objetos do modelo através da ferramenta de associação automática *Auto-Attach Using Rules*. Essa ferramenta solicita que o usuário insira o ponto de correspondência entre as tarefas e os objetos, que será, para este caso, os códigos (no modelo 3D é o parâmetro criado e no cronograma é a coluna de código da tarefa). Assim, o *software* entenderá que deve associar os objetos 3D a tarefas cujo código seja igual ao valor do parâmetro criado.

Neste ponto, já se tem um modelo 4D pronto, prosseguindo-se para a fase de simulação e análise do planejamento. A simulação deverá ser assistida com um olhar crítico, em busca de pontos de aprimoramento do planejamento. Esses pontos de

melhoria são levantados e, em seguida, implementam-se ações corretivas, na etapa D seguinte.

3.3.4 Etapa D: Análise da simulação e aprimoramento do planejamento

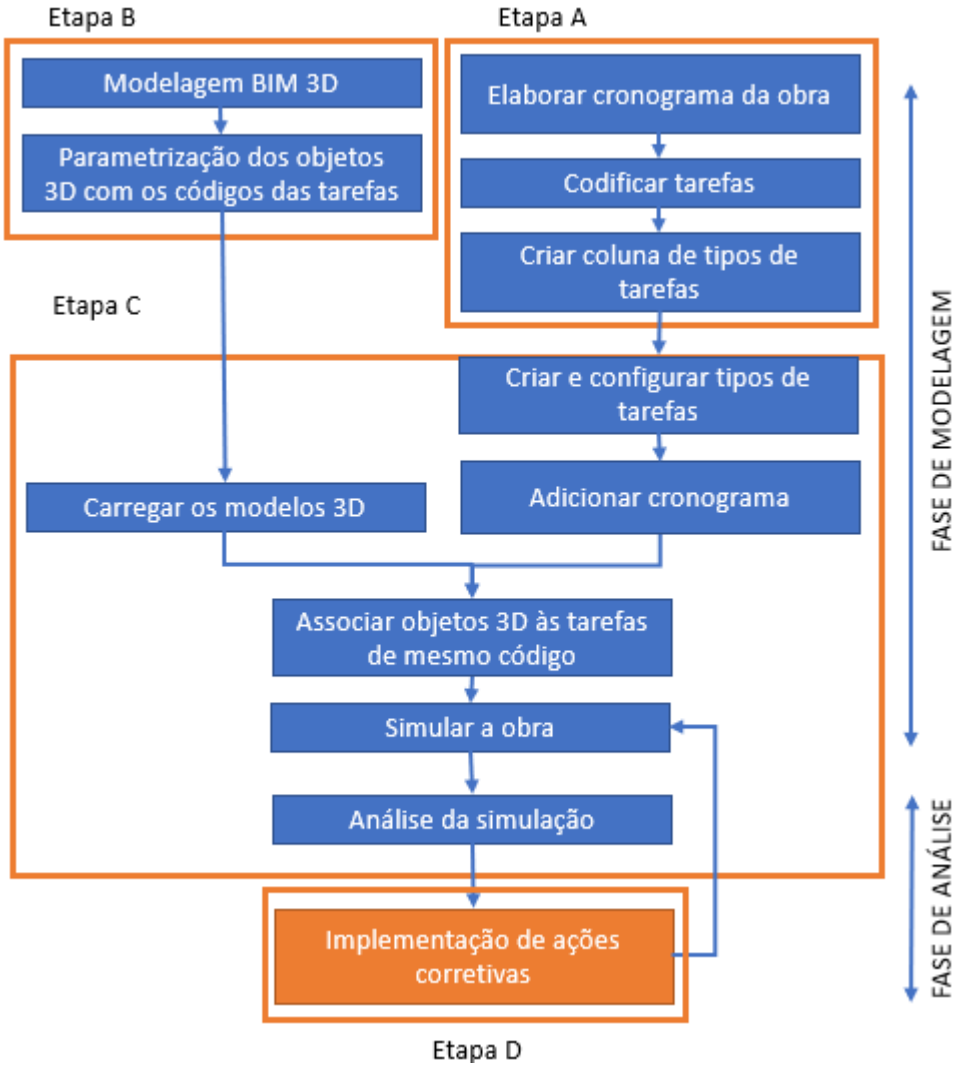
Para implementar as ações corretivas, deve-se, inicialmente, voltar ao Project e editar o cronograma de forma a atender todas as oportunidades de melhorias identificadas na simulação. Em seguida, importa-se o cronograma atualizado no Navisworks e atualiza-se a tabela do *TimeLiner*. Essa atualização pode se dar através de duas opções: *Synchronize* e *Rebuild Task Hierarchy*. Utiliza-se a primeira caso não haja adição nem remoção de tarefas, e a segunda caso haja.

No caso de adição e/ou remoção de tarefas, é necessário adequar o modelo 3D às alterações. Para isso, volta-se ao Revit, onde são feitos os ajustes (tais ajustes podem incluir modelagem de novos objetos, divisão dos objetos existentes em partes, substituição dos códigos do parâmetro criado, entre outros).

Por fim, volta-se ao Navisworks, onde se importa o modelo 3D atualizado e atualizam-se as associações dos objetos às tarefas com uso da ferramenta *Auto-Attach Using Rules*. Dessa forma, obtém-se um modelo 4D atualizado, e prossegue-se para a análise da simulação, onde se podem encontrar novas oportunidades de melhorias, que são tratadas conforme se descreve neste item.

Assim, completam-se as atividades a serem realizadas no estudo de caso. O procedimento completo a ser seguido nas etapas A, B, C e D foi organizado em um fluxo de trabalho e apresentado na Figura 16. As atividades do fluxo foram divididas em duas fases, conforme proposto por Borges (2019): fase de modelagem e fase de análise.

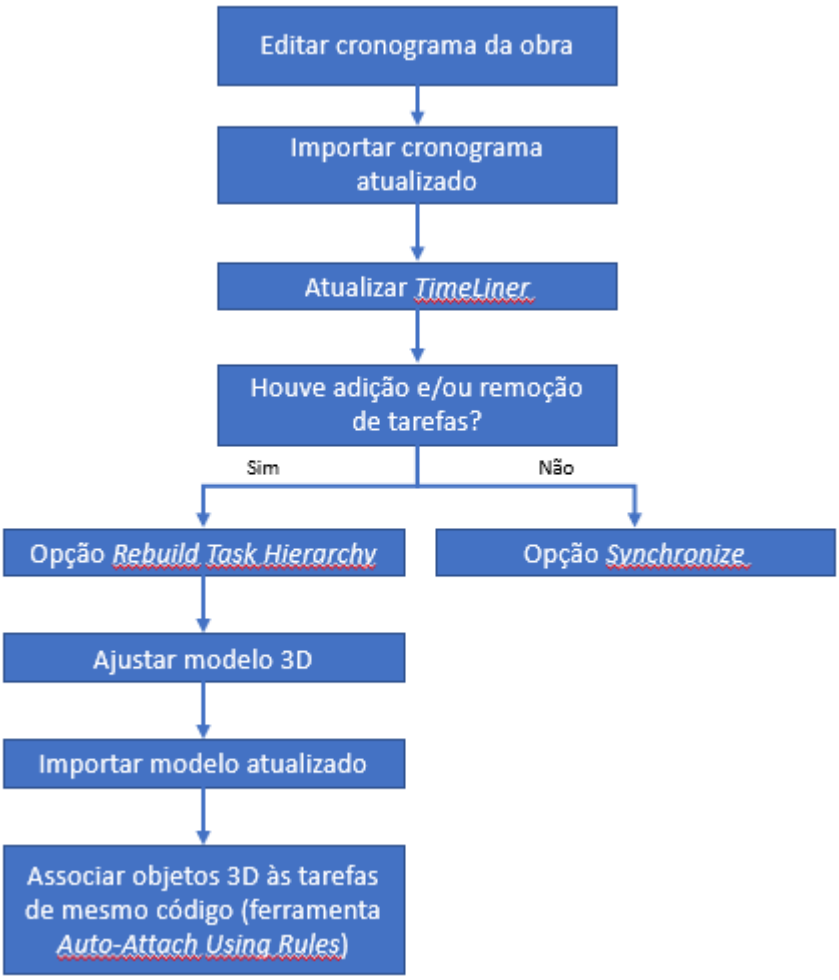
Figura 16 - Fluxo de planejamento 4D a ser aplicado no estudo de caso, com destaque para a etapa D



Fonte: autoras (2021)

Vale destacar as tarefas que devem ser realizadas na etapa D, apresentadas através do fluxo da Figura 17.

Figura 17 – Fluxo de implementação de ações corretivas no planejamento



Fonte: autoras (2021)

No capítulo 4, serão descritas as atividades realizadas no estudo de caso, juntamente com as impressões e observações das autoras que são relevantes para as discussões acerca do tema e para o cumprimento dos objetivos propostos.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos seguidos para o estudo de caso da rodovia ES 010, juntamente com as análises das autoras para cada uma das quatro etapas de desenvolvimento.

O projeto se iniciou a partir de uma reunião realizada com os funcionários da empresa C, que, por possuírem experiência com a execução de obras, forneceram informações importantes que nortearam a elaboração do planejamento. Assim, elaborou-se uma ata de reunião contendo as diversas premissas que foram estabelecidas, incluindo:

- Deseja-se que a obra seja realizada em 12 meses.
- O trecho total onde serão realizadas as obras deverá ser dividido em cinco partes, identificadas no Quadro 5, onde cada estaca corresponde a 20 m.
- Cada parte será subdividida em trechos conforme o Quadro 6 Isso foi necessário para minimizar os impactos da obra nas pessoas que trafegam no local, permitindo a interdição de um pequeno trecho de cada vez. Dessa forma, para a pista dupla, procurou-se estabelecer trechos de cerca de 500m, já para a pista simples, trechos de aproximadamente 400m. Os comprimentos variam porque cada trecho engloba um número inteiro de quadras, isto é, tomando-se a definição de um trecho na pista duplicada, como exemplo, caso 500m correspondam a 3,5 quadras, deve-se optar por reduzir ou aumentar o trecho de modo que englobe 3 ou 4 quadras.
- As obras do trecho a recuperar devem se iniciar a partir da estaca 1216, visto que nessa região o tráfego de pedestres e veículos é de menor intensidade, assim, será menos impactante a interdição do fluxo.

Quadro 5 - Divisão do trecho total em cinco partes

Parte	Descrição	Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento (m)
1	Trecho a recuperar antes da ponte	1000	1084	1680
2	Trecho a recuperar depois da ponte	1089	1216	2540
3	Trecho a duplicar antes do enrocamento	1216	1338	2440
4	Trecho a duplicar depois do enrocamento	1338	1376	760
5	Ponte	1084	1089	100

Fonte: autoras (2021)

Quadro 6 - Definição dos trechos de execução

Nº	Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento (m)	Rua Inicial	Rua Final
1	1000	1032	640	Espírito Santo	Q
2	1032	1057	500	Q	Leão Castelo
3	1057	1084	540	Leão Castelo	Ponte
	1084	1089	100	Ponte	
4	1089	1114	500	Ponte	Porto Alegre
5	1114	1139	500	Porto Alegre	Goiás
6	1139	1164	500	Goiás	Jequi
7	1164	1189	500	Jequi	Guaracy
8	1189	1216	540	Guaracy	Guayanases
9	1216	1237	420	Guayanases	Aimorés
10	1237	1256	380	Aimorés	Santa Leduina
11	1256	1273	340	Santa Leduina	Santa Inês
12	1273	1294	420	Santa Inês	São Francisco
13	1294	1315	420	São Francisco	São Benedito
14	1315	1338	460	São Benedito	José Manoel Maioli
15	1338	1353	300	José Manoel Maioli	Ida Bittencourt Feu
16	1353	1376	460	Ida Bittencourt Feu	-

Fonte: autoras (2021)

Nos itens deste capítulo, serão apresentados os procedimentos adotados em cada etapa de desenvolvimento deste estudo de caso. Os resultados serão apresentados conforme as etapas A – desenvolvimento do cronograma da obra; B – modelagem 3D; C – modelagem 4D; e D – análise da simulação e aprimoramento do planejamento, detalhadas no item 3.3 da metodologia. Assim, pretende-se, ao final, obter um modelo 4D e um cronograma de obra aprimorado por consequências das discussões originadas da simulação 4D desenvolvida.

4.1 ETAPA A: DESENVOLVIMENTO DE CRONOGRAMA NO PROJECT E NO EXCEL

Com base nas observações feitas na reunião e nas informações do edital da licitação, deu-se início à etapa A do estudo de caso a partir da listagem, no Project, das atividades que serão desempenhadas na obra, constituindo a EAP. Partes dessa EAP podem ser visualizadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Atividades a serem realizadas no trecho 8

Nome da Tarefa
Trecho 8 - da Guaracy à Guayanases
Faixas centrais
Drenagem
Demolição do canteiro central existente
Abertura de cava
Regularização de cava
Assentamento de tubo (galeria)
Assentamento de tubo (drenos)
Poços de visita
Reaterro e compactação
Restauração do pavimento e pavimentação
Recuperação da base
Fresagem
Revestimento asfáltico - Faixa B
Revestimento asfáltico - Faixa C
Canteiro central
Demolição de canteiro central existente
Meio-fio
Aterro e compactação
Revestimento vegetal com grama
Plantio de mudas arbóreas
Obras complementares
Faixas externas
Drenagem
Drenos
Caixas coletoras
Poços de visita
Substituição de grelhas
Restauração do pavimento e pavimentação
Recuperação da base
Fresagem
Revestimento asfáltico - Faixa B
Revestimento asfáltico - Faixa C
Calçada
Demolição da calçada existente
Meio-fio
Aterro e compactação
Plantio de árvores
Concretagem
Regularização com argamassa
Sinalização

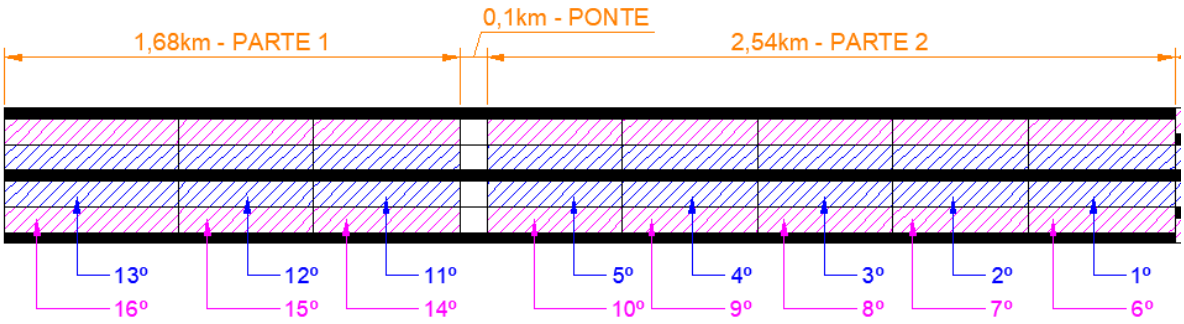
Fonte: autoras (2021)

A maior parte das atividades listadas no Quadro 7, atividades a serem realizadas no trecho 8, se repetem para os demais trechos, com algumas diferenças

que foram identificadas a partir do anteprojeto. Por exemplo, nos trechos 4 a 7 não há drenagem longitudinal prevista, por isso, a tarefa de drenagem nas faixas centrais não existe. Em relação aos trechos a duplicar, há, ainda, tarefas relacionadas à duplicação, como escavação e execução de base e sub-base.

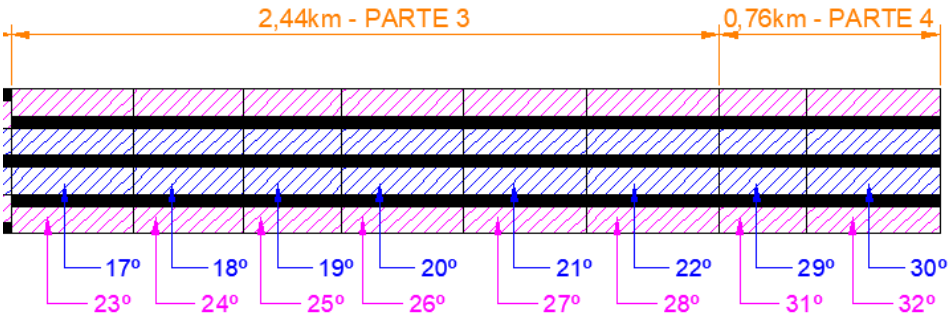
A listagem das atividades seguiu-se da definição das precedências entre tarefas, com preenchimento das colunas Predecessoras e Sucessoras do Project. Neste ponto, encontrou-se dificuldade para estabelecer a ordem de interdição e execução das obras por trecho. Assim, elaborou-se, através do *software* AutoCAD da empresa Autodesk, um croqui da ES 010, incluindo a subdivisão em trechos e a identificação das faixas externas e centrais. Ao lado de cada conjunto de faixas, identificou-se o número ordinal de sua execução (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 - Croqui dos trechos 1 a 8 com identificação da ordem de execução



Fonte: autoras (2021)

Figura 19 - Croqui dos trechos 9 a 16 com identificação da ordem de execução



Fonte: autoras (2021)

O croqui foi apresentado ao gerente de obras, que confirmou a ordem de execução idealizada. No entanto, como forma de obter uma segunda confirmação e aumentar a confiabilidade do planejamento, optou-se por representar essa ordem de execução com uma simulação 4D. Esse processo será apresentado no item 4.1.1.

4.1.1 Desenvolvimento da simulação 4D da ordem de interdição e execução dos trechos

Primeiramente, foi necessário criar um arquivo no Project. Nesse arquivo, criaram-se 32 tarefas, em que cada tarefa corresponde à execução de um conjunto de faixas identificadas no croqui (Quadro 8).

Quadro 8 - Cronograma de interdições para simulação 4D

Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	CÓDIGO	TASK TYPE
Simulação 4D das interdições	**256 dias**	**17/05/21**	**09/05/22**			
Trecho 8 - Faixas Centrais	8 dias	17/05/21	26/05/21		T8_FC	Interdição
Trecho 7 - Faixas Centrais	8 dias	27/05/21	07/06/21	1	T7_FC	Interdição
Trecho 6 - Faixas Centrais	8 dias	08/06/21	17/06/21	2	T6_FC	Interdição
Trecho 5 - Faixas Centrais	8 dias	18/06/21	29/06/21	3	T5_FC	Interdição
Trecho 4 - Faixas Centrais	8 dias	30/06/21	09/07/21	4	T4_FC	Interdição
Trecho 8 - Faixas Externas	8 dias	12/07/21	21/07/21	5	T8_FE	Interdição
Trecho 7 - Faixas Externas	8 dias	22/07/21	02/08/21	6	T7_FE	Interdição
Trecho 6 - Faixas Externas	8 dias	03/08/21	12/08/21	7	T6_FE	Interdição
Trecho 5 - Faixas Externas	8 dias	13/08/21	24/08/21	8	T5_FE	Interdição
Trecho 4 - Faixas Externas	8 dias	25/08/21	03/09/21	9	T4_FE	Interdição
Trecho 3 - Faixas Centrais	8 dias	06/09/21	15/09/21	10	T3_FC	Interdição
Trecho 2 - Faixas Centrais	8 dias	16/09/21	27/09/21	11	T2_FC	Interdição
Trecho 1 - Faixas Centrais	8 dias	28/09/21	07/10/21	12	T1_FC	Interdição
Trecho 3 - Faixas Externas	8 dias	08/10/21	19/10/21	13	T3_FE	Interdição
Trecho 2 - Faixas Externas	8 dias	20/10/21	29/10/21	14	T2_FE	Interdição
Trecho 1 - Faixas Externas	8 dias	01/11/21	10/11/21	15	T1_FE	Interdição
Trecho 9 - Faixas Centrais	8 dias	11/11/21	22/11/21	16	T9_FC	Interdição
Trecho 10 - Faixas Centrais	8 dias	23/11/21	02/12/21	17	T10_FC	Interdição
Trecho 11 - Faixas Centrais	8 dias	03/12/21	14/12/21	18	T11_FC	Interdição
Trecho 12 - Faixas Centrais	8 dias	15/12/21	24/12/21	19	T12_FC	Interdição
Trecho 13 - Faixas Centrais	8 dias	27/12/21	05/01/22	20	T13_FC	Interdição
Trecho 14 - Faixas Centrais	8 dias	06/01/22	17/01/22	21	T14_FC	Interdição
Trecho 9 - Faixas Externas	8 dias	18/01/22	27/01/22	22	T9_FE	Interdição
Trecho 10 - Faixas Externas	8 dias	28/01/22	08/02/22	23	T10_FE	Interdição
Trecho 11 - Faixas Externas	8 dias	09/02/22	18/02/22	24	T11_FE	Interdição
Trecho 12 - Faixas Externas	8 dias	21/02/22	02/03/22	25	T12_FE	Interdição
Trecho 13 - Faixas Externas	8 dias	03/03/22	14/03/22	26	T13_FE	Interdição
Trecho 14 - Faixas Externas	8 dias	15/03/22	24/03/22	27	T14_FE	Interdição
Trecho 15 - Faixas Centrais	8 dias	25/03/22	05/04/22	28	T15_FC	Interdição
Trecho 16 - Faixas Centrais	8 dias	06/04/22	15/04/22	29	T16_FC	Interdição
Trecho 15 - Faixas Externas	8 dias	18/04/22	27/04/22	30	T15_FE	Interdição
Trecho 16 - Faixas Externas	8 dias	28/04/22	09/05/22	31	T16_FE	Interdição

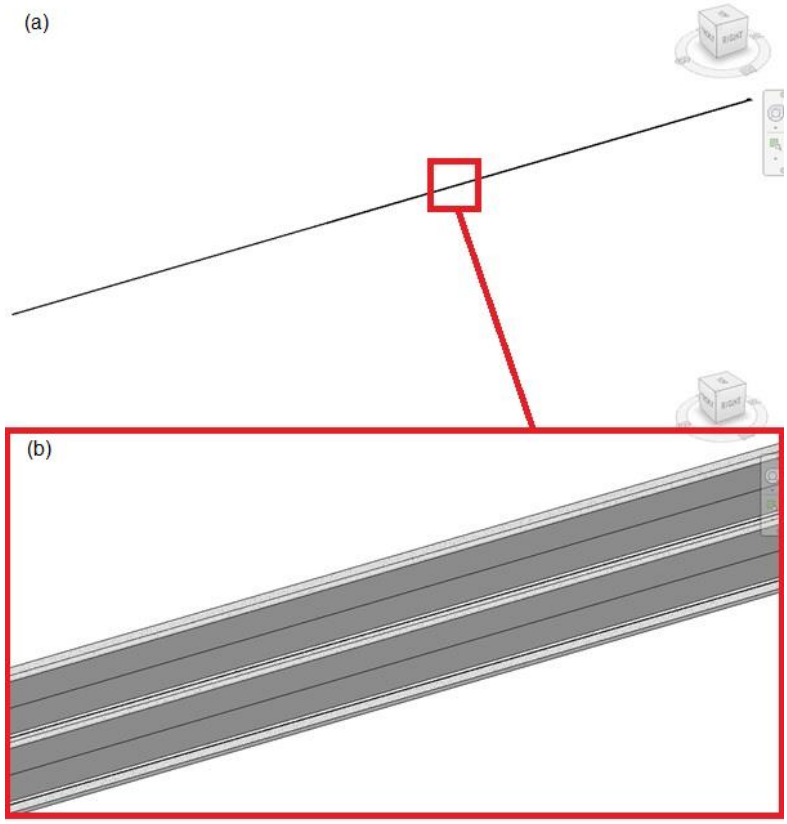
Fonte: autoras (2021)

As predecessoras foram definidas de modo a corresponder às precedências identificadas no croqui. Em seguida, as durações foram alteradas para 8 dias úteis, de modo que, ao final, o cronograma totalize aproximadamente 365 dias corridos, conforme solicitação da empresa C para que as obras durassem 1 ano.

