

**AVALIAÇÃO DO USO DE BUILDING INFORMATION MODELING
(BIM) NA IMPLANTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO**

IGOR LEMOS VILLAR

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO USO DE BUILDING INFORMATION
MODELING
(BIM) NA IMPLANTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO**

IGOR LEMOS VILLAR

ORIENTADOR: LEONARDO DA SILVEIRA PIRILLO INOJOSA
MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA / DF: NOVEMBRO –2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO USO DE BUILDING INFORMATION
MODELING
(BIM) NA IMPLANTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO**

IGOR LEMOS VILLAR

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa
(Orientador)

Prof. Dr. Eleudo Esteves de Araújo Silva Júnior
(Examinador)

Prof. Dr. Pastor Willy Gonzales Taco
(Examinador)

Prof. Dr. Ramon Saleno Yure Rubim Costa Silva
(Examinador)

BRASÍLIA/DF, NOVEMBRO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

VILLAR, IGOR LEMOS

AVALIAÇÃO DO USO DE BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) NA IMPLANTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO [DISTRITO FEDERAL] 2021.

X, 67P., 297 MM (ENC/FT/UNB, BACHAREL, ENGENHARIA CIVIL, 2021)
MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.
FACULDADE DE TECNOLOGIA.
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

1. BUILDING INFORMATION MODELING 2. PÁTIOS FERROVIÁRIO
3. INFRAESTRUTURA
I. ENC/FT/UNB II. TÍTULO (BACHAREL)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VILLAR, I.L. (2021 Avaliação Do Uso De Building Information Modeling (BIM) Na Implantação De Pátio Ferroviário. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 67p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Igor Lemos Villar.

TÍTULO: Avaliação Do Uso De Building Information Modeling (BIM) Na Implantação De Pátio Ferroviário. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Igor Lemos Villar
EPTG QE 03 bloco B-04 apartamento 305, Lúcio Costa - Guará
CEP: 71.100.119 Brasília – DF – Brasil
e-mail: igor.lemosvillar@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Lenita por me dar a força e a confiança necessárias para enfrentar o mundo.

Agradeço à Luana e à Nayara por, respectivamente, os conselhos cirúrgicos e a eterna parceria. E vice-versa.

Agradeço a Reno e Gê por me ensinarem que o que mais vale a pena é fruto do trabalho.

Agradeço aos colegas e professores pelas tão ricas trocas e ensinamentos durante curso. Em especial, a Leonardo Inojosa, Pastor Willy, Eleudo Esteves e Ramon Saleno pelas ricas contribuições ao trabalho.

Agradeço aos colegas de estágio e trabalho com quem muito aprendi sobre o setor ferroviário.

**AVALIAÇÃO DO USO DE BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)
EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA: ESTUDO DE CASO DE
IMPLEMENTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO.**

RESUMO

O Brasil enfrenta um processo de mudança significativa no setor da indústria da construção frente a novas tecnologias BIM, Building Information Modeling, que se consolidam mundialmente. O Governo Federal assumiu papel protagonista, com a elaboração de um planejamento estratégico que visa a adequar as contratações públicas ao modelo BIM. Frente ao processo de renovação das concessões existente e prospecção de novos contratos ferroviários em curso no país, este trabalho utiliza-se de um estudo de caso de implantação de novos pátios de cruzamento ferroviários para identificar diretrizes para uso da metodologia BIM.

Palavras-chave: pátio ferroviário, BIM, ferrovias, contratos públicos, autorização de obras públicas, lastro, Sublastro, corte, aterro, Civil 3D.

**EVALUATION OF THE USE OF BUILDING INFORMATION MODELING
(BIM) IN INFRASTRUCTURE PROJECTS: CASE STUDY OF
IMPLEMENTATION OF RAILWAY.**

ABSTRACT

Brazil is facing a process of significant change in the construction industry sector considering the new BIM, Building Information Modeling, technologies which are consolidated worldwide. The Federal Government assumed a leading role in encouraging, guiding and promoting the incorporation of these new technologies, with the elaboration of a strategic plan that aims to adapt public contracts to the BIM model. In view of the process of renewing existing concessions and prospecting for new railway contracts underway in the country, this study aims to evaluate the suitability of a project for the implementation of a railway yard and analyzes the necessary procedures in the process.