Criaram-se nesse cronograma, ainda, duas colunas extras do tipo texto: uma chamada Código (*Text 1*) e outra chamada *Task Type* (*Text 2*). A coluna código recebeu a codificação das tarefas, em que T designa trecho, a numeração designa o número do trecho, F designa faixas, C designa “centrais” e E designa “externas”. Dessa forma, o código T10_FC, por exemplo, designa as faixas centrais do trecho 10. A coluna *Task Type*, por sua vez, foi preenchida em todas as linhas por “Interdição”. Essa coluna designa o tipo de tarefa a ser definido no Navisworks posteriormente.

Em seguida, procedeu-se para a modelagem 3D do empreendimento no Revit. Percebeu-se, no entanto, que, por ser um trecho muito extenso (7,52 km no total), seria complexo visualizar os trechos e as atividades na simulação (Figura 20).

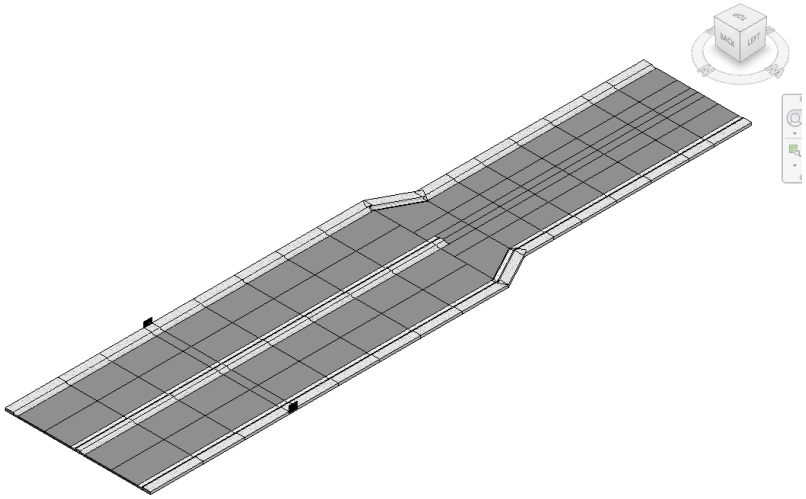
Figura 20 - Vista 3D da via modelada no Revit em toda sua extensão (a) e com zoom aplicado (b)



Fonte: autoras (2021)

Dessa forma, optou-se por desenvolver um modelo reduzido em que as distâncias longitudinais foram divididas por 100. Assim, um trecho de 500 m, por exemplo, terá 500 cm nesse modelo reduzido (Figura 21).

Figura 21 - Modelo 3D reduzido da via

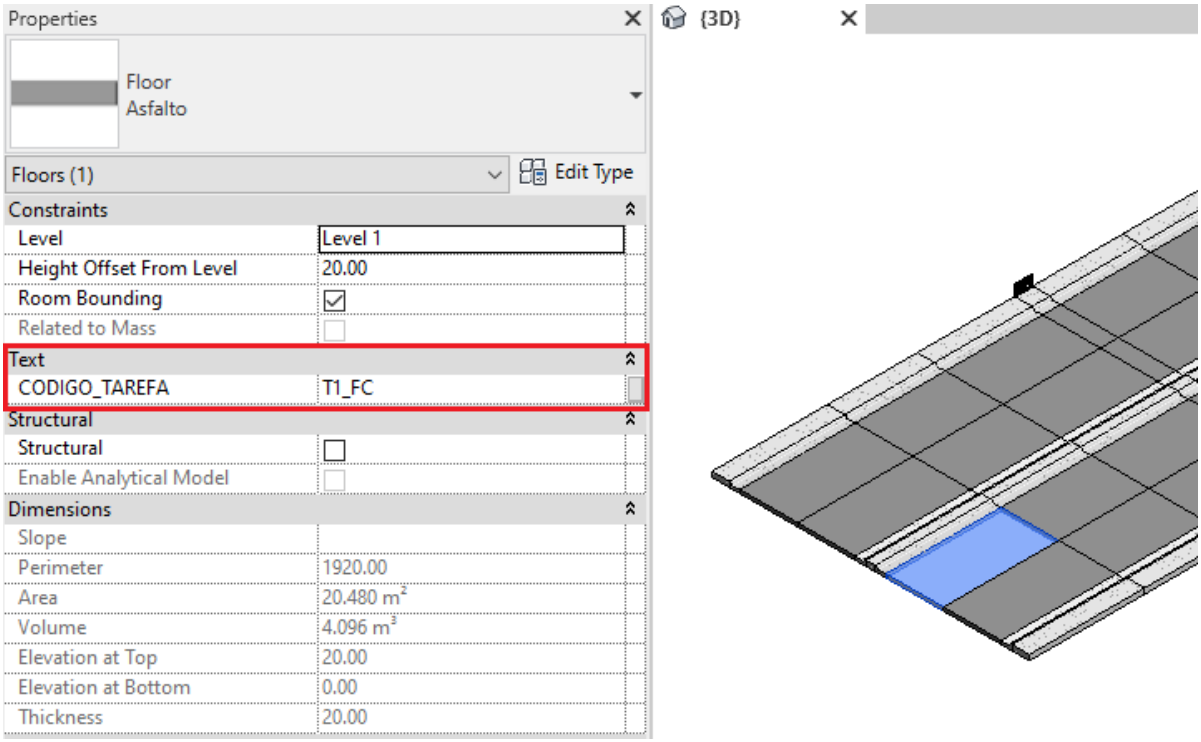


Fonte: autoras (2021)

Em seguida, criou-se um parâmetro chamado “CODIGO_TAREFA” para identificar cada objeto 3D com o código da tarefa a que se refere (

Figura 22).

Figura 22 - Propriedades de um objeto no modelo 3D com destaque para o parâmetro CODIGO_TAREFA



Fonte: autoras (2021)

Assim, pôde-se prosseguir para o Navisworks. Em um arquivo novo, primeiramente, criou-se o *Task Type* Interdição. Em seguida, inseriram-se o modelo 3D e o cronograma de interdições e associaram-se os objetos 3D às tarefas do cronograma de interdição através da criação de uma regra que compara o parâmetro CODIGO_TAREFA do modelo 3D com a coluna CÓDIGO do cronograma. Concluindo e aplicando a regra, a associação é feita automaticamente e se obtém um modelo 4D pronto para gerar uma simulação.

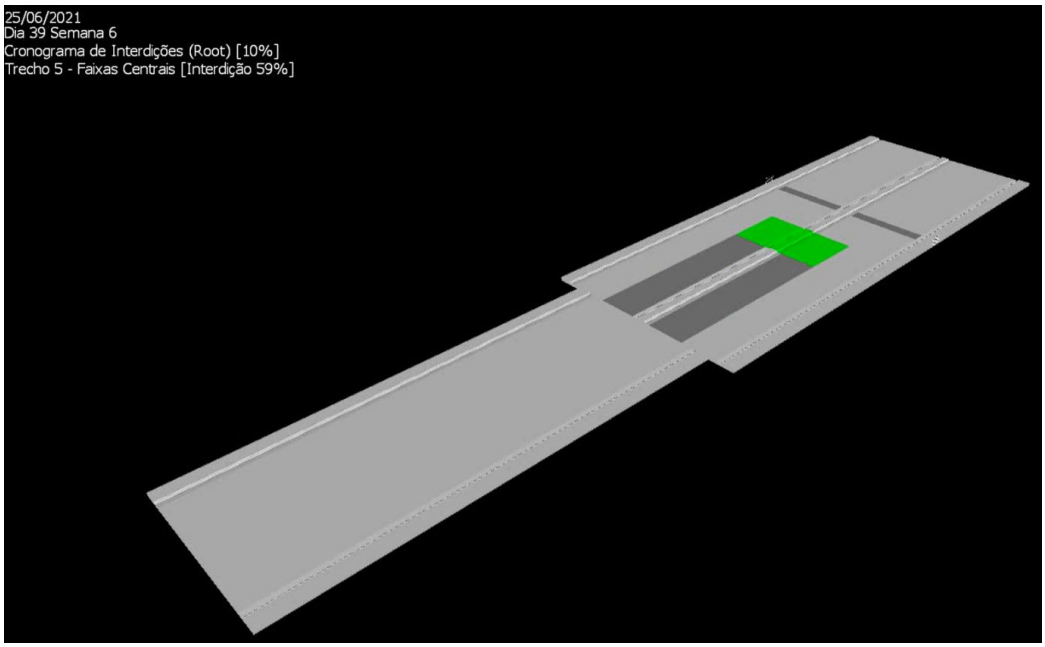
Antes de gerar a simulação, porém, ajustou-se o tempo total do vídeo para 120 segundos e configurou-se o texto que aparece na simulação para exibir a data, o número de dias e semanas desde o início da obra e as tarefas em execução. O resultado da configuração é apresentado na Figura 23. Esse texto é atualizado à medida que o vídeo avança, mostrando a passagem de dias e as tarefas em execução a cada momento.

Figura 23 - Texto exibido na simulação após configurações

Fonte: autoras (2021)

Assim, a simulação foi gerada e exportada e concluiu-se a simulação 4D de interdições. O vídeo exportado (Figura 24) foi apresentado ao gerente da obra, com o intuito de obter uma segunda confirmação de que a ordem de execução estava correta. No entanto, ao contrário da primeira confirmação, desta vez, o gerente de obra apontou uma crítica, que evidenciou a falta de detalhamento das informações do *briefing*.

Figura 24 - Simulação 4D de interdições

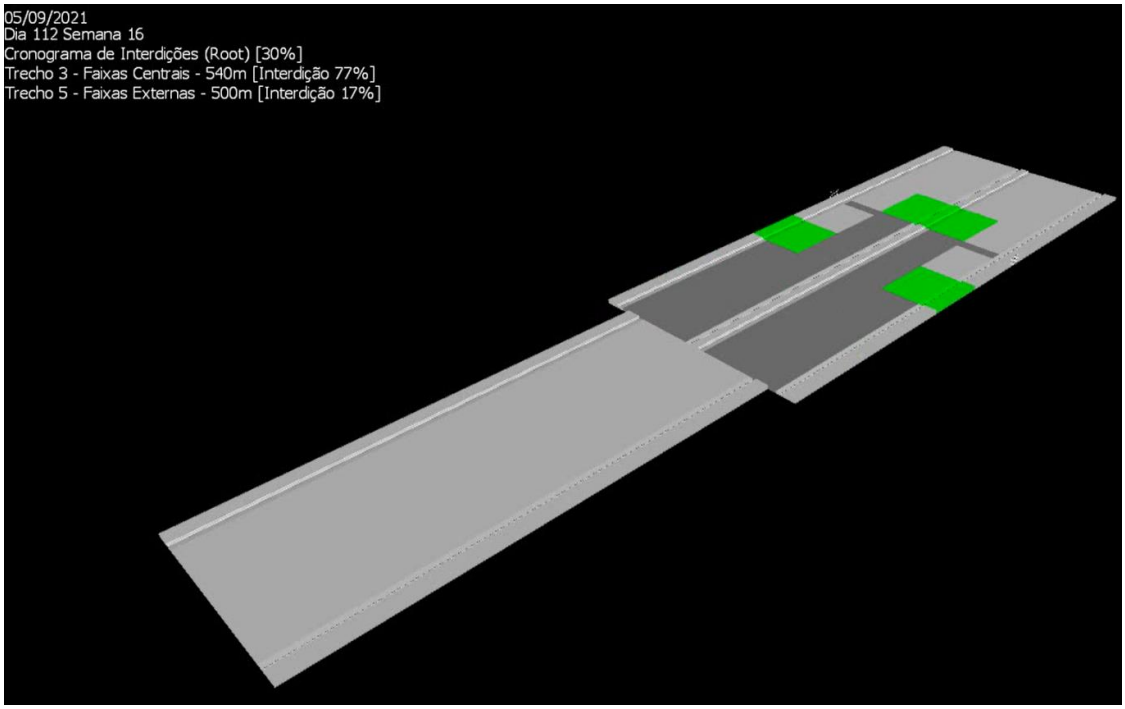


Fonte: autoras (2021)

Segundo ele, em vez de executar um trecho por vez, haverá duas frentes de trabalho executando as obras, dessa forma, será possível trabalhar em dois trechos ao mesmo tempo. No entanto, esses trechos não devem ser concorrentes, isto é, devem ser distantes um do outro, como forma de reduzir o impacto das interdições na população que trafega no local.

Com isso, pôde-se gerar uma segunda simulação com os ajustes propostos pelo gerente. Para isso, foi necessário editar as precedências do cronograma no Project (através da coluna Predecessoras) e sincronizar as alterações. Em seguida, gerou-se a simulação 4D ajustada (Figura 25), que foi enviada para o gerente da obra e, enfim, aprovada.

Figura 25 - Simulação 4D de interdições ajustada



Fonte: autoras (2021)

Esse procedimento foi essencial para se avançar com o planejamento da obra, uma vez que a ordem de execução é um item primordial para a elaboração do cronograma. Dessa forma, voltou-se a atenção para a definição das relações de precedência das atividades da EAP.

Ainda com as conclusões obtidas a partir da simulação 4D de interdições, a definição das precedências era uma tarefa complexa, dada a grande quantidade de atividades na EAP (600 no total). Assim, optou-se por simplificar a EAP, substituindo os conjuntos de tarefas pequenas por tarefas gerais que englobassem seus respectivos conjuntos (Quadro 9). Por exemplo, as subtarefas de “calçada” (meio-fio, aterro e compactação, plantio de árvores, concretagem e regularização com argamassa) podem ser substituídas por uma tarefa única chamada “calçada e meio-fio”.

Quadro 9 - Comparação das listas de tarefas atualizada e original

Nome da Tarefa Atualizado	Nome da Tarefa Original
Demolições para duplicação (inclusive calçadas existentes)	Demolição da calçada existente
Demolição de canteiro central existente	Demolição do canteiro central existente
Duplicação	Duplicação
Escavação e bota-fora	Escavação e bota-fora
Sub-base	Sub-base
Base	Base
Recuperação de base	Recuperação da base
Drenagem	Drenagem
Longitudinal	Abertura de cava
	Regularização de cava
	Assentamento de tubo (galeria)
	Reaterro e compactação
Poços de visita e caixas coletoras – Lateral	Poços de visita
	Caixas coletoras
Drenos	Assentamento de tubo (drenos)
Substituição de grelhas	Substituição de grelhas
Demolições para construção do canteiro central	Demolições para construção do canteiro central
Meio-fio e canteiro central	Meio-fio
	Aterro e compactação
	Revestimento vegetal com grama
	Plantio de mudas arbóreas
Meio-fio e calçada	Meio-fio
	Aterro e compactação
	Plantio de árvores
	Concretagem
	Regularização com argamassa
Fresagem	Fresagem
Pavimentação	Pavimentação
Pintura de ligação	
Revestimento asfáltico - Faixa B	Revestimento asfáltico - Faixa B
Revestimento asfáltico - Faixa C	Revestimento asfáltico - Faixa C
Obras complementares	Obras complementares
Sinalização Vertical e Semafórica	Sinalização
Sinalização Horizontal	

Fonte: autoras (2021)

Outra atualização trazida pela nova EAP foi que, ao invés de inserir as atividades em nível hierárquico inferior aos trechos de execução, os trechos foram inseridos dentro das atividades, como mostra o exemplo do Quadro 10. Essa modificação se deu para facilitar o posterior uso do cronograma para acompanhar o avanço físico da obra e elaborar boletins mensais de medição, solicitados pelo DER-ES.

Quadro 10 - EAP atualizada, com atividade de demolições para duplicação expandida

Nome da Tarefa
EAP
Demolições para duplicação (inclusive calçadas existentes)
Trecho 9
Trecho 10
Trecho 11
Trecho 12
Trecho 13
Trecho 14
Trecho 15
Trecho 16
Demolição de canteiro central existente

Fonte: autoras (2021)

Assim, com base nessa lista de atividades, estabeleceram-se as precedências de forma mais simples. Em seguida, semelhante ao que foi feito no cronograma de interdições, criaram-se duas colunas de texto no Project: uma de código da atividade e outra de *Task Type*, conforme mostra o fragmento da EAP do Quadro 11.

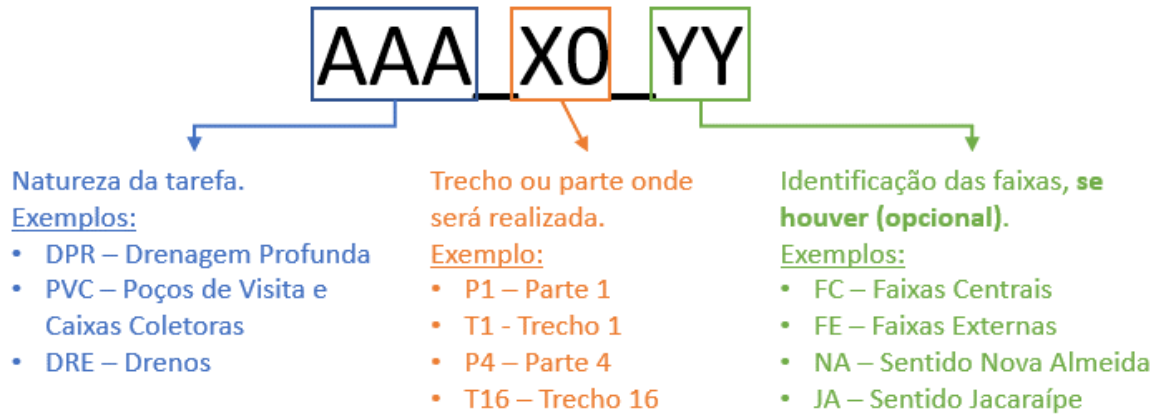
Quadro 11 - Fragmento da EAP incluindo as colunas de Código, Task Type e Predecessoras

Nome da Tarefa	Código	Task Type	Predecessoras
Drenagem			
Longitudinal (Profunda)		**DPR**	
Trecho 1	DPR_T1	DPR	11;64
Trecho 2	DPR_T2	DPR	12;65
Trecho 3	DPR_T3	DPR	13;66
Trecho 8	DPR_T8	DPR	14
Trecho 9	DPR_T9	DPR	15;63
Poços de visita e caixas coletoras – Lateral		**PVC**	
Trecho 1 - Sentido Jacaraípe	PVC_T1 _JA	PVC	78
Trecho 1 - Sentido Nova Almeida	PVC_T1 _NA	PVC	79
Trecho 2 - Sentido Jacaraípe	PVC_T2 _JA	PVC	80
Trecho 2 - Sentido Nova Almeida	PVC_T2 _NA	PVC	82
Trecho 3 - Sentido Jacaraípe	PVC_T3 _JA	PVC	81
Drenos		**DRE**	
Trecho 1 - Faixas Centrais	DRE_T1_FC	DRE	107
Trecho 1 - Faixas Externas	DRE_T1_FE	DRE	108
Trecho 2 - Faixas Centrais	DRE_T2_FC	DRE	109
Trecho 2 - Faixas Externas	DRE_T2_FE	DRE	110

Fonte: autoras (2021)

Nesse cronograma, estabeleceu-se a estrutura de codificação mostrada na Figura 26.

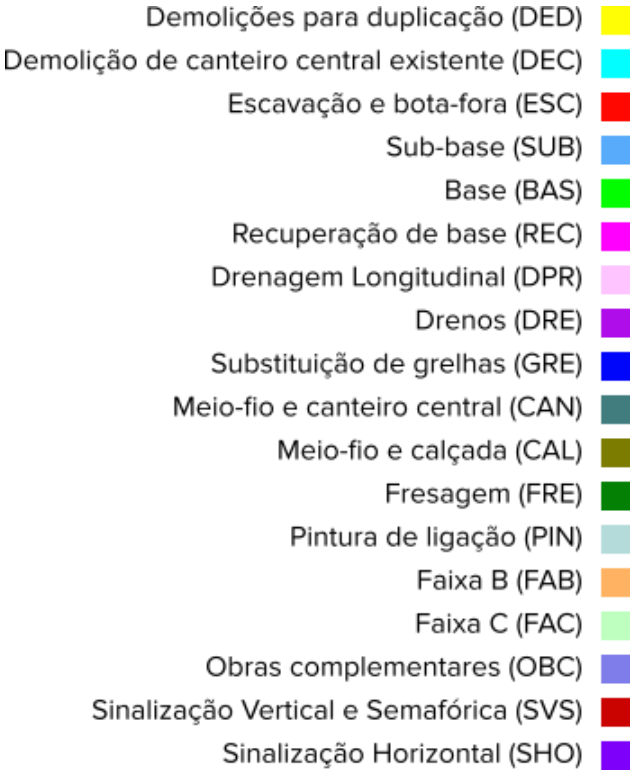
Figura 26 - Estrutura do código das tarefas



Fonte: autoras (2021)

Além disso, criaram-se dezoito *Task Types*, cada um para uma tarefa da EAP a ser realizada por repetidas vezes em trechos distintos. Cada *Task Type* será associado a uma cor no Navisworks, conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 - *Task Types* criados e cores associadas



Fonte: autoras (2021)

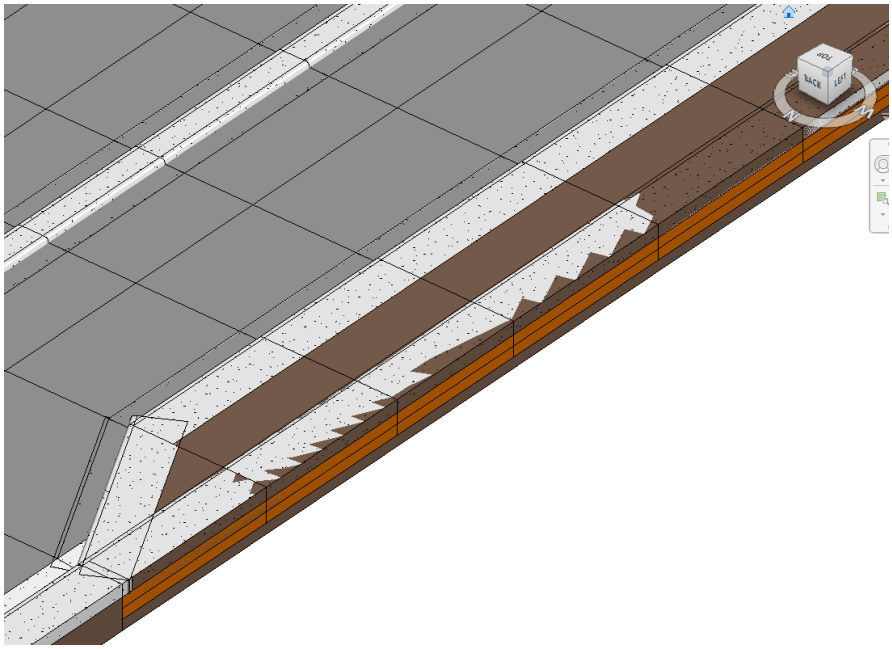
O próximo passo de desenvolvimento do cronograma seria o cálculo das durações. No entanto, como há muitas tarefas na EAP, o trabalho se torna complexo, aumentando a possibilidade de haver erros na sequência de atividades. Surgiu, assim, a necessidade de visualizar melhor a EAP elaborada e confirmar sua coerência antes de prosseguir para o cálculo das durações, como forma de evitar retrabalho posterior. Para isso, as autoras optaram por gerar outra simulação 4D, conforme passos apresentados no item 4.1.2.

4.1.2 Desenvolvimento da simulação 4D da sequência de atividades

Para desenvolver a simulação 4D da sequência de atividades, como a EAP já estava pronta, o primeiro passo foi desenvolver o modelo 3D no Revit. Para isso, utilizou-se o mesmo arquivo de extensão *.rvt utilizado na simulação 4D da ordem de execução dos trechos, que foi editado para atender às necessidades da EAP.

Foi necessário modelar novos objetos, de forma que todas as atividades pudessem ser representadas na simulação. Modelaram-se, assim, o solo ao redor da pista simples a ser escavado, as camadas de base e sub-base, as camadas de revestimento novas, as calçadas e meios-fios novos, entre outros. Alguns desses objetos, ainda, ficaram sobrepostos, por exemplo, o revestimento novo com o revestimento antigo ou a calçada a construir com o solo existente nas adjacências do trecho simples (Figura 28). Para resolver esse problema de visualização, utilizou-se como recurso a configuração de fases de projeto do Revit.

Figura 28 - Solo existente sobreposto a calçada e revestimento a construir no modelo 3D

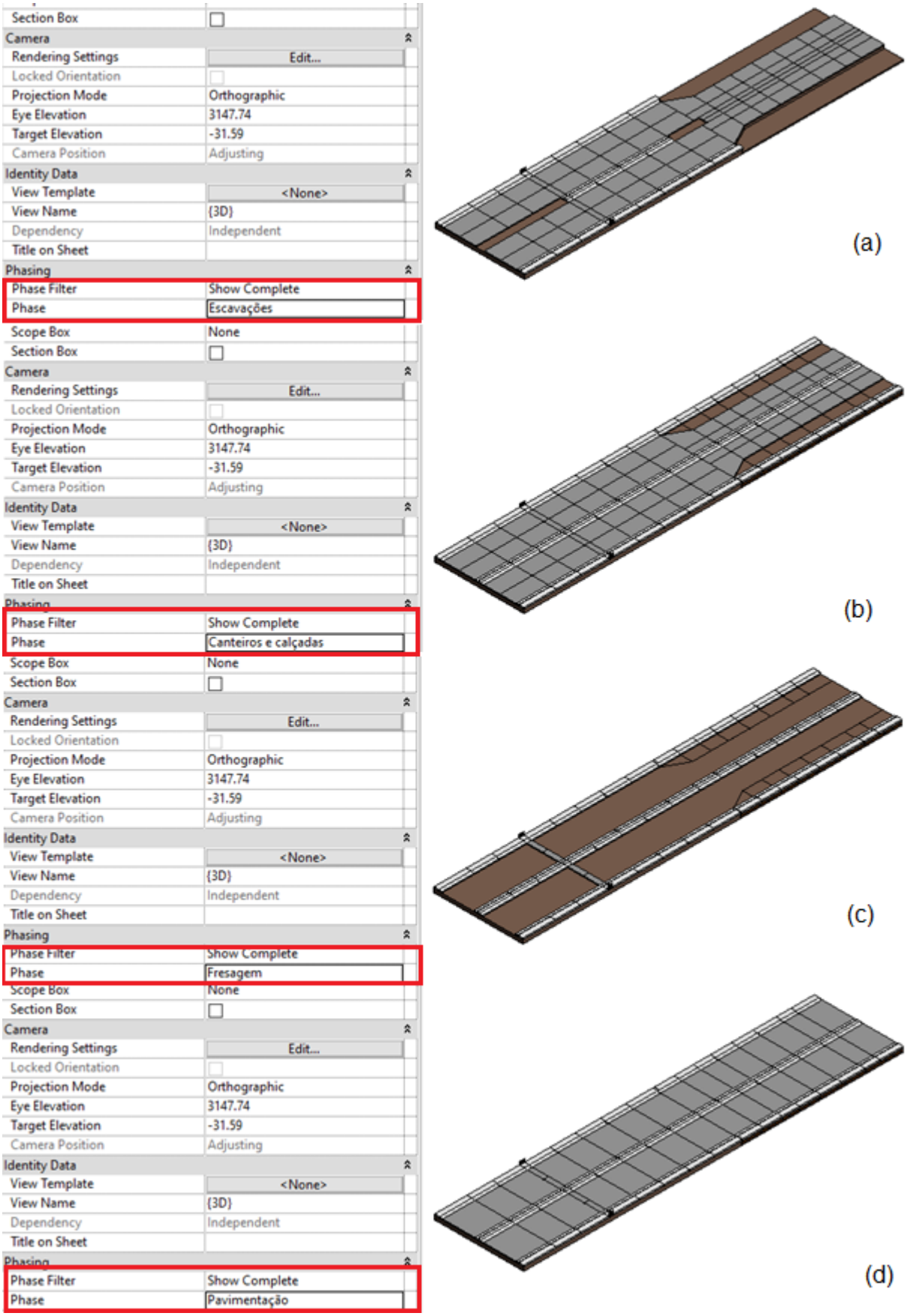


Fonte: autoras (2021)

Para o caso deste projeto, optou-se por criar sete fases: a primeira inicial, antes das obras iniciarem; a segunda após demolições; a terceira após escavações; a quarta após execução de camadas granulares; a quinta após execução de canteiros e calçadas; a sexta após realizada a fresagem; e a sétima após a pavimentação.

Em seguida, para cada objeto do modelo, configura-se a fase em que foi criado e a fase em que foi demolido (se houver demolição). Com isso, foi possível configurar a visualização das vistas para exibir somente os objetos já existentes em determinada fase. Alguns exemplos de aplicação do filtro podem ser visualizados na Figura 29. Dessa forma, os modelos não apresentarão objetos sobrepostos. O modelo final, por exemplo, com filtro aplicado para a fase Pavimentação, só exibirá uma camada de revestimento asfáltico, sem sobreposição, visto que a camada antiga já foi demolida em uma fase anterior, e, por isso, não aparece na visualização.

Figura 29 - Exemplos de aplicação dos filtros de fase nas vistas do modelo 3D



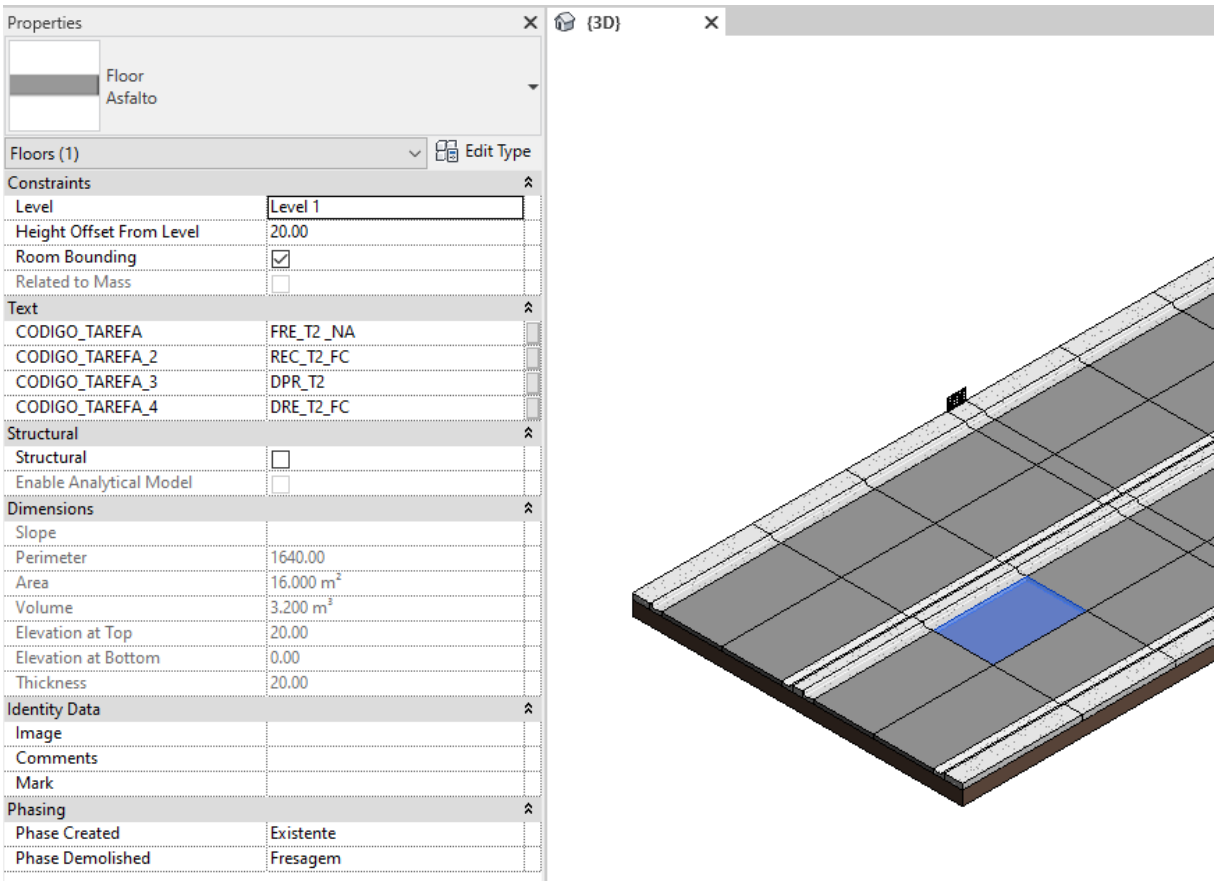
Fonte: autoras (2021)

Esse processo de configuração de fases foi de suma importância para o trabalho com o modelo 3D, pois, sem esse recurso, seria difícil selecionar e parametrizar os objetos em que há sobreposição. Além disso, a visualização seria prejudicada, o que certamente aumentaria a complexidade, o esforço e o tempo necessário para as adequadas modelagem e parametrização.

O próximo passo consistiu na parametrização dos objetos 3D com os códigos das atividades. Para isso, foram criados, além do CODIGO_TAREFA, mais três parâmetros, nomeados CODIGO_TAREFA_2, CODIGO_TAREFA_3 e CODIGO_TAREFA_4. Assim, foi possível atribuir a um único objeto até quatro códigos, isto é, quatro atividades. Esse recurso foi particularmente útil para permitir a representação das atividades de drenagem, visto que não há tubulações, poços de visita e caixas coletoras modeladas, dessa forma, optou-se por representar essas atividades em objetos 3D próximos.

Um exemplo pode ser visualizado na Figura 30, onde se apresentam as propriedades de um fragmento de revestimento asfáltico localizado na faixa central que fica no sentido Nova Almeida no trecho 2. Há quatro tarefas que serão representadas na simulação através desse objeto: fresagem (FRE_T2_NA), recuperação estrutural da base (REC_T2_FC), drenagem profunda longitudinal (DPR_T2) e execução dos drenos (DRE_T2_FC).

Figura 30 – Propriedades de um fragmento de revestimento asfáltico do modelo 3D que está associado a quatro diferentes tarefas

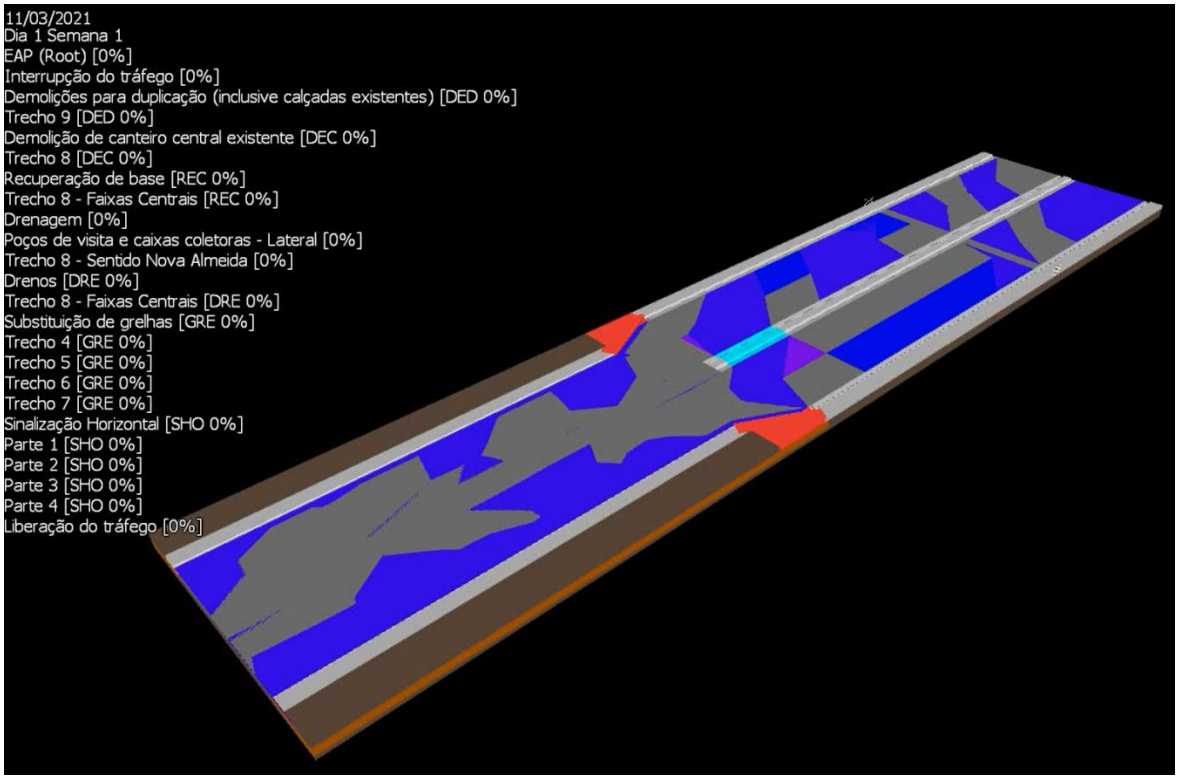


Fonte: autoras (2021)

Assim, com os objetos modelados e parametrizados, pôde-se prosseguir para a modelagem 4D no Navisworks. Inicialmente, foi necessário criar os *Task Types*

definidos na EAP. Em seguida, inseriram-se o modelo e a EAP no *software* e associaram-se as tarefas aos objetos com definição de quatro regras, sendo uma para cada parâmetro de código criado. Assim, finalizou-se a modelagem 4D e prosseguiu-se para assistir à simulação (Figura 31).

Figura 31 - Dia 1 da simulação 4D da EAP



Fonte: autoras (2021)

Essa simulação 4D permitiu, rapidamente, identificar um erro na tarefa de sinalização horizontal, que deve ser realizada ao final das obras, mas está aparecendo logo no começo. Isso indica um defeito na definição de predecessoras no cronograma, que foi corrigido imediatamente no Project.

A tarefa de substituição das grelhas também apresentou erro, uma vez que apareceu na simulação ocorrendo em todos os trechos ao mesmo tempo, o que permitiu que se corrigissem as relações de precedências no Project.

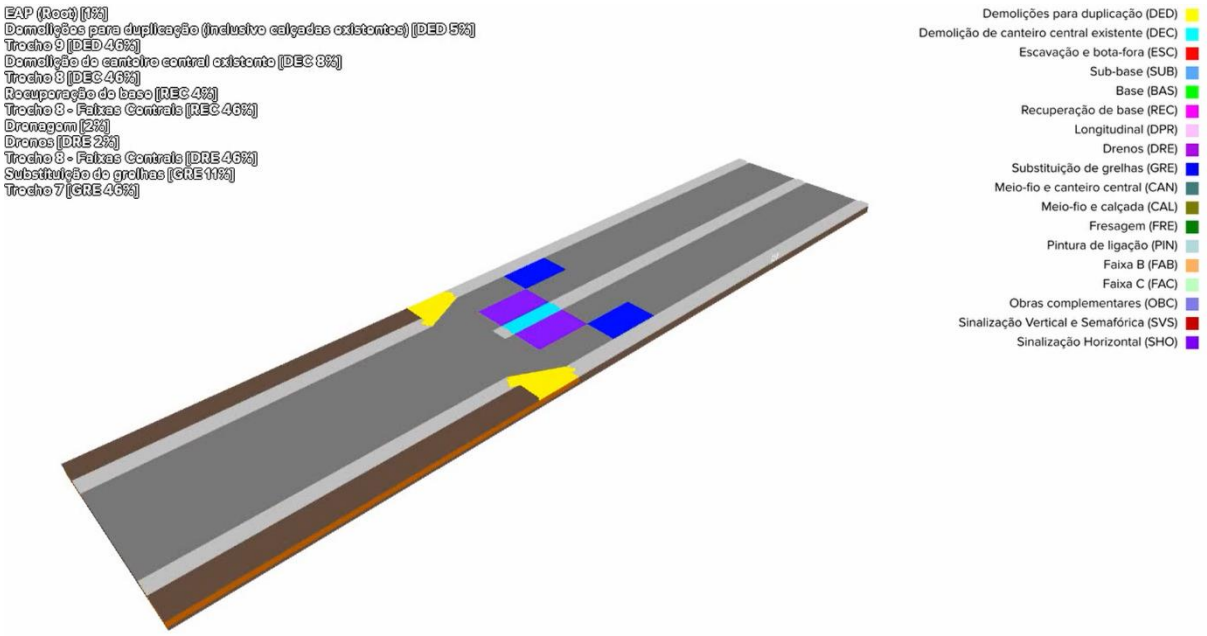
Além disso, observaram-se diversos momentos sem registro de atividades em execução. Isso ocorreu em função dos horários das atividades: por padrão, o Project ajusta as atividades para se iniciarem às 9h e para se concluírem às 18h. Isso cria um período de inatividade entre 18h e 9h da manhã seguinte, o que pode dificultar o entendimento da simulação. Dessa forma, para melhorar a visualização, foi necessário ajustar no Project os horários de início (0h) e fim (23h) das atividades, de modo que o intervalo de 1h de inatividade fosse imperceptível no vídeo.

A partir dessas modificações, gerou-se uma nova simulação 4D. Ainda, aplicaram-se melhorias estéticas, como troca da cor do plano de fundo para branco, alteração da fonte e do conteúdo do texto exibido no canto superior esquerdo e ajuste do estilo de renderização. Em relação ao texto da simulação, manteve-se somente a parte que informa as atividades em execução, excluindo-se as informações de tempo,

visto que as durações das atividades ainda não foram definidas e o vídeo tem o intuito somente de mostrar a sequência de atividades.

Após a exportação da simulação e antes de apresentá-la para o gerente de obra, foi necessário adicionar uma legenda que identificasse o significado de cada cor. Para isso, utilizaram-se dois *softwares*: um de criação de imagens, para criar a legenda – Inkscape; e um de edição de vídeos, para inserir a legenda criada no vídeo – DaVinci Resolve. O resultado é apresentado na Figura 32.

Figura 32 – Dia 1 da simulação 4D da EAP revisada



Fonte: autoras (2021)

O vídeo desenvolvido foi apresentado ao gerente da obra, o que gerou algumas discussões e, com elas, oportunidades de aprimorar o planejamento. Além dos apontamentos do engenheiro, o ato de apresentar e explicar o vídeo a cada dia de obra também permitiu que as próprias autoras notassem pontos passíveis de melhoria que não haviam notado antes da apresentação. Todas as oportunidades de ajustes serão explicadas no item 4.1.2.1.

4.1.2.1 Revisão da simulação 4D da sequência de atividades

Primeiramente, percebeu-se grande dificuldade em acompanhar e compreender as informações no texto da simulação, isto é, as atividades em execução a cada momento no vídeo. Isso ocorre porque o Navisworks não destaca as tarefas-resumo de suas subtarefas no texto, assim, para cada subtarefa em execução, são exibidas duas linhas de texto: uma referente à tarefa-resumo e outra referente à subtarefa, o que torna o texto muito extenso.

Além disso, os nomes das tarefas são apresentados em ordem de início, sendo assim, as tarefas-resumo podem aparecer no topo e as subtarefas nas últimas linhas. Isso causa confusão no leitor, uma vez que as subtarefas são nomeadas de modo simplificado, evitando repetir o que já se encontra em suas tarefas-resumo, como mostra o exemplo do Quadro 12, em que a tarefa-resumo informa a atividade sendo

executada e as subtarefas informam somente o local de execução. Assim, não seria possível compreender exatamente a tarefa em execução caso o Navisworks exibisse o nome da subtarefa separado do nome da tarefa-resumo.

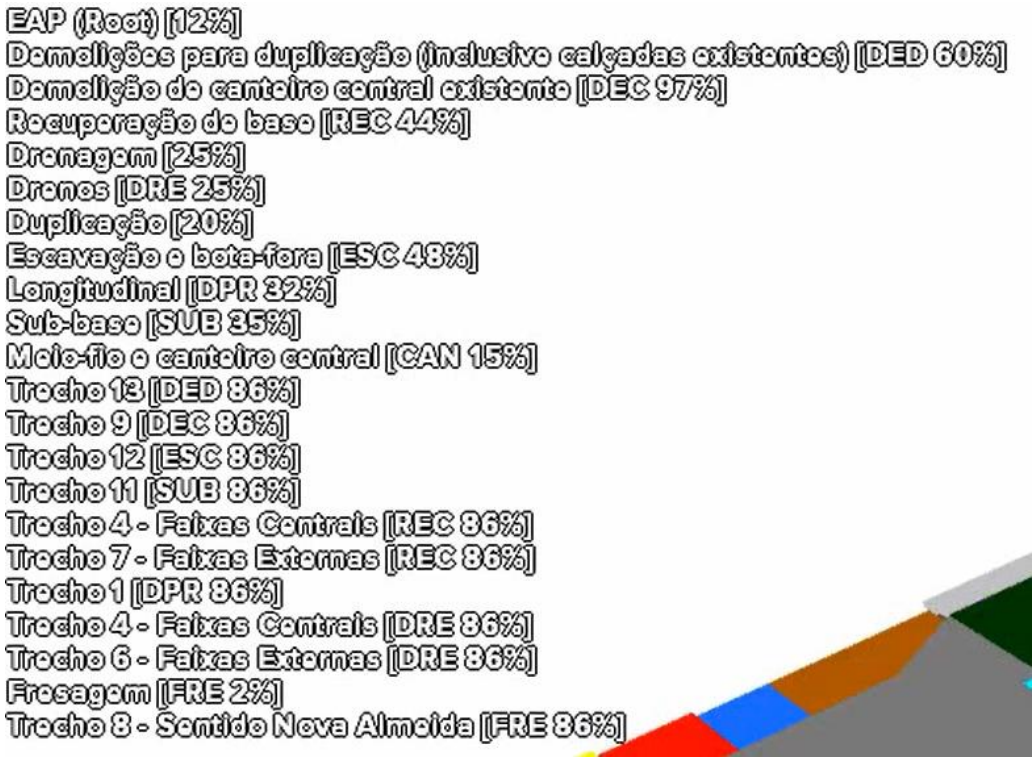
Quadro 12 - Exemplo de tarefa-resumo e suas subtarefas

Nome da Tarefa	Início	Término
Meio-fio e calçada	**27/05/21**	**03/06/21**
Trecho 9	27/05/21	27/05/21
Trecho 10	28/05/21	28/05/21
Trecho 11	29/05/21	29/05/21
Trecho 12	30/05/21	30/05/21
Trecho 13	31/05/21	31/05/21
Trecho 14	01/06/21	01/06/21
Trecho 15	02/06/21	02/06/21
Trecho 16	03/06/21	03/06/21

Fonte: autoras (2021)

Esse problema pode ser visualizado na Figura 33, onde as tarefas-resumo, que informam as atividades em execução, estão todas no topo, e as subtarefas, que informam somente os locais de execução, estão nas linhas de baixo. Além disso, pode-se observar que não há qualquer destaque na formatação que permita diferenciar subtarefa de tarefa-resumo.