Keywords: railway, BIM, railway yards, public contracts, authorization of public constructions

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Apresentação.....	1
1.1.1	Contextualização	1
1.1.2	Benefícios BIM	1
1.1.3	BIM e a estratégia de implementação nacional	1
1.1.4	Cenário Ferroviário no Brasil	3
1.2	Definição do problema.....	4
1.3	Justificativa	5
1.4	Objetivos.....	5
1.5	Objeto de estudo	5
1.6	Metodologia do Projeto Final	5
1.7	Estrutura do Trabalho	6
2	ESTUDOS DO PROJETO FERROVIÁRIO BASE	7
2.1	Projeto ferroviário.....	7
2.1.1	Conceitos Gerais.....	7
2.1.2	Estudos de viabilidade	7
2.1.3	Projeto básico	7
2.1.4	Projeto executivo	7
2.1.5	Via Permanente Ferroviária.....	9
2.1.6	Pátio Ferroviário	10
2.2	Projeto referência.....	11
2.2.1	Objeto de estudo	11
2.2.2	Estudos de viabilidade de projeto	12
2.2.3	Projeto de Engenharia.....	12
2.2.4	Projeto de sinalização	15
2.2.5	Orçamento e cronograma.....	16
2.2.6	Processo fiscalizatório de autorização.....	16
3	BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	20
3.1	História da modelagem da informação	20
3.2	Principais características do BIM	20
3.2.1	Modelagem paramétrica:	20
3.2.2	Propriedades e atributos:	21
3.2.3	Escalabilidade:.....	21
3.2.4	Interoperabilidade:.....	21

3.3	Implementação	21
3.3.1	Nível de desenvolvimento BIM.....	21
3.3.2	Nível de maturidade BIM	22
3.4	Projeto ferroviário em BIM	23
3.4.1	Exemplos internacionais.....	23
3.4.2	BIM aplicado a obras de terraplenagem e movimentação de terra.....	28
3.4.3	BIM aplicado a obras de drenagem	29
3.4.4	BIM aplicado a obras de superestrutura ferroviária	30
3.4.5	Integração entre BIM e GIS.....	31
3.5	Escolha do software base a ser utilizado na implementação	31
3.5.1	Bentley.....	32
3.5.2	Civil 3D	32
3.5.3	Escolha do software.....	32
4	IMPLEMENTAÇÃO BIM AO PROJETO BASE: PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO	33
4.1	Planejamento.....	33
4.1.1	Definições Preliminares.....	33
4.1.2	Identificação dos Usos e Metas	35
4.1.3	Processos de execução.....	36
4.1.4	Comunicação	37
4.1.5	Infraestrutura necessária	38
4.2	Modelagem	39
4.2.1	Base topográfica GIS.....	39
4.2.2	Modelo de condições existentes	39
4.2.3	Projeto de duplicação da via.....	44
4.3	Criando relatórios de análise a partir do modelo	48
4.3.1	Volumes de materiais	48
4.3.2	Relatórios de custos	49
4.3.3	Relatórios da “Caixa de Ferramentas”	49
5	REVISÃO DO PLANO DE EXECUÇÃO BIM	50
5.1	Funções de projeto	50
5.2	Identificação dos Usos e Metas.....	50
5.3	Comunicação	51
5.3.1	Sistemas de Classificação de Informação da Construção.....	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	53
6.1	Considerações finais	53
6.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	55

7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
8	APÊNDICE 1 - FLUXOGRAMA.....	59
9	APÊNDICE 2 – PROJEÇÃO DE PONTOS DO ALINHAMENTO VERTICAL NO GRÁFICO DE SEÇÃO	66

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Decretos destinados à adoção de uma estratégia nacional BIM.....	2
Quadro 2 - Alinhamentos - Retas	13
Quadro 3 - Alinhamentos - Curvas.....	13
Quadro 4 - Características geométricas do pátio de cruzamento.....	14
Quadro 5 - Documentação para autorização de execução de obras	17
Quadro 6 - Revisão orçamentária de obra	19
Quadro 7 - Definições LOD	22
Quadro 8 - Níveis de maturidade dos modelos BIM.....	22
Quadro 9 - Comparativo entre os principais softwares para modelagem avaliados.....	32
Quadro 10 - Lista de participantes do projeto	33
Quadro 11 - Funções de projeto	34
Quadro 12 - Etapas de projeto	35
Quadro 13 - Usos e Metas do projeto	36
Quadro 14 - Classificação dos elementos do projeto	37
Quadro 15 - Definições de instrumentos e procedimentos de colaboração.....	38
Quadro 16 - Projeção de pontos do alinhamento vertical no gráfico de seção.....	41
Quadro 17 - Classificação e elementos de projeto	48
Quadro 18 - Etapas de Projeto.....	50
Quadro 19 - Classificação e elementos de projeto	51
Quadro 20 - Atendimentos dos objetivos do estudo.....	54