Figura 33 – Captura da simulação onde se observa o problema gerado ao se exibir as tarefas-resumo separadas de suas subtarefas

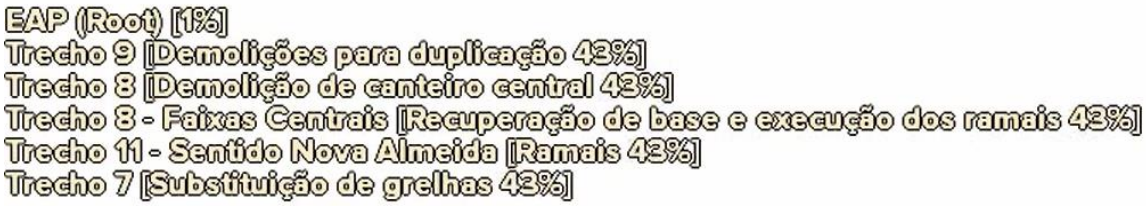


Fonte: autoras (2021)

Com, isso, adotou-se como solução excluir as tarefas-resumo e renomear os *Task Types*, que aparecem entre colchetes ([ ]) ao lado de cada atividade, com os

nomes das tarefas-resumo. O resultado da modificação pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 - Texto da simulação após exclusão das tarefas-resumo e renomeação dos *Task Types*



Fonte: autoras (2021)

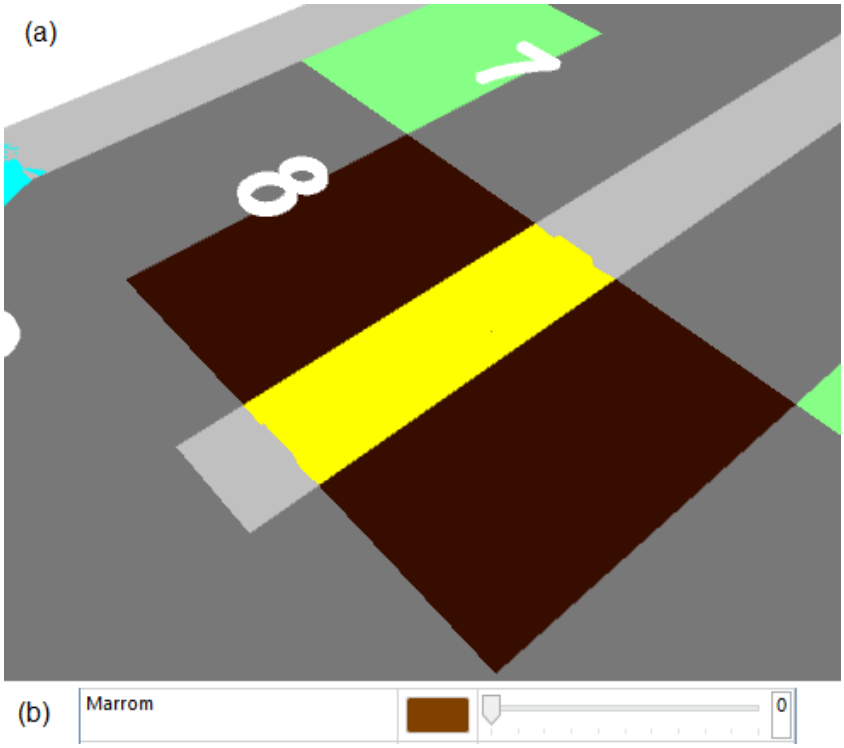
Essa solução foi muito positiva para o entendimento do planejamento, no entanto, é morosa, pois obriga o planejador a trabalhar sem tarefas-resumo – que são itens essenciais para conferir organização ao cronograma e facilitar a navegação no mesmo – ou a exclui-las toda vez que for inserir o cronograma no Navisworks.

Outra modificação aplicada foi a de juntar atividades que aconteciam ao mesmo tempo e no mesmo local no planejamento. Isso foi necessário porque, quando duas tarefas ocorrem ao mesmo tempo em um mesmo objeto 3D, o Navisworks exibe apenas uma.

Ainda, juntaram-se atividades que são realizadas próximas uma da outra, como a execução da base e da sub-base e a execução do revestimento asfáltico e da pintura de ligação. Tais alterações foram positivas pois simplificaram a simulação, reduzindo o excesso de informações e facilitando o entendimento, o que contribuiu para solucionar a queixa do gerente de obra de que havia muitas informações no vídeo, o que dificultava sua interpretação e seu acompanhamento adequado.

Outro problema identificado na simulação foi a dissonância entre as cores observadas na simulação e aquelas exibidas na legenda. Trata-se de uma limitação do Navisworks, pois as cores exibidas na simulação são mais escuras do que as cores escolhidas, quando deveriam ser exatamente iguais (Figura 35). Como a legenda foi desenvolvida com base nas cores configuradas, as cores da legenda acabaram por ser diferentes das cores dos elementos do vídeo. Assim, foi necessário refazer a legenda, editando as cores para corresponderem àquelas de fato exibidas na simulação.

Figura 35 – Comparação entre a cor marrom exibida no vídeo (a) e a cor marrom configurada (b)

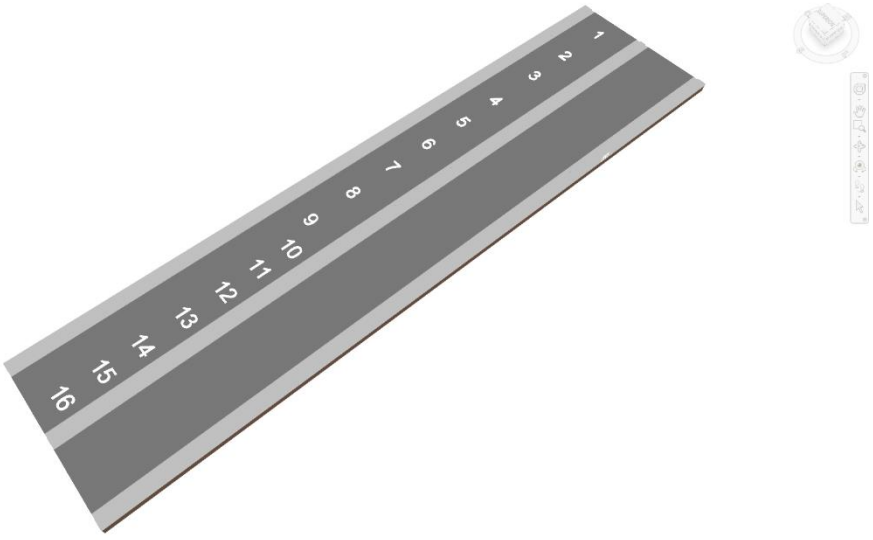


Fonte: autoras (2021)

Além disso, procurou-se evitar cores semelhantes em *Task Types* diferentes, pois isso também dificultava o entendimento da simulação. Sob essa mesma intenção de evitar confusões de cores, editou-se a cor do elemento solo, antes marrom, para cinza, uma vez que o gerente de obra havia confundido esse elemento com uma atividade em execução.

Outro recurso interessante adotado para facilitar a interpretação da simulação foi a de adicionar textos em 3D ao modelo no Revit. O resultado pode ser visualizado na Figura 36.

Figura 36 - Vista 3D do empreendimento após incluir texto tridimensional para identificar os trechos



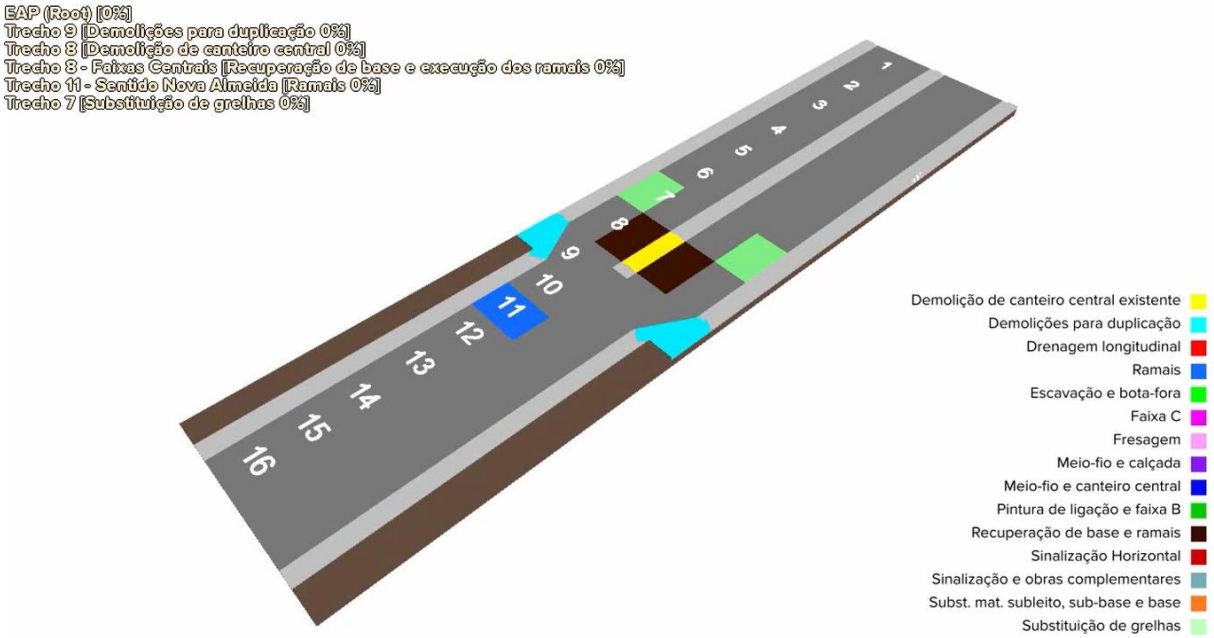
Fonte: autoras (2021)

A última modificação foi aplicada com o intuito de otimizar o planejamento, reduzindo o tempo total de execução. O gerente de obra observou um longo período ao fim da simulação com nenhuma tarefa além de fresagem e pavimentação sendo realizada. Com isso, tornou-se interessante adiantar essas tarefas, realizando maior volume de atividades em menos tempo, isto é, aumentando a produtividade, e, por fim, reduzindo o tempo total de obra.

Com isso, optou-se por realizar as tarefas de pavimentação no trecho a recuperar e no trecho a duplicar ao mesmo tempo, ao invés de em um por vez, como as autoras haviam planejado. Segundo o gerente, há mão de obra e equipamentos suficientes para isso. Assim, para fazer a alteração, as autoras editaram a EAP no Project, excluindo a relação de precedência entre as tarefas de pavimentação dos trechos a duplicar e a restaurar.

Dessa forma, concluiu-se a simulação da sequência de atividades (Figura 37), e pôde-se prosseguir para o desenvolvimento dos cálculos das durações.

Figura 37 - Dia 1 da simulação 4D da EAP revisada pela segunda vez



Fonte: autoras (2021)

4.1.3 Cálculos das durações

Após todas as alterações realizadas na EAP envolvendo as tarefas e a definição de suas predecessoras e sucessoras, foi possível dar prosseguimento ao desenvolvimento do cronograma e obter as durações das tarefas.

Essa fase foi dividida em duas subfases: o cálculo do quantitativo e o cálculo das durações.

4.1.3.1 Desenvolvimento do quantitativo

Para desenvolver as durações de cada tarefa-resumo proposta na EAP, o primeiro passo foi obter as quantidades de cada serviço a ser realizado. Isso é feito a partir de observação das medidas dos projetos, com contagem de elementos e cálculos de áreas e volumes, a depender da tarefa considerada.

Em posse apenas de dois desenhos em AutoCAD, um desenho primitivo de toda extensão da via a ser restaurada e o outro, do trecho 09 ao 16, mostrando um pouco mais de detalhes, e dos arquivos em formatos PDF do projeto de drenagem e OAC (Obras de Arte Correntes) e projeto de desapropriação, o processo de extração do quantitativo foi dificultado pela falta de informações. Como exemplo, cita-se a carência dos dados dos trechos em que será realizada a sinalização horizontal e o seu tipo (faixas de pedestre, estacionamento, símbolos e legendas, etc).

Dessa forma, foi preciso recorrer a outras fontes de informações. Como o foco principal dessa fase do trabalho é a obtenção das durações das tarefas, o caminho ideal encontrado para fazer a coleta das quantidades se deu através de um arquivo de extensão *.xls desenvolvido pela empresa N com um orçamento primitivo de todo projeto. Esse elemento tornou-se facilitador e o principal meio de extração dos dados da obra, contando apenas com algumas edições realizadas pelas autoras para atender às necessidades da EAP.

Contudo, a fim de adequar todas as informações contidas nesse orçamento à luz da EAP desenvolvida, mostra-se pertinente exemplificar tais adequações.

Voltando ao exemplo da sinalização rodoviária, na EAP desenvolvida, a tarefa-resumo de sinalização horizontal foi dividida em subtarefas com base em uma das premissas idealizadas no início do planejamento, tal qual o trecho total foi dividido em cinco partes, e quatro delas receberão essa tarefa: partes 1, 2, 3 e 4 (Quadro 13).

Quadro 13 - EAP atualizada, com atividade de sinalização horizontal e as suas subtarefas

Nome da Tarefa
Sinalização Horizontal
Parte 1
Parte 2
Parte 3
Parte 4

Fonte: autoras (2021)

No orçamento da empresa N, o cálculo das quantidades foi realizado por trechos de estacas, de forma que foram contabilizadas as áreas da sinalização de uma estaca até a outra de cada tipo de marca, sendo elas linha de bordo (LBO); Linha Simples Contínua (LMS - 1); Linha Simples Seccionada (LMS – 2), Marca delimitadora de estacionamento regulamentado (MER); Linha de retenção (LRE) e Linha de Canalização (LCA), como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo do quantitativo da sinalização horizontal pela empresa N

ESTACAS		LINHAS											
Estaca Inicial	Estaca Final	LBO (e = 0,10)		LMS-1 (e = 0,10)		LMS-2 (e = 0,10) (C 1:2)		MER (e = 0,10) (C 1:1)		LRE (E = 0.4)		LCA (E = 0.1)	
		L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)
1000	1032	2360,57	236,06	131,37	13,14	1280,00	42,67	139,15	6,96	5,56	2,22	0,00	0,00
1032	1054	1300,42	130,04	0,00	0,00	880,00	29,33	259,37	12,97	16,50	6,60	0,00	0,00
1054	1069	745,39	74,54	0,00	0,00	600,00	20,00	407,03	20,35	5,71	2,28	0,00	0,00
1069	1080	572,84	57,28	0,00	0,00	440,00	14,67	152,52	7,63	11,71	4,68	0,00	0,00
1080	1103	1564,70	156,47	0,00	0,00	920,00	30,67	27,78	1,39	26,58	10,63	0,00	0,00
1103	1132	1556,65	155,67	0,00	0,00	1160,00	38,67	308,39	15,42	54,00	21,60	0,00	0,00
1132	1165	2335,09	233,51	0,00	0,00	1320,00	44,00	52,47	2,62	45,60	18,24	17,24	1,72
1165	1195	1951,71	195,17	0,00	0,00	1200,00	40,00	61,36	3,07	65,74	26,30	26,63	2,66
1195	1217	1496,70	149,67	0,00	0,00	880,00	29,33	0,00	0,00	33,83	13,53	9,88	0,99
1217	1252	2661,36	266,14	0,00	0,00	1400,00	46,67	279,81	13,99	43,27	17,31	0,00	0,00
1252	1315	4756,15	475,62	0,00	0,00	2520,00	84,00	0,00	0,00	61,68	24,67	0,00	0,00
1315	1338	1801,97	180,20	0,00	0,00	920,00	30,67	0,00	0,00	12,41	4,96	0,00	0,00
1338	1376	3315,31	331,53	0,00	0,00	1720,00	57,33	0,00	0,00	12,00	4,80	0,00	0,00
TOTAL			2641,89		13,14		508,00		84,39		157,84		5,38

Fonte: Empresa N (2020)

Desse modo, para facilitar o processo de cálculo das durações da tarefa-resumo de sinalização de acordo com a subdivisão da EAP (Partes 01, 02, 03 e 04), a Tabela 2 então precisou ser ajustada de forma que os trechos das estacas fossem conjugados em cada uma dessas partes.

Para isso, foi necessário, primeiramente, distribuir esses intervalos de estacas de acordo com a divisão da via em trechos realizada no início do planejamento, de 01 a 16, e distribuí-los entre as partes que eles pertencem, conforme representado no Quadro 14.

Quadro 14 - Distribuição dos intervalos das estacas de acordo com cada trecho da obra conforme planejamento

	Nº	Estaca Inicial	Estaca Final
PARTE 01	TRECHO 01	1000	1032
	TRECHO 02	1032	1057
	TRECHO 03	1057	1084
PARTE 05	PONTE	1084	1089
PARTE 02	TRECHO 04	1089	1114
	TRECHO 05	1114	1139
	TRECHO 06	1139	1164
	TRECHO 07	1164	1189
	TRECHO 08	1189	1216
PARTE 03	TRECHO 09	1216	1237
	TRECHO 10	1237	1256
	TRECHO 11	1256	1273
	TRECHO 12	1273	1294
	TRECHO 13	1294	1315
	TRECHO 14	1315	1338
PARTE 04	TRECHO 15	1338	1353
	TRECHO 16	1353	1376

Fonte: autoras (2021)

Assim, o quantitativo da tarefa de sinalização rodoviária horizontal sofreu as modificações necessárias para que os intervalos de estacas fossem conjugados da forma mais precisa possível nas partes 01, 02, 03 e 04, conforme a EAP, como pode ser mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Parte da tabela de quantidades da sinalização horizontal com os ajustes

		ESTACAS		LINHAS							
		Est. Inicial	Est. Final	LBO (e = 0,10)		LMS-1 (e = 0,10)		LMS-2 (e = 0,10) (C 1:2)		MER (e = 0,10) (C 1:1)	
				L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)	L (m)	A (m²)
PARTE 01	TRECHO 01	1000	1032	2360,57	236,06	131,37	13,14	1280,00	42,67	139,15	6,96
	TRECHO 02	1032	1054	1300,42	130,04	0,00	0,00	880,00	29,33	259,37	12,97
	TRECHO 02, 03	1054	1069	745,39	74,54	0,00	0,00	600,00	20,00	407,03	20,35
	TRECHO 03	1069	1080	572,84	57,28	0,00	0,00	440,00	14,67	152,52	7,63
PARTE 02	TRECHO 03 E 04	1080	1103	1564,70	156,47	0,00	0,00	920,00	30,67	27,78	1,39
	TRECHO 04 E 05	1103	1132	1556,65	155,67	0,00	0,00	1160,00	38,67	308,39	15,42
	TRECHO 05 E 6	1132	1165	2335,09	233,51	0,00	0,00	1320,00	44,00	52,47	2,62
	TRECHO 07 E 08	1165	1195	1951,71	195,17	0,00	0,00	1200,00	40,00	61,36	3,07
	TRECHO 08	1195	1217	1496,70	149,67	0,00	0,00	880,00	29,33	0,00	0,00
PARTE 03	TRECHO 09 E 10	1217	1252	2661,36	266,14	0,00	0,00	1400,00	46,67	279,81	13,99
	TRECHO 10 E 11, 12, 13	1252	1315	4756,15	475,62	0,00	0,00	2520,00	84,00	0,00	0,00
	TRECHO 14	1315	1338	1801,97	180,20	0,00	0,00	920,00	30,67	0,00	0,00
PARTE 04	TRECHO 15 E 16	1338	1376	3315,31	331,53	0,00	0,00	1720,00	57,33	0,00	0,00
		TOTAL			2641,89		13,14		508,00		84,39

Fonte: autoras (2021)

Outro caso interessante é o quantitativo da tarefa de escavação e bota-fora a ser realizada no trecho da via a ser duplicado. Na EAP, a tarefa-resumo está destrinchada nos trechos que sofrerão a duplicação, do trecho 09 ao 16. Assim, para cada trecho, uma duração deve ser calculada.

Quadro 15 - EAP atualizada, com a tarefa-resumo de escavação e bota-fora do trecho a ser duplicado

Nome da Tarefa
Duplicação
Escavação e bota-fora
Trecho 9
Trecho 10
Trecho 11
Trecho 12
Trecho 13
Trecho 14
Trecho 15
Trecho 16

Fonte: autoras (2021)

No arquivo de extensão *.xls desenvolvido pela empresa N, o quantitativo estava dividido em apenas três intervalos de estacas (Tabela 4) e, da mesma forma que se fez no caso anterior, foi necessário adequá-los aos trechos definidos na EAP.

Tabela 4 - Cálculo do quantitativo de escavação e aterro feito pela empresa N

			Largura da escavação (m)			**Vol. Corte (m³)**			**Vol. Aterro (m³)**		
Est. Inicial	Est. Final	Extensão (m)	PD	PE	Marginal	PD	PE	Marginal	PD	PE	Marginal
1217	1225	160	0	3	0	0	480	0	0	292,8	0
1225	1355	2600	1	7	0	2600	18200	0	1586	11102	0
1355	1376	420	1	7	10	420	2940	4200	256,2	1793,4	2562
					TOTAL	**3020**	**21620**	**4200**	**1842,2**	**13188,2**	**2562**

Fonte: Empresa N (2020)

Sabendo que a extensão, o volume de corte e o volume de aterro foram calculados para a pista do lado direito (PD), pista do lado esquerdo (PE) e marginal da via, de modo que:

(i) Extensão = (Estaca final – Estaca Inicial)*20;
(ii) Volume de corte = Extensão x Largura de Escavação x 1 metro de trecho;
(iii) Volume de aterro = Extensão x Largura de Escavação x Altura de aterro.

Foi possível modificar a Tabela 4 para atender à EAP do projeto. Os trechos mudaram, assim como as suas estacas iniciais e finais para que se encaixassem nos intervalos de estacas que compõem os trechos da via estipulados no planejamento inicial. Essas modificações podem ser identificadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de quantidades do volume de corte e aterro do trecho a ser duplicado

TRECHO A SER DUPLICADO												
TRECHOS	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO	LARGURA DE ESCAVAÇÃO			VOLUME DE CORTE			VOLUME DE ATERRO		
				PD	PE	MARGINAL	PD	PE	MARGINAL	PD	PE	MARGINAL
9	1216	1225	180	0	3	0	0	540	0	0	329,4	0
	1225	1237	240	1	7	0	240	1680	0	146,4	1024,8	0
10	1237	1256	380	1	7	0	380	2660	0	231,8	1622,6	0
11	1256	1273	340	1	7	0	340	2380	0	207,4	1451,8	0
12	1273	1294	420	1	7	0	420	2940	0	256,2	1793,4	0
13	1294	1315	420	1	7	0	420	2940	0	256,2	1793,4	0
14	1315	1338	460	1	7	0	460	3220	0	280,6	1964,2	0
15	1338	1353	300	1	7	0	300	2100	0	183	1281	0
16	1353	1355	40	1	7	0	40	280	0	24,4	170,8	0
	1355	1376	420	1	7	10	420	2940	4200	256,2	1793,4	2562
						TOTAL	**3020**	**21680**	**4200**	**1842,2**	**13224,8**	**2562**

Fonte: autoras (2021)

Conforme mostrado nos casos anteriores, ajustes semelhantes a esses foram realizados no quantitativo disponibilizado pela empresa N em outro arquivo de extensão *.xls. Com tais modificações, foi possível seguir para a fase de cálculo das durações.

4.1.3.2 Cálculo das durações

Com os ajustes feitos no quantitativo, é chegado o momento da definição das durações para compor o cronograma da obra. Essa subfase foi realizada em 6 etapas: (i) criação de um arquivo Excel e exportação de todas as tarefas-resumo e subtarefas da EAP para o Excel; (ii) identificação dos serviços principais que compõem cada tarefa; (iii) associação dos serviços com uma composição de custo; (iv) associação da quantidade de cada tarefa; (v) cálculo das durações; e (vi) exportação das durações para o Ms Project.

A primeira etapa consiste na criação de um arquivo no Microsoft Excel, instrumento este que as autoras consideram de fácil utilização e ideal para a confecção da tabela das durações. Da EAP, foi exportada a primeira coluna em que são identificadas as tarefas e subtarefas, a fim de associar a elas seus respectivos serviços relacionados.

A segunda etapa envolve a identificação dos principais serviços que compõem cada tarefa. Isso foi possível através de conhecimentos adquiridos durante a formação e consulta com os engenheiros da obra. Por exemplo, como forma de simplificação, na drenagem longitudinal foram apenas considerados os serviços de escavação, assentamento da tubulação, reaterro e compactação para cada trecho, como pode ser visto no Quadro 16.

Quadro 16 - Identificação dos serviços que compõem a drenagem longitudinal

Drenagem
Longitudinal
Trecho 1
Escavação mecânica em material de 1ª cat. H= 1,50 a 3,00 m com esgotamento
Rede de drenagem em tubos PEAD DN800mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 800 mm
Reaterro com areia, tudo incluído, em Vias Urbanas
Trecho 2
Escavação mecânica em material de 1ª cat. H= 1,50 a 3,00 m com esgotamento
Rede de drenagem em tubos PEAD DN800mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 800 mm
Rede de drenagem em tubos PEAD DN1000mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 1.000 mm
Reaterro com areia, tudo incluído, em Vias Urbanas
Trecho 3
Escavação mecânica em material de 1ª cat. H= 1,50 a 3,00 m com esgotamento
Rede de drenagem em tubos PEAD DN800mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 800 mm
Reaterro com areia, tudo incluído, em Vias Urbanas
Trecho 8
Escavação mecânica em material de 1ª cat. H= 1,50 a 3,00 m com esgotamento
Rede de drenagem em tubos PEAD DN800mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 800 mm
Reaterro com areia, tudo incluído, em Vias Urbanas

Fonte: autoras (2021)

Após associação das tarefas com seus respectivos serviços é necessária a utilização de composições de custos para associá-los aos serviços dessa base de composição e dessa forma obter suas respectivas quantidades de mão de obra e produtividades. Para isso, como base principal, foi utilizada o SICRO, um sistema que

possui uma extensa lista de serviços realizados em obras de infraestrutura, e como secundária, o Relatório de Composição de Serviço do DER-ES, sendo este só utilizado quando a atividade não era encontrada na base principal.

Assim, foram adicionadas colunas de código da composição, produtividade e unidade das atividades. Quando a composição utilizada não era da SICRO, optou-se por sinalizar essa informação em outra coluna, como uma observação (Tabela 6).

Tabela 6 - Colunas que fazem parte da tabela para cálculo de duração

NOME DA TAREFA	Código SICRO	Produtividade	Unidade
Escavação e bota-fora			
Trecho 9			
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³
Bota-fora	4805757	52	m³
Trecho 10			
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³
Bota-fora	4805757	52	m³
Trecho 11			
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³
Bota-fora	4805757	52	m³
Trecho 12			
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³
Bota-fora	4805757	52	m³
Trecho 13			
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³
Bota-fora	4805757	52	m³
Trecho 14			
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³

Fonte: autoras (2021)

Além disso, foram adicionadas colunas com as informações de mão de obra extraídas da composição, a fim de facilitar futuras modificações quanto ao dimensionamento das equipes da obra e consequente alteração da duração da tarefa.

Com a produtividade já associada a cada atividade, seguiu-se para a etapa seguinte, em que as quantidades calculadas anteriormente foram conectadas aos serviços de cada tarefa (Tabela 7).

Tabela 7 - Adição da coluna de quantidade

NOME DA TAREFA	Código SICRO	Produtividade	Unidade	Quantidade
Duplicação				
Escavação e bota-fora				
Trecho 9				
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³	2460
Bota-fora	4805757	52	m³	4059
Trecho 10				
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³	3040
Bota-fora	4805757	52	m³	5016
Trecho 11				
Escavação (1ª categoria)	4805757	260	m³	2720
Bota-fora	4805757	52	m³	4488

Fonte: autoras (2021)

Finalmente, em posse das quantidades e produtividade de cada tarefa foi possível passar para a etapa seguinte, onde aplicou-se a fórmula mencionada no item 3.3.1, página 52, segundo Mattos (2010):

$$D = \frac{Q}{P}$$

Tal que, D é a duração, Q é a quantidade e P é a produtividade do serviço.

Dessa forma, obteve-se a duração em horas de cada serviço proposto. Para que essas durações fossem associadas à EAP no Ms Project, elas deveriam estar calculadas em dias de trabalho. Assim, sabendo que a jornada de trabalho é de 8h por dia, foi feito o seguinte cálculo:

$$Duração\ em\ dias = \frac{Duração\ em\ horas\ do\ serviço}{8\ horas\ de\ trabalho}$$

Assim, obtiveram-se as durações em dias, que posteriormente foram arredondadas para o número inteiro imediatamente superior (Tabela 8). Esse procedimento foi feito para todas as tarefas da EAP.

Tabela 8 - Parte da tabela do cálculo das durações

NOME DA TAREFA	Código SICRO	Produtividade	Unidade	Quantidade	Duração em h	Duração em dias de serviço	Dias *
Drenagem							
Longitudinal							
Trecho 1							
Escavação mecânica em material de 1ª cat. H= 1,50 a 3,00 m com esgotamento	4805757	26	m3	396	15,23076923	**1,903846154**	**2**
Rede de drenagem em tubos PEAD DN800mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 800 mm	2003988	84	m	110	1,30952381	**0,163690476**	**1**
Reaterro com areia, tudo incluído, em Vias Urbanas	43056	13	m³	251,636	19,35661538	**2,419576923**	**3**
Trecho 2							
Escavação mecânica em material de 1ª cat. H= 1,50 a 3,00 m com esgotamento	4805757	26	M3	2228	85,69230769	**10,71153846**	**11**
Rede de drenagem em tubos PEAD DN800mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 800 mm	2003988	84	m	230	2,738095238	**0,342261905**	**1**
Rede de drenagem em tubos PEAD DN1000mm. Tubo PEAD com paredes estruturadas para drenagem - D = 1.000 mm	2003990	75	m	280	3,733333333	**0,466666667**	**1**
Reaterro com areia, tudo incluído, em Vias Urbanas	43056	13	m³	1454,348	111,8729231	**13,98411538**	**14**

*Duração em dias – arredondando.

Fonte: autoras (2021)

Concluído o cálculo das durações de todas as tarefas, prosseguiu-se para a última etapa desta fase, ou seja, para a finalização do cronograma de obra. No primeiro momento, ao transferir o tempo de todas as atividades para a EAP no Ms Project, observou-se que o cronograma totalizou um número maior que 365 dias, ultrapassando o tempo limite da obra conforme solicitado pela empresa C.

Dessa forma, foi necessário voltar ao arquivo Excel e aumentar a quantidade de equipes para reduzir o tempo de execução, o que foi possível porque a empresa C havia assegurado que a equipe de trabalhadores disponível para essa obra iria ser grande. Assim, por exemplo, a atividade no SICRO de escavação de 1ª categoria tem a produtividade de 26 m³/h para uma equipe de 1 servente, sabendo que há disponibilidade de 10 serventes na obra, a produtividade dessa atividade passou a ser de 260 m³/h.

Seguindo essa linha de raciocínio, as durações foram ajustadas e reinseridas no Project, gerando um cronograma cujo tempo total se encontrava dentro do limite estabelecido. Dessa forma, prosseguiu-se para a etapa B, de modelagem 3D no Revit.

4.2 ETAPA B: MODELAGEM 3D NO REVIT

Esta etapa foi desenvolvida paralelamente à etapa A, com a modelagem do empreendimento no *software* Revit para desenvolvimento das simulações 4D.

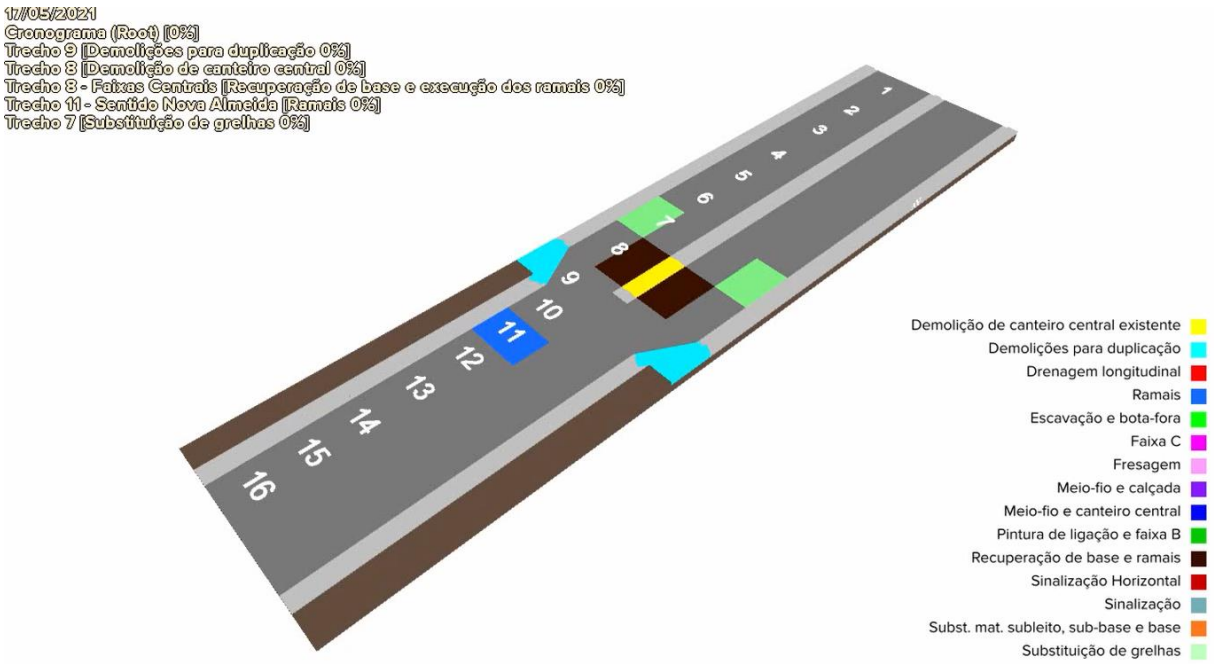
4.3 ETAPA C: MODELAGEM 4D NO NAVISWORKS

O trabalho a ser desenvolvido nesta etapa já havia sido feito em grande parte, uma vez que as autoras já possuíam um modelo 4D pronto, desenvolvido na etapa A. No entanto, esse modelo 4D simula a EAP da obra, não o cronograma. Por isso, esta etapa consistiu em substituir a EAP pelo cronograma no modelo 4D, além de adicionar a data ao texto da simulação.

Assim, foi necessário, primeiramente, duplicar o cronograma desenvolvido. Na cópia, excluíram-se as tarefas-resumo, tendo em vista tornar o texto da simulação a ser criada entendível, conforme explicado no item 4.1.2. Em seguida, no Navisworks, sincronizaram-se as alterações do cronograma. Com isso, as associações de objetos e tarefas permaneceram como já feitas e as durações das tarefas foram atualizadas.

Antes de exportar a simulação, configurou-se o texto para exibir a data de cada dia de simulação, permitindo, assim, o acompanhamento das durações das atividades representadas. A simulação obtida foi, então, exportada na aba *Simulate* do *TimeLiner*, e a legenda foi adicionada com o *software* editor de vídeo (Figura 38).

Figura 38 - Dia 1 da simulação 4D do cronograma



Fonte: autoras (2021)

4.4 ETAPA D: ANÁLISE DA SIMULAÇÃO E APRIMORAMENTO DO PLANEJAMENTO

Com a simulação gerada, as autoras prosseguiram para a análise e correção da mesma. Inicialmente, as autoras assistiram à simulação individualmente, no entanto, tiveram dificuldade para compreender a evolução da obra, visto que se trata de um planejamento complexo, com muitas atividades ocorrendo ao mesmo tempo em trechos diferentes. Em seguida, as autoras optaram por assistir à simulação juntas, pausando o vídeo e discutindo a cada alteração nas atividades representadas. Percebeu-se que dessa forma a análise se tornou mais fácil.

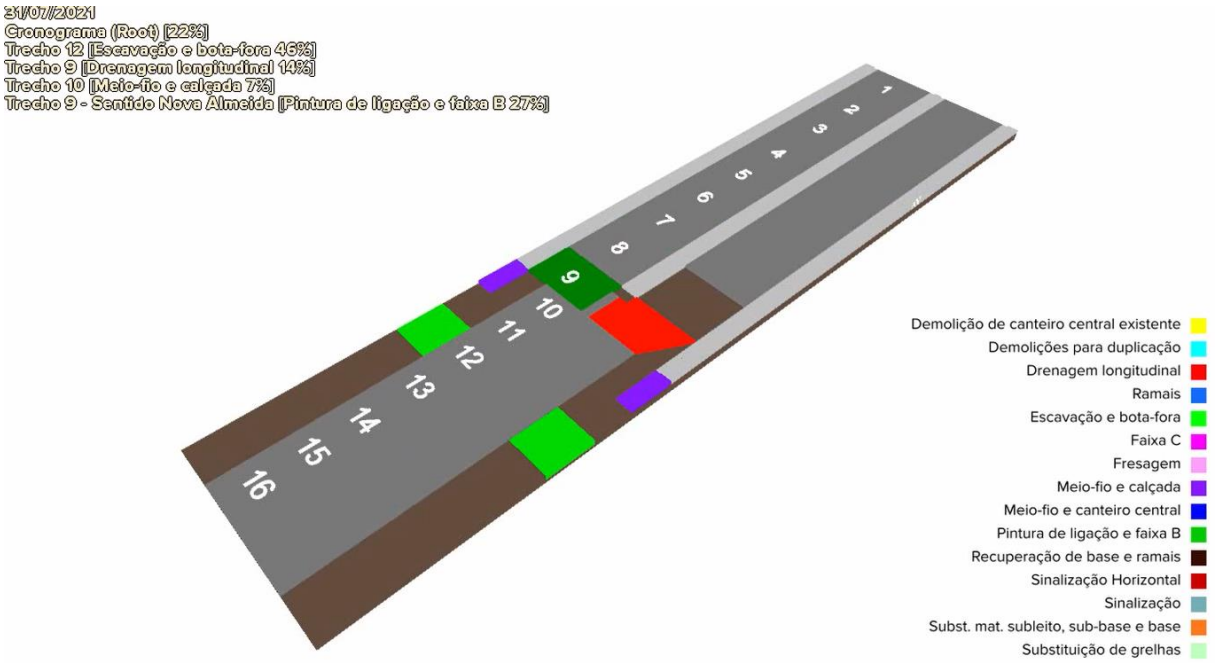
Primeiramente, comparando as cores em exibição no modelo e as atividades listadas no texto da simulação, percebeu-se que as cores das atividades de drenagem longitudinal e de sinalização vertical e semafórica não estavam sendo exibidas em alguns momentos, embora estivessem listadas no texto. Esse problema ocorre sempre que há duas atividades em execução ao mesmo tempo em um mesmo conjunto de objetos 3D. A drenagem longitudinal, por exemplo, não era exibida quando executada no mesmo trecho e no mesmo período da atividade de recuperação de base, uma vez que ambas são representadas no revestimento asfáltico da rodovia.

Para solucionar esse problema, é necessário associar essas atividades em conflito a outros objetos. Assim, a drenagem longitudinal passou a ser representada na camada de solo abaixo do revestimento asfáltico e a sinalização vertical e semafórica, nas calçadas. Para isso, (1) editou-se a parametrização do modelo 3D no Revit, (2) carregou-se o modelo 3D atualizado no modelo 4D no Navisworks e (3) atualizou-se a associação de objetos com uso de regras no Navisworks.

Corrigido esse erro, prosseguiu-se para a análise da simulação. O próximo problema identificado está relacionado à ocorrência de atividades que implicam interdição nos dois lados da pista ao mesmo tempo. Essa situação não deve ocorrer, dada a premissa do projeto de evitar que o motorista tenha que desviar da obra acessando ruas perpendiculares.

Um exemplo pode ser observado na Figura 39, onde executam-se ao mesmo tempo a drenagem longitudinal no sentido Jacaraípe (vermelho) e o revestimento asfáltico no sentido Nova Almeida (verde escuro) do trecho 9, o que implicaria interdição dos dois sentidos da pista, obrigando o motorista a desviar por ruas perpendiculares. Assim, foi necessário editar o cronograma definindo a tarefa de drenagem longitudinal como predecessora das atividades de pavimentação na parte a duplicar.

Figura 39 - Exemplo de dia da simulação onde seria necessário interditar os dois sentidos da pista no trecho 9



Fonte: autoras (2021)

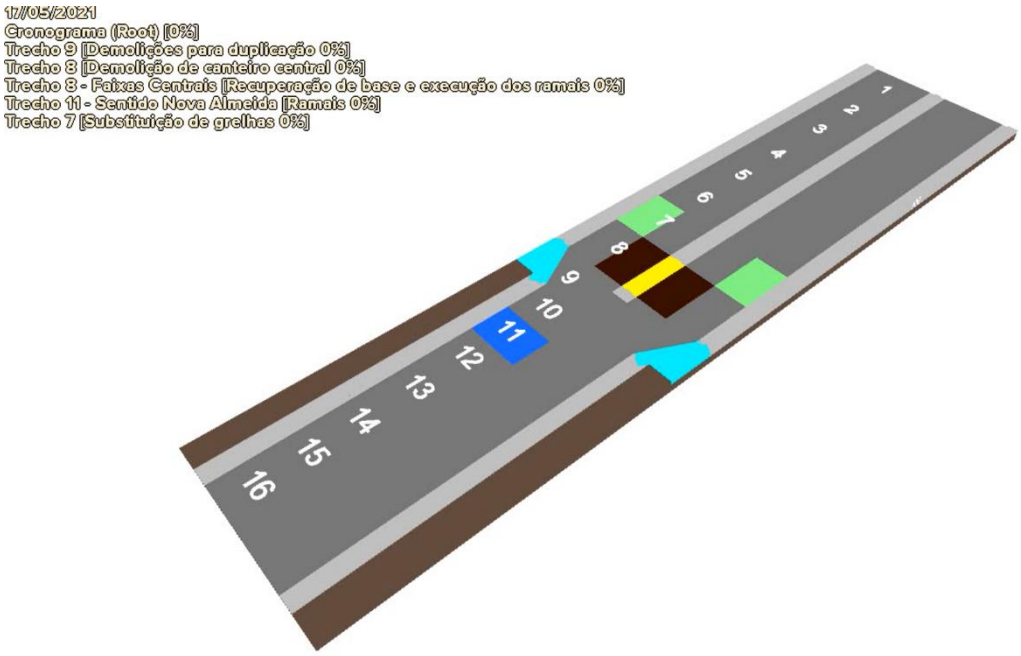
Outro erro percebido através da simulação foi que a fresagem estava ocorrendo antes de se executar o meio-fio e o canteiro central, quando deveria ser ao contrário.

As análises posteriores a essas correções estão relacionadas à otimização do planejamento, com redução do tempo total de obra e aumento do fluxo de trabalho. Percebeu-se que a execução da fresagem e do revestimento asfáltico poderiam ocorrer nos dois sentidos da pista ao mesmo tempo, em trechos diferentes. Em outras palavras, não era necessário esperar toda a pista sentido Nova Almeida ficar pronta para iniciar a execução sentido Jacaraípe.

Outra observação está ligada à drenagem longitudinal da parte a duplicar, que não precisaria ter como predecessora a drenagem longitudinal da parte a restaurar, visto que há disponibilidade de equipe suficiente para se executar as duas partes ao mesmo tempo.

Todas essas observações resultaram em edição das predecessoras do cronograma no Project e atualização do cronograma no Navisworks. Assim, gerou-se uma nova simulação (Figura 40).

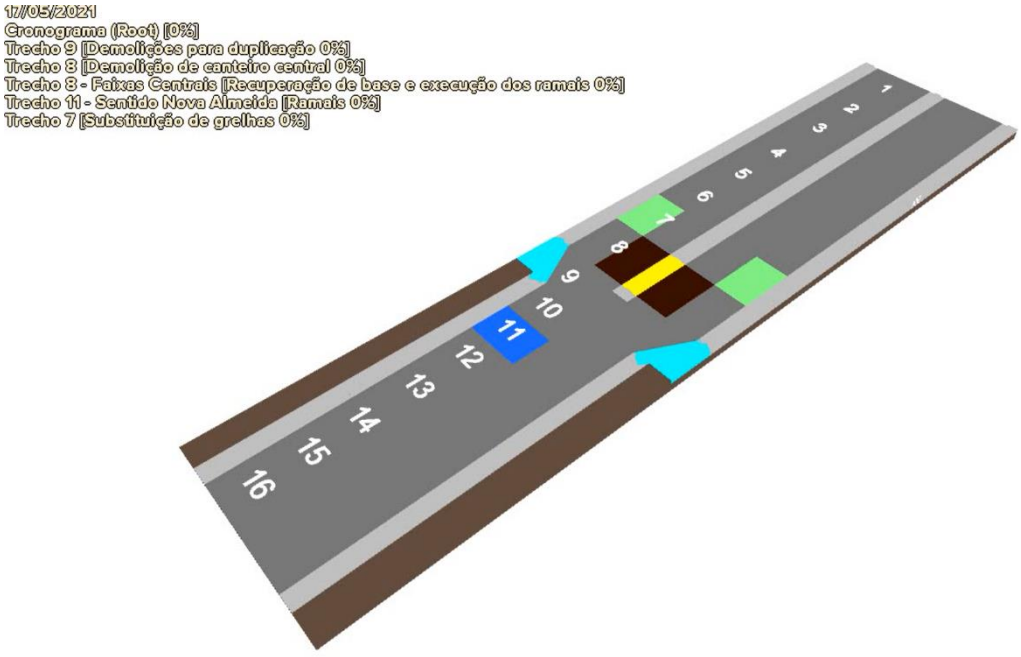
Figura 40 - Dia 1 da simulação 4D do cronograma revisado



Fonte: autoras (2021)

Nessa simulação, notou-se um erro na tarefa de revestimento asfáltico (pintura de ligação e faixa B), que acabou não sendo ajustada às modificações na tarefa de fresagem, impedindo a redução do tempo total de obra. O problema foi corrigido no Project e o cronograma foi, novamente, sincronizado (Figura 41).