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Malha ferroviária brasileira	4
Figura 2 - Mapa da elaboração de um projeto básico.....	8
Figura 3 - Perfil transversal de plataforma de via permanente.....	9
Figura 4 - Perfil transversal de trilho ferroviário.....	9
Figura 5 - Dormente monobloco de concreto	10
Figura 6 - Esquema de pátio ferroviário por gravidade.....	11
Figura 7 – Desenho linear esquemático do pátio de cruzamento Estrela D’Oeste.....	13
Figura 8 - Visão de um modelo BIM de pátio ferroviário apresentado pela TUC RAIL.	24
Figura 9 - Projeto de Subestação de Energia de Skhira – Colas Rail Maroc	25
Figura 10 - Níveis de maturidade de modelos BIM	27
Figura 11 - Consolidação de recomendações de exemplos internacionais.....	28
Figura 12 – Alteração de traçado em projeto automatizado por parâmetros do modelo	29
Figura 13 - Perfil e alinhamento da estação Jiangyou - Civil 3D.....	29
Figura 14 - Projeto conceitual: bacia de contribuição e solução para transposição	30
Figura 15 - Modelo de corredor de trilhos 3D, incluindo alinhamentos, perfis e montagens.....	30
Figura 16 - Processo de importação de modelos do ArcGIS ao modelo do Civil 3D	31
Figura 17 - Simbologia utilizada no mapeamento de processos	37
Figura 18 - Alinhamento horizontal - Eixo existente	40
Figura 19 - Coordenadas do ponto de seção - estaca 0, cota 494,000	41
Figura 20 - Seção transversal com cota - Projeto de referência	42
Figura 21 - Ajuste de alinhamento existente	42
Figura 22 - Montagem da sessão transversal da via existente.....	43
Figura 23 - Visualização 3D do corredor existente	44
Figura 24 - Edição de AMV	44
Figura 25 - Visualização de gráfico de seção transversal.....	45
Figura 26 - Montagem de seção de AMV	46
Figura 27 - Superfícies de corredor	47
Figura 28 - Lista de Materiais - AMV	49

LISTA DE SIGLAS

SIGLA :

SIGNIFICADO

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC: Arquitetura, Engenharia e Construção

AMV: Aparelho de Mudança de Via

BDI: Benefício de Despesas Indiretas

BIM: Building Information Modeling

CAD: Computer Aided Design ou Desenho Assistido por Computador

CE-BIM: Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling

CBR: California Bearing Ratio, ou Índice Suporte Calif

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EAP: Estrutura Analítica de Projeto

IFC: Industry Foundation Classes

LOD: Level of Development ou Nível de Desenvolvimento

NBR: Norma Brasileira

OAEs: Obras de Arte Especiais

SICRO: Sistema de Custos Referenciais de Obras

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

1.1.1 Contextualização

A indústria da construção civil enfrenta dificuldades intrínsecas a seu funcionamento do ponto de vista da ineficiência do processo construtivo. Excessivo retrabalho no desenvolvimento de projetos e na execução de obras acarretam prejuízos dos pontos de vista financeiro, social e ambiental.

Nesse sentido diversas técnicas, métodos e ferramentas têm sido desenvolvidas, tais como o Building Information Modeling (BIM). A Modelagem da Informação da Construção ou BIM apresenta vantagens ao longo do ciclo de vida da construção, elevando a confiabilidade das estimativas de projeto, reduzindo falhas e incompatibilidades entre as disciplinas de projeto e os riscos associados à construção. Considerando as vantagens da utilização BIM, o Governo Federal criou, em junho de 2017, o primeiro comitê de organização da inserção da tecnologia BIM na indústria da construção, o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling - CE-BIM – com o intuito de formular um plano de fomento da utilização do BIM no país, promover as mudanças necessárias e garantir um ambiente adequado para seu uso.

1.1.2 Benefícios BIM

Especificamente para projetos ferroviários em BIM, Bensalah et al. (2019) indicam que o uso de BIM em projetos ferroviários pode reduzir o tempo de execução de um projeto em até 15%, otimizar os custos em mais de 10% e evitar em até 15% das mudanças durante a execução do projeto.