Figura 41 - Dia 1 da simulação 4D do cronograma revisado pela segunda vez

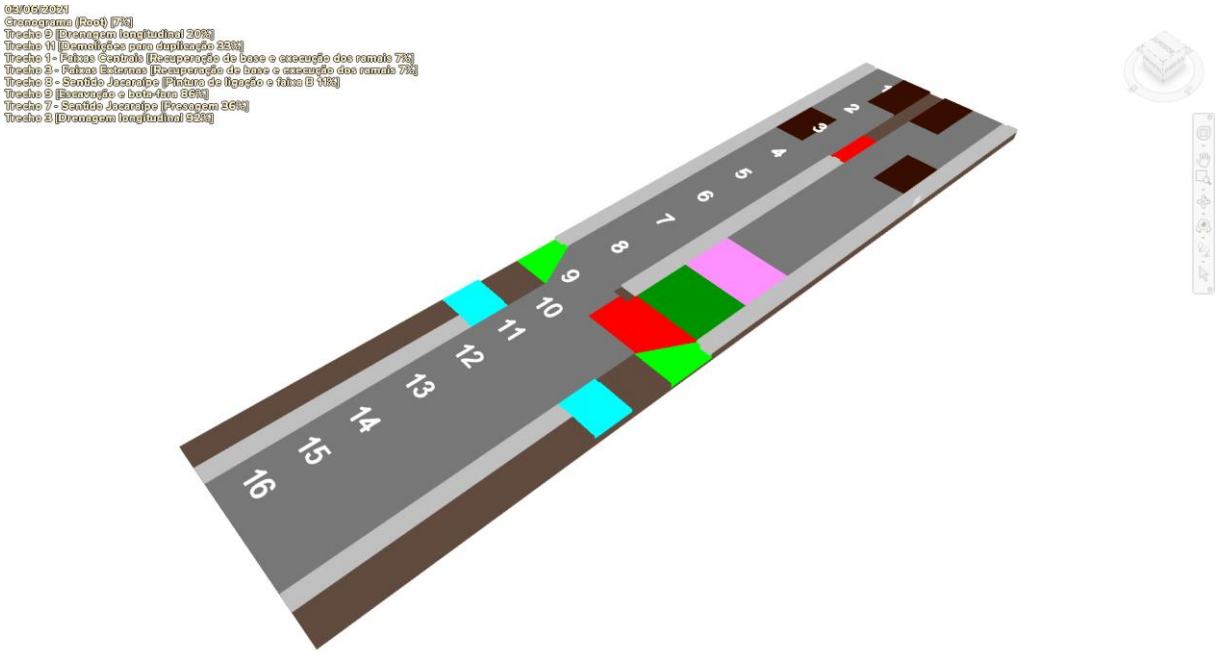


Fonte: autoras (2021)

Na simulação revisada pela segunda vez, pôde-se notar, novamente, alguns trechos que precisariam ser interditados nos dois sentidos em certos momentos da obra, como mostra o exemplo da Figura 42. Foi necessário, então, trabalhar nas

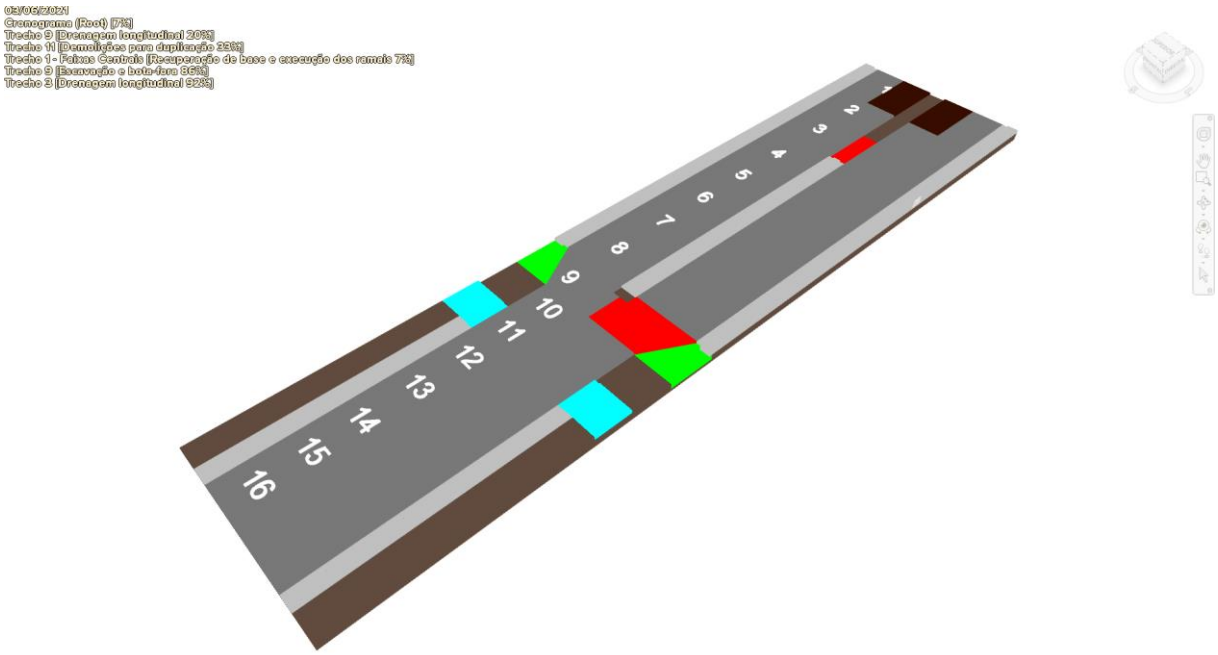
predecessoras do cronograma para que isso não acontecesse e gerar uma quarta simulação (Figura 43). Esses procedimentos demonstraram o potencial da ferramenta de gerar simulações a qualquer momento de forma rápida, permitindo a análise e o aprimoramento do cronograma.

Figura 42 - Tarefa de drenagem longitudinal (vermelho) e recuperação de base das faixas externas (marrom escuro) ocorrendo ao mesmo tempo no trecho 3, no dia 03/06/2021



Fonte: autoras (2021)

Figura 43 – Dia 03/06/2021 da simulação 4D do cronograma revisado pela terceira vez



Fonte: autoras (2021)

Assim, concluíram-se os ajustes do cronograma e obteve-se um planejamento de obra otimizado e representado em vídeo, a ser enviado ao gerente de obra para ser utilizado como ferramenta para realizar suas atividades na obra. O item 4.5 se dedica a analisar os resultados produzidos neste estudo de caso.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, serão apresentados os resultados gerais do estudo de caso, que incluem as dificuldades encontradas, as soluções adotadas, os ganhos obtidos e as limitações existentes no processo. Ainda, serão propostas discussões acerca desses resultados, com objetivo de interpretá-los e identificar as contribuições das autoras para o tema de estudo. Ao final, será possível ainda visualizar o planejamento final da obra representado em vídeo.

No processo de modelagem 3D do empreendimento, notou-se que, para fins de desenvolvimento de simulação 4D, não há necessidade de elaborar um modelo 3D com as medidas reais dos objetos. Basta modelar objetos representativos, mais simples, que têm como vantagem agilizar o processo de modelagem 4D sem deixar de atender ao propósito de representar a sequência de atividades. Dessa forma, atende-se ao propósito e economiza-se tempo e esforço.

Outro recurso que se demonstrou de grande valia foi a configuração de fases de projeto no Revit. Sem isso, a seleção de objetos, a visualização e a organização acabariam sendo prejudicadas, o que aumentaria a complexidade, o esforço e o tempo necessário para as adequadas modelagem e parametrização.

Além disso, observou-se maior otimização do trabalho a partir da representação de atividades em objetos 3D próximos de onde serão desenvolvidas. A tarefa de drenagem longitudinal, por exemplo, foi representada no canteiro central e no revestimento asfáltico do entorno, visto que não havia tubulações, poços de visita e caixas coletoras modeladas. Essa opção permite que se reduza o nível de detalhamento do modelo, resultando em economia de tempo e aumento de eficiência.

Assim, verificou-se que não há necessidade de representar todas as disciplinas de projeto no modelo 3D para se simular a construção completa. Basta modelar os objetos principais e representar neles as tarefas de disciplinas ausentes no projeto, acrescentando uma legenda de cores para identificar as atividades em execução. Além disso, pode-se criar quantos parâmetros de tarefas forem necessários, dessa forma, um único objeto pode ser associado a diversas atividades.

Outra vantagem do uso do BIM 4D está relacionada ao aprimoramento do planejamento. Biotto, Formoso e Isatto (2012) apontaram que um dos principais benefícios observado ao se utilizar a modelagem 4D para dar suporte a atividades de planejamento e controle, foi em relação ao apoio desse tipo de metodologia na visualização do fluxo de trabalho. Isso pôde ser visto pelas autoras, ao se estabelecer a sequência de interdições da via. A apresentação da proposta foi realizada de duas maneiras: a primeira, com um desenho esquemático, e a segunda, com uma simulação 4D. Ao visualizar a primeira, o gestor de obra não teve apontamentos a fazer, já em relação à segunda, houve observações que culminaram em ajustes e, posteriormente, aprovação da sequência proposta. Assim, percebeu-se que a simulação em vídeo proporciona melhor visualização do planejamento, impactando

diretamente em seu aprimoramento e servindo como apoio para a visualização da sequência da obra.

Por outro lado, a experiência demonstrou a importância de se elaborar um *briefing* detalhado da obra, uma vez que esse processo seria evitado se as informações fornecidas pelo gestor da obra estivessem no *briefing*. De qualquer forma, a simulação 4D da sequência de interdições foi de suma importância para alinhar o planejamento com o gestor da obra e nortear o desenvolvimento da EAP da forma adequada.

Na criação da EAP, notou-se dificuldade de estabelecer as predecessoras ao se trabalhar com maior detalhamento de atividades. Assim, adotou-se como procedimento a simplificação da EAP com atividades mais abrangentes, que reduziram a complexidade do trabalho e, ainda assim, renderam bons resultados para o desenvolvimento do planejamento, propiciando visualização de erros e oportunidades de melhorias.

Assim, o cronograma desenvolvido neste trabalho apresenta atividades abrangentes, com baixo nível de detalhamento. No entanto, para futuros trabalhos, após definição e validação desse cronograma com auxílio da ferramenta BIM 4D, pode ser interessante esmiuçar as atividades em tarefas menores e representar um cronograma detalhado em uma simulação 4D, para fins de aumento da precisão e validação do planejamento.

No entanto, ressalta-se a importância de partir esse processo da representação do cronograma abrangente, a fim de reduzir a complexidade tanto da elaboração do cronograma quanto das análises que serão feitas a partir da simulação 4D. Essa observação é destacada neste trabalho porque, mesmo na representação de tarefas abrangentes, as autoras notaram dificuldade de acompanhar o planejamento em vídeo, dado o alto volume de atividades ocorrendo ao mesmo tempo em locais diferentes. Assim, entende-se que, se o cronograma representado possuísse alto nível de detalhamento, esse acompanhamento certamente seria ainda mais difícil.

O estudo de caso demonstrou, ainda, que o BIM 4D pode ser útil para diversos objetivos além de representação de cronograma de obra, como, por exemplo, para estudar a sequência de trechos que serão trabalhados e para validar a EAP. Essas possibilidades estendem as vantagens da ferramenta para as etapas iniciais de criação do cronograma.

Em todos esses usos aplicados no estudo de caso, o BIM 4D permitiu a visualização e a correção de erros e a identificação de oportunidades de melhorias, com destaque para a identificação de conflitos espaciais e a criação e a análise de um plano de ataque de obra. Isso resultou num planejamento aprimorado, mais preciso e otimizado.

Ainda, observou-se a importância de utilizar essa ferramenta em equipe, pois, quando as autoras se reuniam ou apresentavam as simulações para o gestor de obra, elas acabavam percebendo oportunidades de melhorias que não haviam observado quando assistiram à simulação individualmente. Aspecto esse reforçado por Collier e Fischer (1995) ao destacar que o modelo 4D permite que todos possam trabalhar colaborativamente e como consequência, obter um planejamento de obra com mais qualidade. Dessa forma, o processo de apresentar a simulação para terceiros é, por si só, um fator que possibilita a revisão e o estudo do planejamento. Recomenda-se,

além disso, pausar o vídeo a cada alteração na configuração visual das atividades ativas para garantir uma revisão detalhada.

Outra recomendação para o processo de revisão da simulação é comparar as atividades identificadas no texto da simulação com as atividades exibidas por cores no modelo. Essa estratégia permite identificar atividades que estão em execução, mas cujas cores não aparecem no vídeo. Isso acontece quando há duas tarefas acontecendo ao mesmo tempo em um mesmo conjunto de objetos, dessa forma, o Navisworks não consegue exibir as duas atividades, ocasionando equívocos de representação. Portanto, a comparação entre o texto da simulação e as cores exibidas no modelo é um recurso interessante para identificar e corrigir esses equívocos.

Além dos diversos benefícios conferidos pelo BIM 4D, observaram-se algumas limitações que estão relacionadas ao *software* utilizado para a modelagem 4D, o Navisworks. Como esse *software* não possui a função de adicionar legenda à simulação para identificar as cores das atividades, solução esta proposta por Ribeiro (2018) e adotada por Haymaker e Fischer (2001) para identificar as tarefas em andamento na simulação, foi necessário fazer a utilização de editores de imagem e vídeo.

Outro problema identificado foi a dissonância entre as cores observadas na simulação e aquelas selecionadas na da aba *Configure* do *TimeLiner*. Trata-se de mais uma limitação do Navisworks, pois as cores deveriam ser correspondentes. Assim, para criar a legenda, é necessário se atentar para esse fato e selecionar as cores de fato exibidas na simulação.

Outra limitação está relacionada ao recurso de se adicionar à simulação um texto que informa as atividades em execução a cada dia de obra. Esse recurso facilita o entendimento da construção, no entanto, pode acabar causando o efeito contrário quando se trabalha com hierarquização de tarefas, uma vez que o Navisworks não destaca as tarefas-resumo de suas subtarefas no texto. Além disso, os nomes das tarefas são apresentados em ordem de início, sendo assim, as tarefas-resumo podem aparecer no topo e as subtarefas nas últimas linhas. Dessa forma, o texto acaba se tornando extenso e confuso.

Para solucionar esse problema, as autoras tiveram que duplicar o cronograma e excluir as tarefas-resumo – processo que precisou ser repetido todas as vezes em que foi necessário atualizar o cronograma no Navisworks –, o que reduziu a eficiência do processo e aumentou o tempo gasto para fazê-lo.

Apesar disso, continua sendo interessante o uso da ferramenta para revisões do planejamento, visto que a opção *Synchronize* permite a atualização do cronograma no Navisworks sem necessidade de ajustar as associações de tarefas a objetos 3D. Trata-se de uma opção que confere rapidez e praticidade ao processo, o que compensa o trabalho de se excluir as tarefas-resumo em todas as atualizações.

As dificuldades percebidas no estudo de caso e as soluções recomendadas para as mesmas foram elencadas no Quadro 17.

Quadro 17 – Correlação entre as dificuldades percebidas no estudo de caso e as soluções recomendadas

Etapa	Dificuldades	Soluções
B	Por se tratar de uma obra de infraestrutura, o modelo 3D com medidas reais é de difícil visualização, visto que sua extensão longitudinal é muito maior do que sua largura	Desenvolvimento de modelo com medidas longitudinais reduzidas em 100 vezes
B	Como optou-se por representar os objetos existentes e os objetos a serem construídos em um mesmo modelo, é comum a visualização de objetos sobrepostos no Revit	Configuração de fases de projeto e aplicação de filtros de fase às vistas do modelo
B	Alto esforço e tempo exigido na etapa de modelagem 3D	Simplificação da modelagem e representação das atividades em objetos próximos de onde ocorrem, com uso de cores e legenda para identificar as tarefas da simulação
A	Discutir e validar a sequência construtiva nas etapas iniciais do planejamento	Desenvolvimento de simulação 4D da sequência construtiva, sem durações definidas
A	Estabelecer predecessoras em um cronograma com alto nível de detalhamento	Redução do nível de detalhamento do cronograma
D	Compreensão da simulação 4D, dado o grande volume de atividades sendo representadas	Análise da simulação em equipe, pausando o vídeo a cada alteração na configuração visual das atividades em execução
D	Identificação de atividades que estão em execução, porém cujas cores não estão sendo exibidas na simulação. Ocorre quando há duas atividades ocorrendo ao mesmo tempo em um mesmo conjunto de objetos.	Como grande parte das tarefas são representadas em objetos próximos de onde ocorrem, basta ajustar as associações para que as tarefas que acontecem ao mesmo tempo sejam exibidas em objetos diferentes
C	Impossibilidade de adicionar legenda de identificação das cores das tarefas no Navisworks	Uso de softwares editores de imagem e vídeo
C	Diferença entre as cores da legenda criada e as cores exibidas na simulação. Ocorre por uma limitação do Navisworks, pois as cores selecionadas na aba *Configure* do *TimeLiner* não são as mesmas exibidas na simulação	Uso das cores de fato exibidas na simulação para criar a legenda
C	O texto adicionado à simulação no Navisworks que identifica as atividades em execução é extenso e confuso	Duplicar o cronograma e excluir as tarefas-resumo sempre que for adicioná-lo ao Navisworks

Fonte: autoras (2021)

A simulação 4D obtida pode ser visualizada no QR Code da Figura 44.

Figura 44 - QR Code da simulação 4D

Fonte: autoras (2021)

Diante disso, é possível observar o planejamento final com todas as alterações feitas diante das dificuldades encontradas, como é o caso da adição da legenda para identificação das cores das tarefas ao lado direito do vídeo e o texto adicionado à simulação, em seu lado esquerdo, mais enxuto e de fácil entendimento.

5 CONCLUSÃO

A indústria da AEC está em constante evolução e isso se reflete no aumento de adoção e produção literária acerca da tecnologia BIM. Dos projetos em papeis, passou-se para o CAD 2D e, quando houve interesse na visualização de uma forma mais sólida, surgiu o CAD 3D. A metodologia BIM chega então para revolucionar a representação dos projetos e introduzir mais informações no modelo, ganhando notoriedade entre os profissionais da AEC.

Essa tecnologia pode ser aplicada desde a fase de preparação do projeto até a manutenção do mesmo, englobando todo o ciclo de vida da edificação. Isso se dá por meio das dimensões do BIM: BIM 3D – modelagem do projeto; BIM 4D – planejamento da obra; BIM 5D – orçamento da obra; BIM 6D – sustentabilidade; BIM 7D – gestão e manutenção e BIM 8 – segurança e prevenção de acidentes. Diante disso e tendo como foco o cronograma de obra, a modelagem BIM 4D se tornou um poderoso artifício para o planejamento de obras, assegurando grande nível de compreensão das etapas de construção para não só a equipe do projeto, como também para os funcionários envolvidos na obra. Por meio de *softwares* especializados é possível obter simulações e animações do projeto, visualizando de maneira intuitiva as etapas e atividades presentes no cronograma da obra. Essas simulações ainda permitem que análises sejam feitas para tomada de decisão e as interferências verificadas. Também antecipam surpresas e minimizam problemas que geralmente só eram percebidos na fase da construção.

Diante disso, para o atendimento ao objetivo principal desta pesquisa, que compreende o desenvolvimento de um modelo BIM 4D de um projeto de infraestrutura no *software* Navisworks de modo a identificar soluções e ganhos com esse tipo de metodologia, foi desenvolvido um estudo de caso na rodovia ES 010 no trecho que liga Jacaraípe à Praia de Capuba, na cidade de Serra/ES. Esse estudo foi realizado em quatro etapas, denominadas A, B, C e D.

Na etapa A, foi desenvolvido o cronograma de obra. Essa etapa foi realizada em três fases. A primeira fase compreendeu o desenvolvimento da simulação 4D da ordem de interdição e execução dos trechos da rodovia. A segunda fase se deu pela possibilidade de erros na ordem de atividades da EAP, assim, optou-se pelo desenvolvimento de uma segunda simulação 4D, que exigiu a modelagem de novos objetos, a configuração de fases de projeto e a parametrização dos objetos 3D no Revit. Foi visto que essa nova simulação foi de extrema importância, pois possibilitou a visualização de alguns problemas e oportunidades de melhorias, que foram corrigidos. A terceira e última fase da etapa A consistiu no cálculo das durações das atividades. Para isso, foi necessário obter os quantitativos e as produtividade das tarefas da EAP, assim, gerou-se o cronograma da obra.

A etapa B, de modelagem 3D a partir do *software* Revit, foi realizada paralelamente à etapa A. Na etapa C, por sua vez, foi desenvolvida a simulação 4D do cronograma da obra obtido na etapa A. Por fim, na etapa D, analisou-se a simulação 4D gerada, identificando erros, solucionando-os e fazendo os ajustes necessários para otimizar o planejamento de obra. Com isso, nesse estudo de caso, foram contemplados os objetivos específicos da pesquisa.

O primeiro objetivo específico diz respeito ao levantamento das etapas da modelagem BIM 4D utilizando o *software* Navisworks. Ele foi atendido por meio da revisão bibliográfica desenvolvida, que permitiu a realização do estudo sobre o BIM 4D. Além de identificar o fluxo de modelagem 4D no Navisworks e suas etapas, possibilitou a busca pelas vantagens e limitações desse tipo de metodologia, suas aplicabilidades, as ferramentas BIM utilizadas atualmente para uso na modelagem 4D e as principais características e funções de um planejamento BIM.

Para atender o segundo objetivo específico, por sua vez, desenvolveu-se modelagem 4D das obras de duplicação e restauração de um trecho da rodovia ES-010. Nesse processo, enfrentou-se uma série de desafios, para os quais foram propostas soluções, atendendo, dessa forma, o terceiro objetivo específico. Como exemplos, citam-se a dificuldade de visualizar o modelo com medidas reais, sendo necessário reduzir suas medidas longitudinais em 100 vezes; a sobreposição de objetos 3D de diferentes fases da construção, que foi resolvida utilizando a configuração de fases e filtros de fase no Revit como recurso; e a limitação do Navisworks para adicionar legenda que identifique os tipos de tarefa da simulação, sendo necessário utilizar *softwares* externos de edição de imagem e vídeo para esse fim.

Já o quarto e último objetivo específico da pesquisa diz respeito aos ganhos e limitações identificadas durante o processo de utilização do BIM 4D como ferramenta de representação do cronograma de uma obra de infraestrutura. Como limitações relacionadas ao *software* Navisworks, notou-se, por exemplo, que foi preciso utilizar editores de imagem e vídeo para adicionar legenda à simulação e identificar as cores das atividades, além da falta de correspondência entre as cores observadas na simulação e as que foram selecionadas na aba *Configure* do *Timeliner*. Outra limitação foi relacionada aos recursos de adição de texto à simulação informando as atividades de execução a cada dia de obra, já que a ferramenta não destaca as tarefas-resumo das subtarefas, o que torna o trabalho confuso e extenso.

Apesar desses apontamentos, a utilização do Navisworks continua sendo interessante para revisões no planejamento de uma obra de infraestrutura, pois garante a otimização do trabalho e o aprimoramento e aumento de precisão do planejamento, além de permitir antecipar tomadas de decisão para a fase de elaboração do projeto. Ainda mostrou ser útil para, além da representação de cronograma, estudar a sequência dos trechos que serão trabalhados em obra e validar a EAP do projeto. Também ficou evidente que o BIM 4D permitiu a visualização e correção dos erros e oportunidades de melhorias. Além de ser uma tecnologia que permite o aprimoramento do planejamento. Por isso, trata-se de uma metodologia que confere maior rapidez e praticidade ao processo do desenvolvimento de um planejamento de obra.

A continuidade dos estudos sobre o tema é relevante para o aprimoramento e avanço da sua utilização nas empresas e instituições acadêmicas, para conhecimento pelo poder público e a população brasileira no geral, bem como para a formação de profissionais que trabalham e entendam desse tipo de tecnologia, como forma de se adequar às exigências do mercado. O BIM 4D mostra ser uma alternativa eficiente para um planejamento mais assertivo, pois facilita a visualização do processo construtivo e permite evitar erros por falta de atenção ou inexperiência. Desse modo, após definição e validação do cronograma com atividades mais abrangentes e de baixo nível de detalhamento, por meio do auxílio de uma ferramenta BIM 4D, sugere-se esmiuçar essas atividades em tarefas menores e representar o cronograma

detalhado em simulação 4D, para fins de aumento da precisão e validação do planejamento. Outra sugestão para trabalhos futuros seria desenvolver o gerenciamento de obra de um projeto de infraestrutura com o auxílio da simulação 4D, a fim de evitar erros nas etapas de construção.

REFERÊNCIAS

ABDI; BRASIL. MDIC. **BIM na Quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços da construção:** Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC. Brasília, DF: ABDI, 2017. Disponível em: https://mutual.com.br/wp-content/uploads/2018/01/GUIA-BIM03_20171101_web.pdf. Acesso em: 2 nov. 2020.

ALVES *et al*. Estudo de caso de implementação e compatibilização em BIM. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p 658-670.

AUTODESK. O que é o Navisworks? **Autodesk**, [S. l], 12 ago. 2016. Disponível em: https://tinyurl.com/yxmuvyvl. Acesso em: 2 nov. 2020.

AUTODESK. Visão geral da ferramenta TimeLiner. **Autodesk**, [S. l], 21 mar. 2018a. Disponível em: https://tinyurl.com/y48gdvxw. Acesso em: 2 nov. 2020.

AUTODESK. Utilizar regras para anexar tarefas. **Autodesk,** [S. l], 21 mar. 2018b. Disponível em: https://tinyurl.com/y29dp46d. Acesso em: 1 nov. 2020.

AUTODESK. Para construir tarefas em uma origem de dados. **Autodesk**, [S. l], 21 mar. 2018c. Disponível em: https://tinyurl.com/y3abl65x. Acesso em: 9 nov. 2020.

AUTODESK. Para atualizar as tarefas para refletir as alterações do projeto. **Autodesk**, [S. l], 21 mar. 2018d. Disponível em: https://tinyurl.com/y4chchyp. Acesso em: 9 nov. 2020.

AZEVEDO, O. J. M. D. **Metodologia BIM - Building Information Modeling na Direcção Técnica de Obras**. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia Civil, Reabilitação, Sustentabilidade e Materiais de Construção) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

BAIA, Valéria Santos. **Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BERNSTEIN, H. M. *et al*. **The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets**. Bedford: McGraw Hill Construction, 2014.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. O uso da modelagem BIM 4D no projeto e gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14. 2012, Juiz de Fora. **Anais...** [Porto Alegre]: [ANTAC], 2012.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Método para o uso da Modelagem BIM 4D na Gestão da Produção em Empreendimentos de Construção. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E

COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

BORGES, Maria Luiza Abath Escorel. **Método para a implementação da modelagem BIM 4D em empresas construtoras.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 26 mar. 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/27283/1/M%c3%a9todoimplementa%c3%a7%c3%a3omodelagem_Borges_2019.pdf. Acesso em: 25 out. 2020.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). Estratégia BIM BR: Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM. **MDIC**, Brasília, DF, 2018. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf. Acesso em: 8 ago. 2020.

BRIOSO, X.; MURGUIA, D.; URBINA, A. Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. **Technology and Management in Construction**, [S.l], n. 9, p. 1604-1614, 2017.

BRITO, D. M.; FERREIRA, E. A. M. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 203-223, 2015.

CAMPESTRINI *et al*. **Entendendo BIM uma visão do projeto de construção sob o foco da informação**. 1. ed. Curitiba: [s. n.], 2015.

CARREIRÓ, Daniel Cardeal. **Aplicação da Metodologia BIM a um Caso de Estudo através do *software* Autodesk Navisworks.** 2017. Trabalho Final de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2017.

CBIC. **Fundamentos BIM**. Brasília, DF: CBIC, jun. 2016a. (Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras, v. 1).

CBIC. **Implementação BIM**. Brasília, DF: CBIC, jun. 2016b. (Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras, v. 2).

CBIC. **BIM na Quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços de construção**. Brasília, DF: CBIC, jun. 2016c. (Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras, v. 3).

CHO *et al.* Introduction of construction management integrated system using BIM in the Honam High-speed railway lot No. 4-2. *In*: ISARC, 28th, 2011, Seoul, Korea. **Proceeding […]**. IAARC, London, 2011, p. 1300 -1305.

COLLIER, Eric; FISCHER, Martin. Four-Dimensional Modeling in Design and Construction. **CIFE Technical Report**, [Palo Alto], #101, feb 1995. Disponível em: https://stacks.stanford.edu/file/druid:zd669fn2067/TR101.pdf. Acesso em: 3 dez. 2020.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM Project Execution Planning Guide**: Version 2.1. State College: The Pennsylvania State University, 2011.

CZMOCH, Irineusz; PEKALA, Adam. Traditional Design versus BIM Based Design. **Procedia Engineering**, [Amsterdam], v. 91, p. 210-215, 2014. Trabalho apresentado no seminário 23rd Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2014, [Wroclaw].

DA COSTA, G. C. L. R.; FIGUEIREDO, S. H.; RIBEIRO, S. E. C. Estudo comparativo da tecnologia CAD com a tecnologia BIM. **Revista de Ensino de Engenharia**, [Brasília, DF], v. 34, n. 2, p. 11-18, 2015. DOI 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p11-18. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/d653/3bad6c755ac5492c7e28869dbe8a4c80f4ca.pdf. Acesso em: 8 ago. 2020.

DAWOOD, Nashwan; MALLASI, Zaki. Construction Workspace Planning: Assignment and Analysis Utilizing 4D Visualization Technologies. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, Malden, MA, v. 21, [issue 7], p. 498–513, [3 Aug.] 2006.

DE MENEZES, Gilda Lúcia Bakker Batista. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 18, n. 22, p. 152-171, 2011. DOI https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2011v18n22p152.

DER-ES. Diretoria Colegiada. RDC Eletrônico nº 001, de 3 de novembro de 2020. Disponível em: https://servicos.der.es.gov.br/Concorrencias.aspx?id=11&cls=2#. Acesso em: 27 fev. 2021.

DIRWEESH, Salah Aldein M. **Construction Planning of a Railway Bridge Using the Concept of 4D BIM**. 2015. Thesis (Master of Science in Civil Engineering) - Eastern Mediterranean University, Famagusta. Disponível em: http://i-rep.emu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11129/2300/dirsalah.pdf?sequence=1. Acesso em: 1 nov. 2020.

EASTMAN, C. *et al*. **Manual de BIM: Um guia de modelagem a informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** Porto Alegre: Bookman, 2014.

EMPRESA N. **Orçamento Praia**. Vitória: Empresa N, 2020. Microsoft Excel for Windows 2014

ESPÍRITO SANTO (Estado). Edital de licitação. RDC nº 001/2020. [Contratação de empresa ou consórcio especializado para elaboração de projetos de engenharia e execução de obras na rodovia ES-010]. **Diário Oficial do Espírito Santo**: Licitações, Vitória, n. 25300, p. 14, 13 ago. 2020. Disponível em: https://servicos.der.es.gov.br/Concorrencias.aspx?id=11&cls=2. Acesso em: 5 maio 2021.

FISCHER, M. A.; AALAMI, F. Scheduling with computer-interpretable construction method models. **Journal of Construction Engineering and Management**, [Reston], v. 122, issue 4, p. 337-347, Dec. 1996.

FREITAS, R. C. F., MELHADO, S. B., CARDOSO, F. F. Os desafios e os esforços da cadeia produtiva da construção civil para a adoção do BIM. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

GEHBAUER, Fritz *et al*. **Planejamento e Gestão de Obras**: um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha. 2. ed. Curitiba: CEFET-PR, 2002.

GELISEN, G.; GRIFFIS, F. H. Automated Productivity-Based Schedule Animation: Simulation-Based Approach to Time-Cost Trade-Off Analysis**. Journal Of Construction Engineering And Management**, v. 140, n. 4, p.1-10, 2014.

GLEDSON, B. J.; GREENWOOD, D. J. Surveying the extent and USE OF 4D BIM in the UK. **Journal of Information Technology in Construction**, [Ottawa], v. 21, p. 57-71, May 2016. Disponível em: https://www.itcon.org/papers/2016_4.content.02642.pdf. Acesso em: 3 dez. 2020.

GOUVÊA, L. B. de; PAULA, F. A. de; LORENZI, P. C. **Aplicação de CAD 4D/5D a partir do modelo integrado de informação para habitação unifamiliar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2013.

GRUSKA, C.F.G.G. *et al*. Tendências e aplicações de BIM no orçamento e planejamento da construção civil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://www.antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/189. Acesso em: 17 abr. 2021.

HAMADA, H. M. *et al*. Implementation of 4D/BIM in the Iraqi construction industry. **Int. J. Engineering Systems Modelling and Simulation**, v. 9, n. 4, p. 227–236, 2017.

HARDIN, Brad; MCCOOL, Dave. **BIM and Construction Management:** Proven tools, methods, and workflows. 2nd ed. Indianapolis: Wiley, 2015. Disponível em: http://iibimsolutions.ir/files/BIM/Ebook/BIM%20and%20Construction%20Management-2nd%20edition.pdf. Acesso em: 8 ago. 2020.

HAYMAKER, J; FISCHER, M. Challenges and Benefits of 4D Modeling on the Walt Disney Concert Hall Project. **CIFE Working Paper**, [Palo Alto], #64, jan 2001. Disponível em: https://stacks.stanford.edu/file/druid:fw529qc5108/WP064.pdf. Acesso em: 8 ago. 2020.

HUGHES, Daniel. Download McGraw-Hill Lean Construction-BIM Report. **Bradley Corp**, [S. l], 24 Nov. 2013. Disponível em: https://tinyurl.com/y6cjbmc6. Acesso em: 30 nov. 2020.

JUPP, Julie. 4D BIM for Environmental Planning and Management. **Procedia Engineering**, [Amsterdam], v. 180, p. 190-201, 2017. Paper presented at the International High- Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series, 2016, [Sydney].

KAMARDEEN, I. 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. *In:* Annual ARCOM Conference, 26th, 2010, Leeds. **Proceedings** [...]. Leeds: Association of Researchers in Construction Management, 2010. p. 281-289. Disponível em: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.8274&rep=rep1&type=pdf. Acesso em: 8 ago. 2020.

KOO, Bonsang; FISCHER, Martin. Feasibility Study of CAD 4D in Commercial Construction. **CIFE Technical Report**, [Palo Alto], #118, aug 1998.

LI, J. *et al*. A Project-Based Quantification of BIM Benefits. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, v.11, n. 8, p.123-136, 2014.

MA, Z.; WEI, Z.; ZHANG, X. Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model. **Automation in Construction**, v.30, p. 126-135, 2013

MAGALHAES, C. R. Panorama BIM: visões e reflexões da adoção pela indústria da construção civil brasileira. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/152. Acesso em: 8 dez. 2019.

MARTINS, Miguel Alexandre Lourenço. **Aplicação do BIM a uma infraestrutura técnica: Sistema de Climatização**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 30 nov. 2017. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.21/8324. Acesso em: 8 ago. 2020.

MARTINS, P.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

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

NASCIMENTO, J. L. P. Proposta de planejamento e controle da produção utilizando a técnica da linha de balanço: uma aplicação na construção civil. **Semana Acadêmica**, [Ceará], v. 1, ed. 194, 20 mai 2020. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/artigo/proposta-de-planejamento-e-controle-da-producao-utilizando-tecnica-da-linha-de-balanco-uma. Acesso em: 8 fev. 2021.

PITAKE, S. A.; PATIL, P. D. S. Visualization of Construction Progress by 4D Modeling Application. **International Journal of Engineering Trends and Technology** (IJETT), v. 4, n. 7, p. 3000-3005, 2013.

RIBEIRO, Priscila de Castro. Qual a real contribuição do BIM para o desempenho, produtividade e custos? *In*: SEMINÁRIO PAULUZZI EM MOVIMENTO, 2018, Porto Alegre. **Anais** [...]. Sapucaia do Sul: Pauluzzi, 2018. Disponível em: https://pauluzzi.com.br/pauluzzi-em-movimento/. Acesso em: 17 abr. 2021.

RISCHMOLLER, L; ALARCÓN, L. F. 4D-PS: Putting an IT new work process into effect. *In:* CIB w78 conference, 2002, Århus. **Proceedings [...].** [Auckland]: CIB, 2002. Disponível em: https://itc.scix.net/pdfs/w78-2002-13.content.pdf. Acesso em: 3 Dez. 2020.

ROLFSEN, Christian Nordahl; MERSCHBROCK, Christoph. Acceptance of construction scheduling visualizations: bar-charts, flowline-charts, or perhaps BIM? **Procedia Engineering**, [Amsterdam], v. 164, p. 558-566, 2016. Trabalho apresentado na Creative Construction Conference 2016, 2016, [Budapest].

ROTTA, Fernando. BIM: Construção com erro zero. **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**, Brasília, DF, 20 dez. 2017a. Disponível em: https://www.abdi.com.br/postagem/bim-construcao-com-erro-zero. Acesso em: 8 ago. 2020.

ROTTA, Fernando. O que é o Building Information Modeling (BIM)? **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**, Brasília, DF, 20 dez. 2017b. Disponível em: https://www.abdi.com.br/postagem/o-que-e-o-building-information-modeling-bim. Acesso em: 8 ago. 2020.

SALGADO, Pedro Miguel Lopes. **Planeamento e controlo de projetos em ambiente colaborativo com recurso a ferramentas BIM.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/40367. Acesso em: 31 out. 2020.

SCHEER, S. *et al*. On-Site BIM Model Use to Integrate 4D/5D Activities and Construction Works: A Case Study on a Brazilian Low Income Housing Enterprise. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASCE, 2014, p. 455 - 462.

SILVA, C.P. **Comparativo entre as técnicas tradicionais e a Plataforma BIM aplicadas no Planejamento de obras**. Monografia de Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

SILVA, Paula Heloisa da; CRIPPA, Julianna; SCHEER, Sergio. BIM 4D no planejamento de obras: detalhamento, benefícios e dificuldades. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, 2019. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650258. Acesso em: 13 mai. 2020.

SILVA JÚNIOR, J.G. **Metodologia BIM 4D aplicada ao planejamento e controle de obra em uma estação de tratamento de água**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

SOUZA, L. L. A. D.; AMORIM, S. R. L.; LYRIO, A. D. M. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: oportunidades no mercado imobiliário. **Gestão & Tecnologia de Projetos - Periódico Científico do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP**, São Paulo, v. 4, n. 2, 2009.

VASCONCELOS, T. M. N. R. F. **Building Information Model – Avaliação do seu potencial como solução para os principais atrasos e desperdícios na Construção Portuguesa**. 2010. Dissertação (Grau de Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

VELASCO, Alberto Urbina. **Assessment of 4D BIM applications for project management functions**. 2013. Thesis (Master in Construction Engineering) - University of Cantabria, Santander. 13 Sep. 2013. Disponível em: https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3432/A.%20Urbina%20Velasco.pdf. Acesso em: 1 nov. 2020.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: Planejamento e Métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Disponível em: https://saudeglobaldotorg1.files.wordpress.com/2014/02/yin-metodologia_da_pesquisa_estudo_de_caso_yin.pdf. Acesso em: 2 dez. 2020.

APÊNDICE

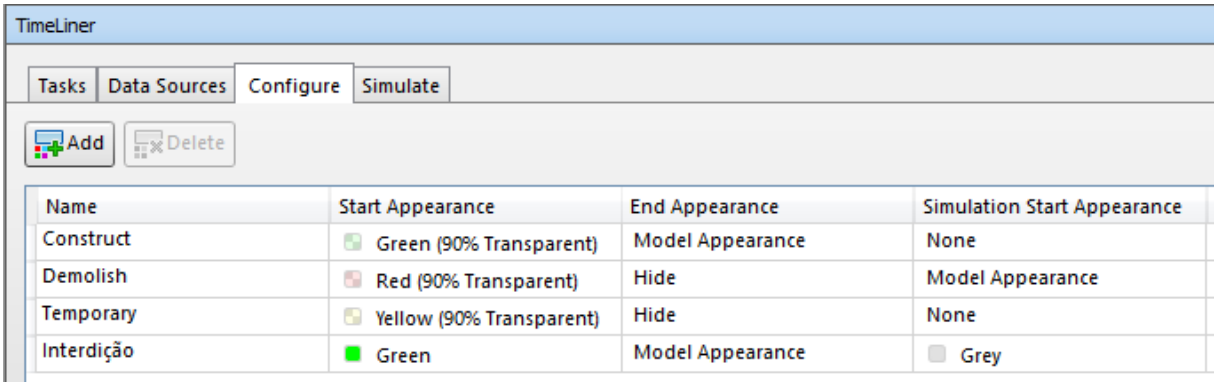
COMANDOS UTILIZADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO NO NAVISWORKS E NO REVIT

- **Criação de *Task Types***

A criação de *Task Types* é feita através da ferramenta *Add* na aba *Configure* da janela *TimeLiner*. Todas as tarefas do cronograma inserido no Navisworks precisam estar associadas a algum *Task Type*, que irá definir a aparência dos objetos do modelo associados às mesmas quando elas iniciarem (*Start Appearance*), quando terminarem (*End Appearance*) e no início da simulação (*Simulation Start Appearance*).

Para o *Task Type* Interdição, utilizado na simulação 4D da ordem de interdições, optou-se por iniciar a simulação com os objetos todos em cinza (*Simulation Start Appearance* em *Grey*), colorir os trechos em interdição de verde (*Start Appearance* em *Green*) e, ao final da interdição, colorir os trechos reformados com sua cor original, conforme modelado no Revit (*End Appearance* em *Model Appearance*) (Figura 45).

Figura 45 - Configuração do *Task Type* "Interdição"



Fonte: autoras (2021)

No caso da simulação 4D da EAP, outros Task Types foram criados (Figura 46).

Figura 46 - *Task Types* definidos no Navisworks

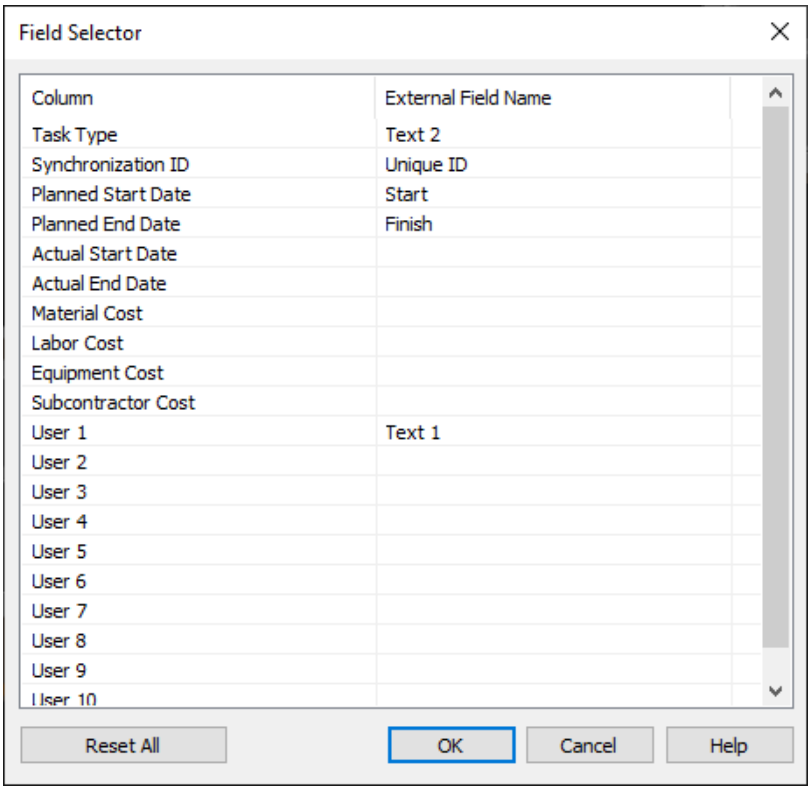
Name	Start Appearance	Simulation Start Appearance	End Appearance
DED	Yellow	Model Appearance	Hide
DEC	Cyan	Model Appearance	Hide
ESC	Red	Model Appearance	Hide
SUB	Azul Claro	Hide	Model Appearance
BAS	Green	Hide	Model Appearance
REC	Magenta	Model Appearance	Model Appearance
DPR	Rosa Claro	Model Appearance	Model Appearance
DRE	Purple	Model Appearance	Model Appearance
GRE	Blue	Model Appearance	Model Appearance
DCA	Blue	Model Appearance	Hide
CAN	Teal	Hide	Model Appearance
CAL	Olive	Hide	Model Appearance
FRE	Verde Escuro	Model Appearance	Hide
PIN	Teal Claro	Hide	Model Appearance
FAB	Laranja Claro	None	Model Appearance
FAC	Green Claro	None	Model Appearance
OBC	Lilás	None	Model Appearance
SVS	Vermelho Escuro	None	Model Appearance
SHO	Roxo Escuro	None	Model Appearance

Fonte: autoras (2021)

- **Importação de cronograma e modelo 3D no Navisworks**

O modelo 3D é inserido no Navisworks através da opção *Append* da aba *Home* do menu superior, enquanto o cronograma é importado com a opção *Add* na aba *Data Sources* da janela *TimeLiner*. Na importação do cronograma, é necessário, ainda, relacionar as colunas do mesmo com as colunas da tabela encontrada na aba *Tasks* do *TimeLiner* (Figura 47).

Figura 47 - Janela *Field Selector*, exibida no momento da importação do cronograma e utilizada para relacionar campos do cronograma no Project com campos da tabela do *TimeLiner*

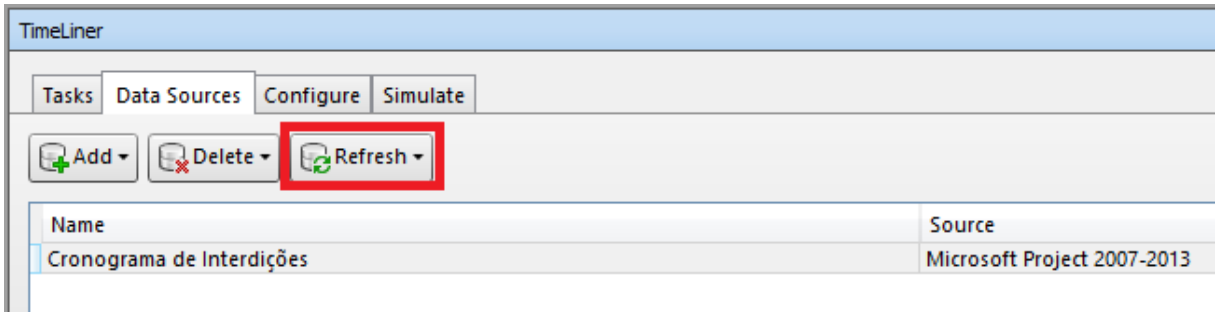


Fonte: autoras (2021)

À coluna *Synchronization ID*, associou-se o campo *Unique ID* do Project, que é um campo numérico criado e preenchido automaticamente pelo Project cujos números são únicos, isto é, não se repetem em duas ou mais tarefas. E à coluna *User 1*, associou-se o campo *Text 1*, que corresponde à coluna de código da tarefa do cronograma.

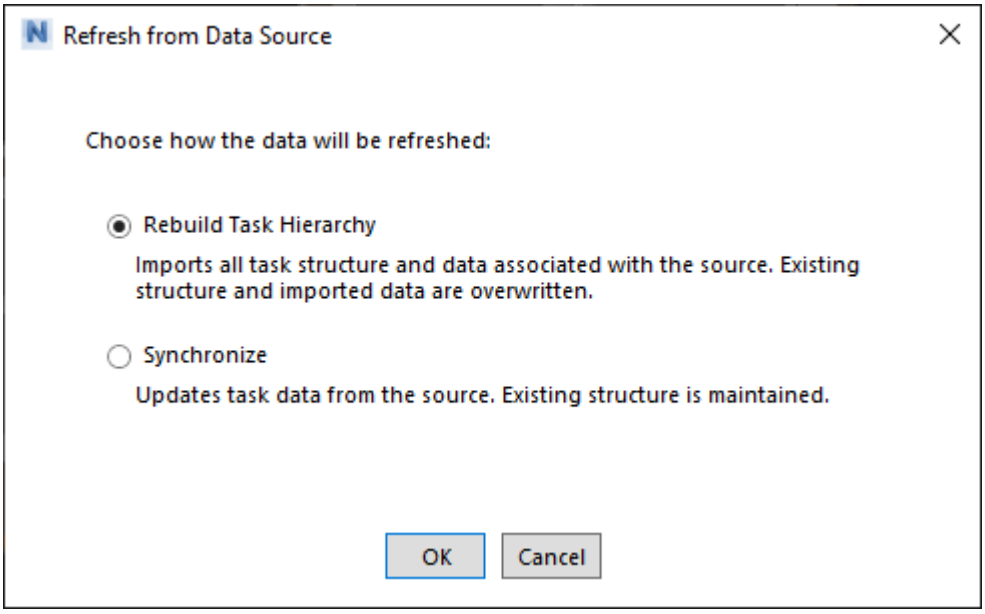
Para o cronograma aparecer na aba *Tasks* do *TimeLiner*, é necessário, ainda, utilizar a ferramenta *Refresh* na aba *Data Sources* (Figura 48), selecionando a opção *Rebuild Task Hierarchy* (Figura 49).

Figura 48 - Aba *Data Sources* do *TimeLiner*, com destaque para a ferramenta *Refresh*



Fonte: autoras (2021)

Figura 49 - Janela exibida quando selecionada a ferramenta *Refresh*

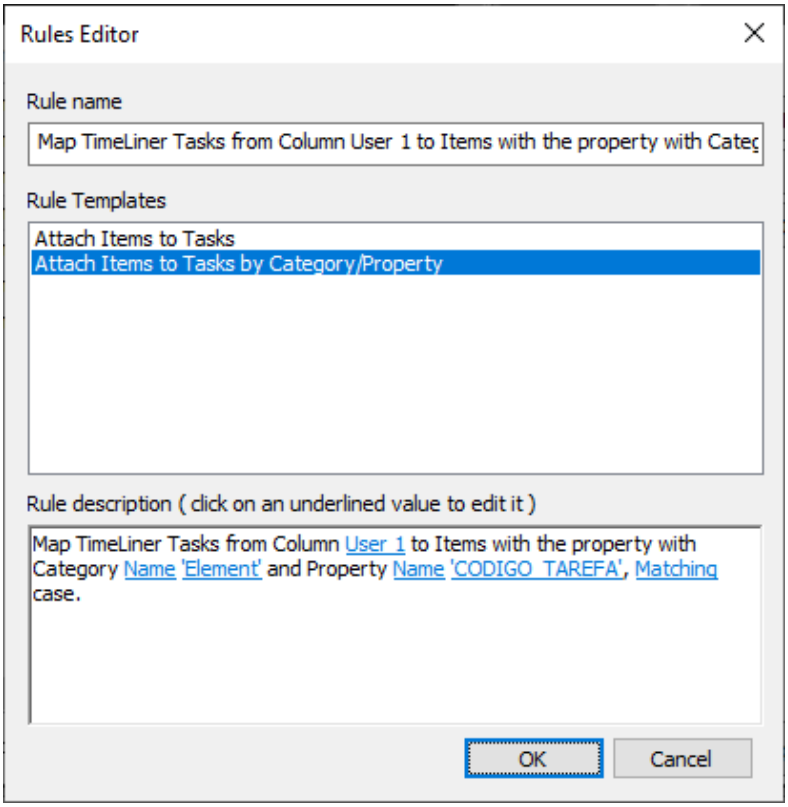


Fonte: autoras (2021)

- **Associação de objetos do modelo a tarefas do cronograma**

Para associar objetos do modelo a tarefas do cronograma utilizando regras customizáveis no Navisworks, usa-se a ferramenta *Auto-Attach Using Rules*, encontrada no *TimeLiner*, na aba *Tasks*. A regra criada para a simulação 4D do cronograma de interdições se encontra na Figura 50. Com ela, o Navisworks associará tarefas do *TimeLiner* a partir da coluna *User 1* a itens com o valor do parâmetro CODIGO_TAREFA equivalente.

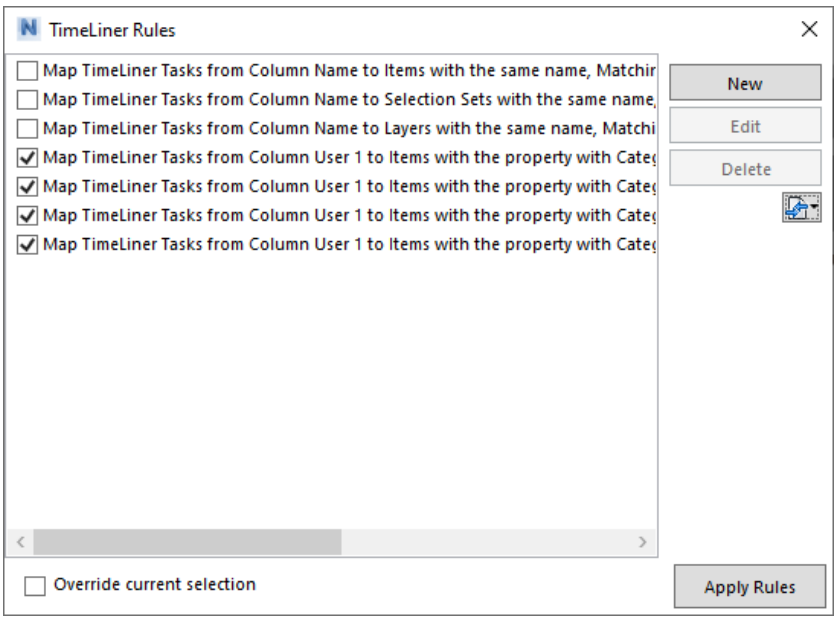
Figura 50 - Configuração de regra da ferramenta *Auto-Attach Using Rules*



Fonte: autoras (2021)

No caso da simulação 4D da EAP, foi necessário criar quatro regras, sendo uma para cada parâmetro de código criado (Figura 51).

Figura 51 – Janela *TimeLiner Rules* após a criação das quatro regras de associação de tarefas e objetos

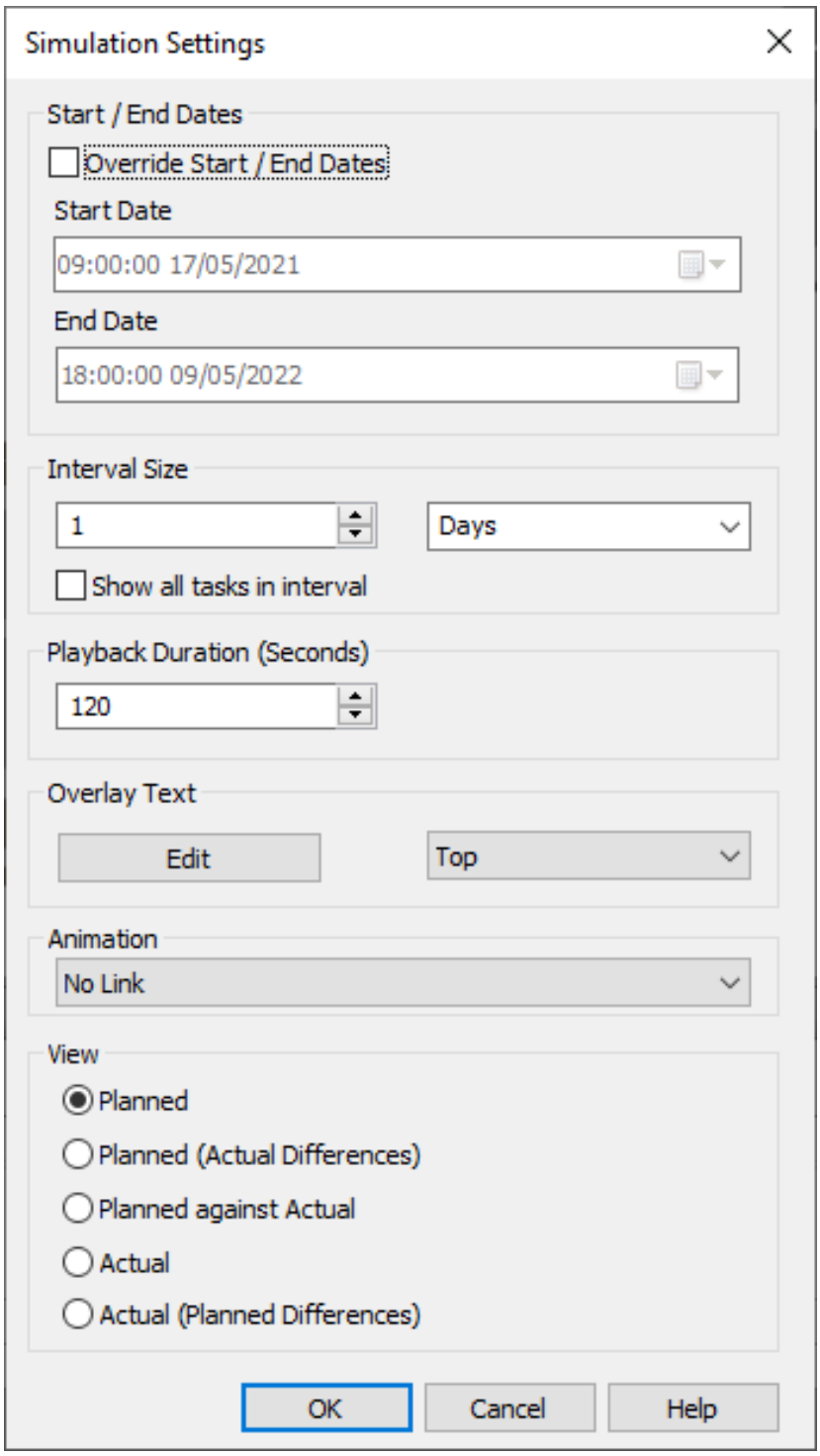


Fonte: autoras (2021)

- **Configuração das opções de simulação**

Para configurar as opções de simulação, utiliza-se a opção *Settings...* na aba *Simulate* do *TimeLiner*, que exibe a janela *Simulation Settings* (Figura 52).

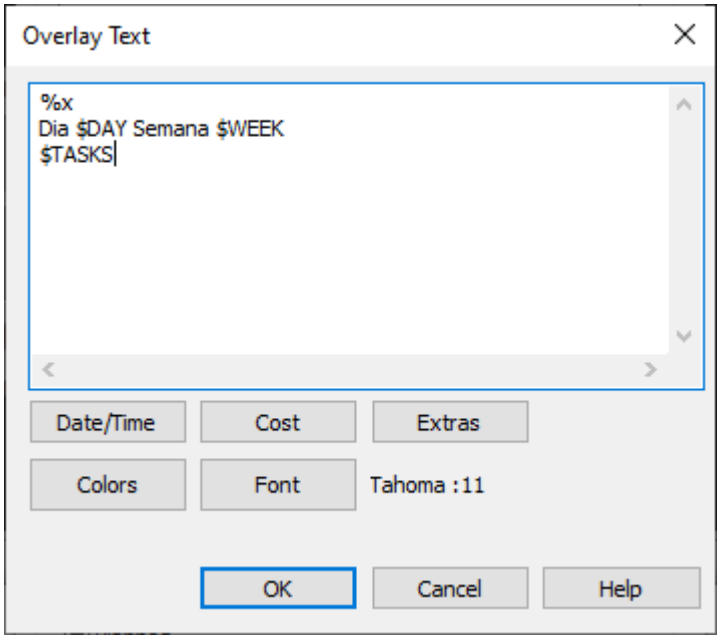
Figura 52 - Janela *Simulation Settings*



Fonte: autoras (2021)

Na janela *Simulation Settings* exibida, ajusta-se o tempo total do vídeo (120 segundos) configura-se o texto que aparece na simulação através do botão *Edit*, que exibe a janela *Overlay Text* (Figura 53).

Figura 53 - Janela *Overlay Text* e configurações aplicadas



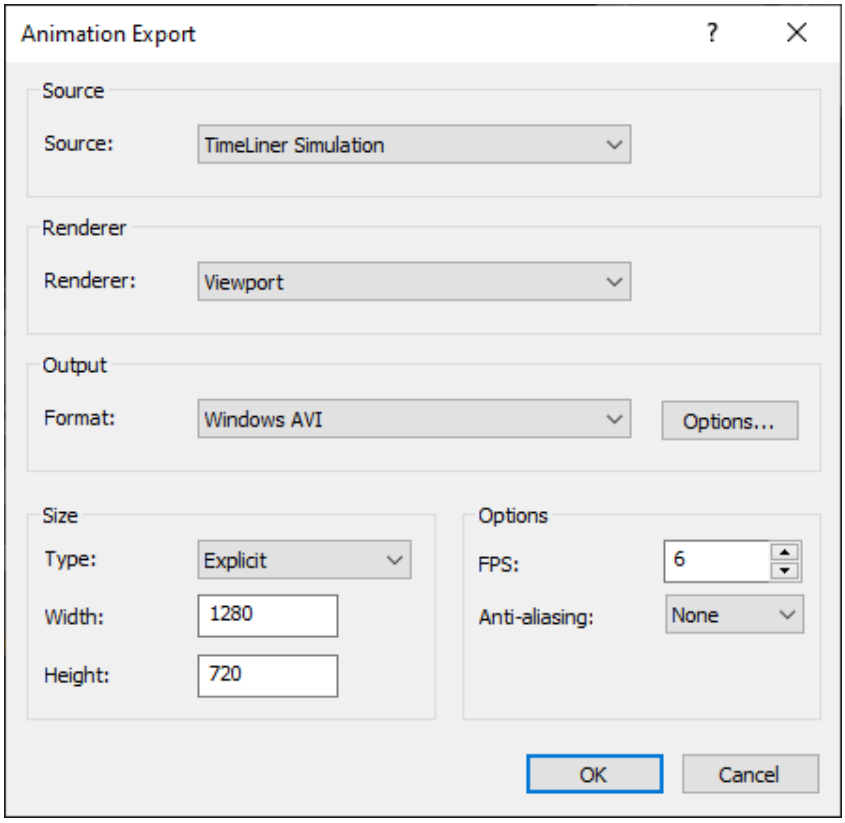
Fonte: autoras (2021)

Há diversas opções de texto dinâmico que podem ser adicionados à simulação para fornecer informações sobre o planejamento. Esses textos dinâmicos são adicionados por meio de notações, como na Figura 53. Para a simulação 4D do cronograma de interdições, optou-se por configurar a exibição da data (%x), do número de dias e semanas desde o início da obra ($DAY e $WEEK, respectivamente) e das tarefas em execução ($TASKS).

- **Exportação da simulação**

A simulação é exportada a partir da aba *Simulate* do *TimeLiner*, utilizando a ferramenta *Export Animation* (Figura 54).

Figura 54 - Janela *Animation Export*, exibida ao selecionar a ferramenta *Export Animation*

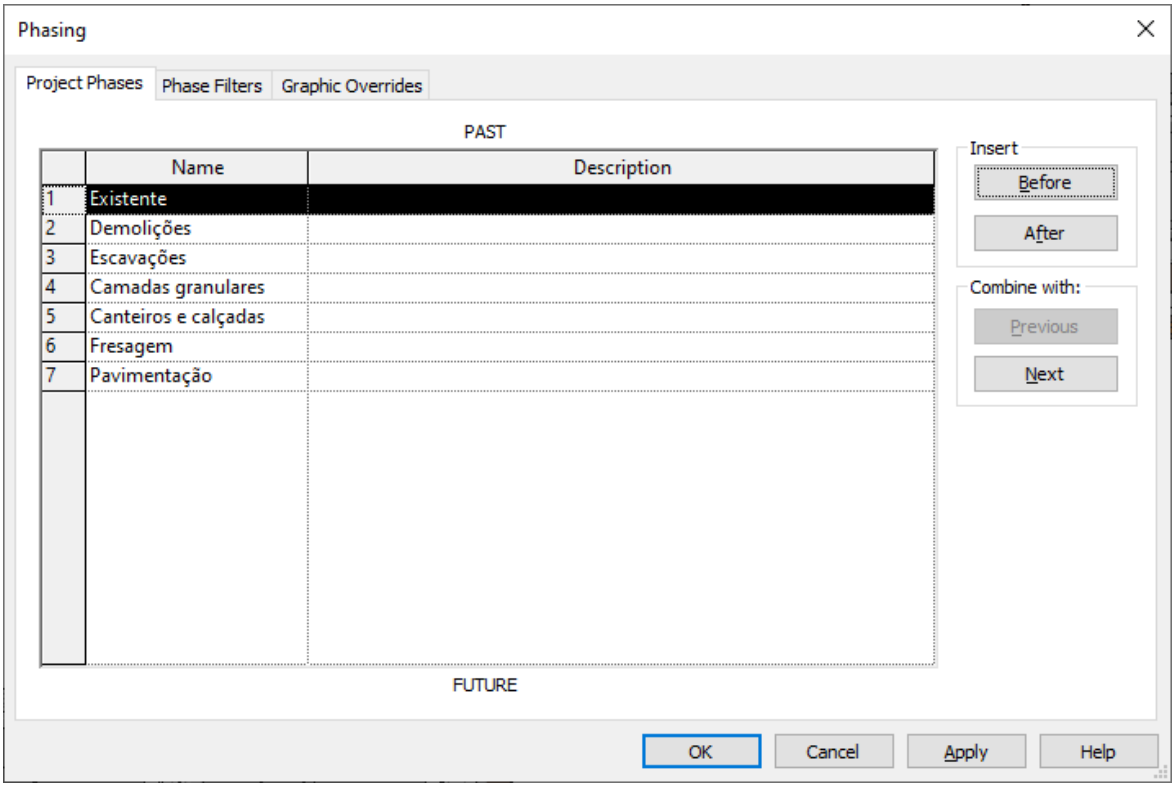


Fonte: autoras (2021)

- **Configuração de fases de projeto no Revit**

Para configurar as fases de projeto, deve-se utilizar a ferramenta *Phases*, encontrada na aba *Manage* do menu superior. Com ela, exibe-se na tela a janela *Phasing*, onde criam-se as diversas fases de projeto. Para o caso deste projeto, optou-se por criar sete fases, mostradas na Figura 55. Vale observar que as fases devem aparecer na ordem em que acontecem, iniciando na superior (Existente) e finalizando na inferior (Pavimentação).

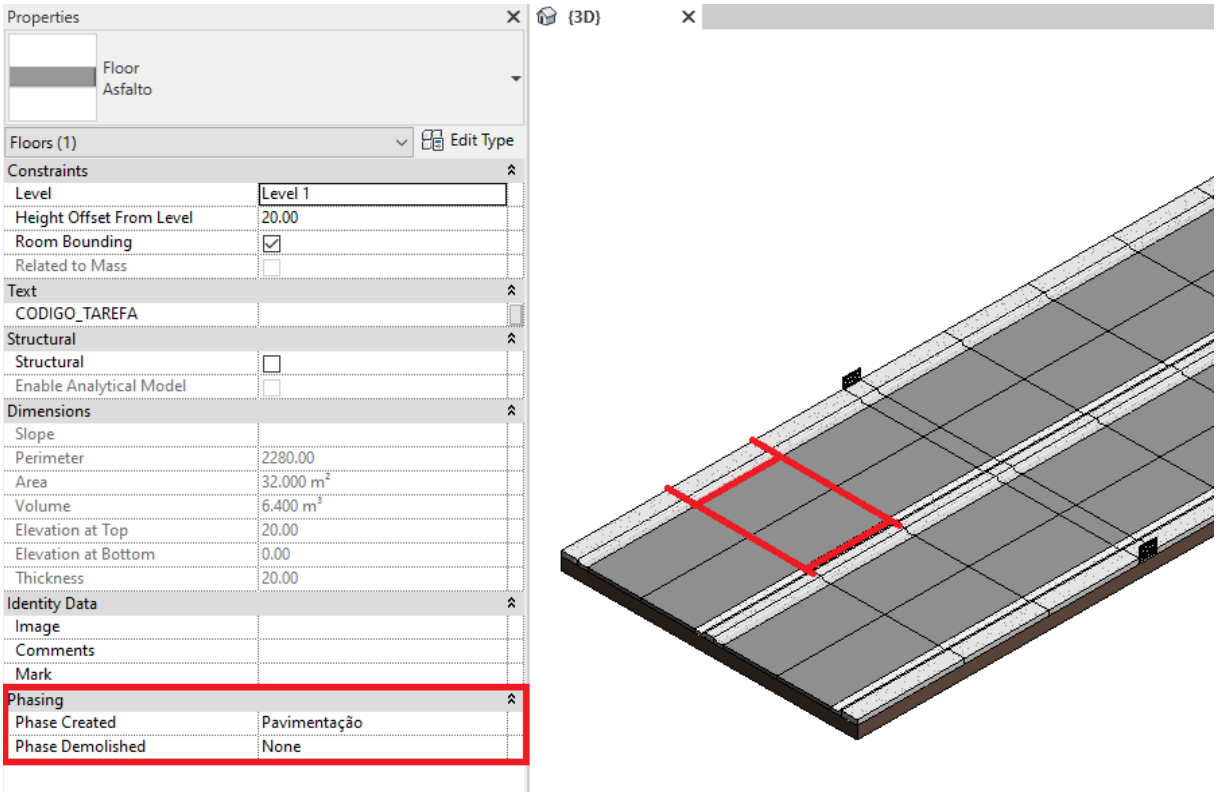
Figura 55 - Janela *Phasing* exibindo as sete fases de projeto criadas



Fonte: autoras (2021)

Em seguida, foi necessário selecionar os objetos do modelo e configurar os parâmetros *Phase Created* e *Phase Demolished*. No primeiro, insere-se a fase em que o objeto foi criado e no segundo, a fase em que o objeto foi demolido (caso o objeto não esteja destinado a demolição, deve-se selecionar a opção *None*).

Figura 56 - Exemplo de objeto do modelo 3D (contornado de vermelho) a ser criado na fase de Pavimentação e sem demolição prevista



Fonte: autoras (2021)

Para configurar a visualização das vistas para exibir somente os objetos já existentes em determinada fase, utilizam-se os parâmetros de vista *Phase Filter* e *Phase*. Neste, deve-se informar a fase que se deseja visualizar, enquanto naquele, deve-se aplicar o filtro *Show Complete*, já criado nativamente pelo Revit, que esconde os objetos a serem criados em fases posteriores ou já demolidos em fases anteriores.