A Modelagem da Informação da Construção tem se consolidado como um novo paradigma para o desenvolvimento de empreendimentos de arquitetura e de engenharia, considerando todo seu ciclo de vida, desde a concepção do projeto, o acompanhamento e controle de obras e a realização da gestão e manutenção de edificações e obras de infraestrutura. Sua utilização aprimora muitas práticas do setor da construção e traz diversos benefícios ao mercado, tanto pelo lado daqueles que participam da cadeia de produção quanto dos proprietários e contratantes (demanda). O BIM aumenta a confiabilidade nas estimativas de custos e no cumprimento dos prazos, reduz a incidência de erros e imprevistos, garante uma maior transparência no processo de compra e confere maior qualidade às obras. Além disso, pode ser aplicado em todo o ciclo de vida da construção. As informações agregadas ao modelo virtual proporcionam ao proprietário eficiência na gestão e manutenção de ativos. (MDIC - Ministério da Indústria, 2018).

1.1.3 BIM e a estratégia de implementação nacional

O Governo Federal Brasileiro por meio do Decreto de 5 de junho de 2017 criou o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling - CE-BIM, no intuito de definir as estratégias de implementação do BIM no Brasil, (Brasil, 2017). O Decreto Nº 9.377, de 17 de maio de 2018, revoga o seu predecessor e institui a Estratégia

BIM BR, a qual traça as principais metas e estratégias da implementação BIM no Brasil, (Brasil, 2018).

Desde então, novas diretrizes governamentais vêm dando prosseguimento com o planejamento de implementação BIM, no qual o mais recente à data de realização do trabalho é o Decreto Nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, que mantém as diretrizes da Estratégia BIM BR e instituiu o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR, o qual se destina a acompanhar e revisar a Estratégia BIM BR, (Brasil, 2019). O Quadro 1 apresenta as principais distinções na cronologia dos decretos destinados a uma política nacional de implementação BIM.

Quadro 1 - Decretos destinados à adoção de uma estratégia nacional BIM

	DECRETO DE 5 DE JUNHO DE 2017	DECRETO Nº 9.377	DECRETO Nº 9.983
Data	5 de junho de 2017	17 de maio de 2018	22 de agosto de 2019
Status	Revogado pelo decreto 9.337/2018	Revogado pelo decreto 9.983/2019	Ativo
Assunto	Institui o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling .	Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling, BIM-BR	Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling, BIM-BR, e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling .
Descrição	O comitê CE BIM destinava-se a propor, no âmbito do Governo federal, a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, as suas diretrizes e as prioridades de atuação; analisar e validar o Mapa Estratégico e o Plano de Ações para disseminação da metodologia BIM.	Traça os objetivos da estratégia BIM-BR, dentre eles: estimular o uso do BIM, fomentar tecnologias, <u>desenvolver</u> uma biblioteca nacional em BIM, coordenar o setor público em contratações BIM e desenvolver normas técnicas para a adoção da metodologia.	Dá continuidade à a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling, BIM-BR. Institui um novo comitê responsável pela gestão, atualização e implementação da estratégia, o Comitê Gestor da Estratégia BIM-BR.
Comitê responsável	CE BIM	CG BIM	Comitê Gestor BIM
Objetivo	Elaborar diretrizes estratégicas BIM	Gerir, atualizar e implementar a estratégia BIM BR	Gerir, atualizar e implementar a estratégia BIM BR

Fonte: Autor (2021)

No ano de 2020, uma nova ação governamental foi formalizada por meio do Decreto Nº 10.306 de 2 de abril de 2020. Neste documento, fica estabelecido o uso do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, no âmbito da Estratégia BIM BR, em atividades executadas nos imóveis jurisdicionados às forças armadas, em obras de reforço e reabilitação de OAEs executados pelo DNIT e obras de investimento em aeroportos regionais, a cargo da Secretaria Nacional de Aviação Civil. Ainda segundo o documento, demais órgãos e entidades da administração pública podem também adotar ações de implementação do BIM (Brasil (2020).

Três principais fases incorporam os usos BIM de maneira gradual às obras mencionadas. Na primeira fase, com início em 2021, dentre os principais usos estão extração de quantitativos, detecção de interferências e geração de documentação gráfica. Já na segunda fase, a qual deverá se iniciar em 2024, incorpora-se aos usos da primeira

fase, a orçamentação, o planejamento, o controle e execução de obras e a atualização do modelo *as built*. A terceira fase, com início em 2028 acumula ainda o gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a construção de um projeto BIM aos usos traçados pelo planejamento.

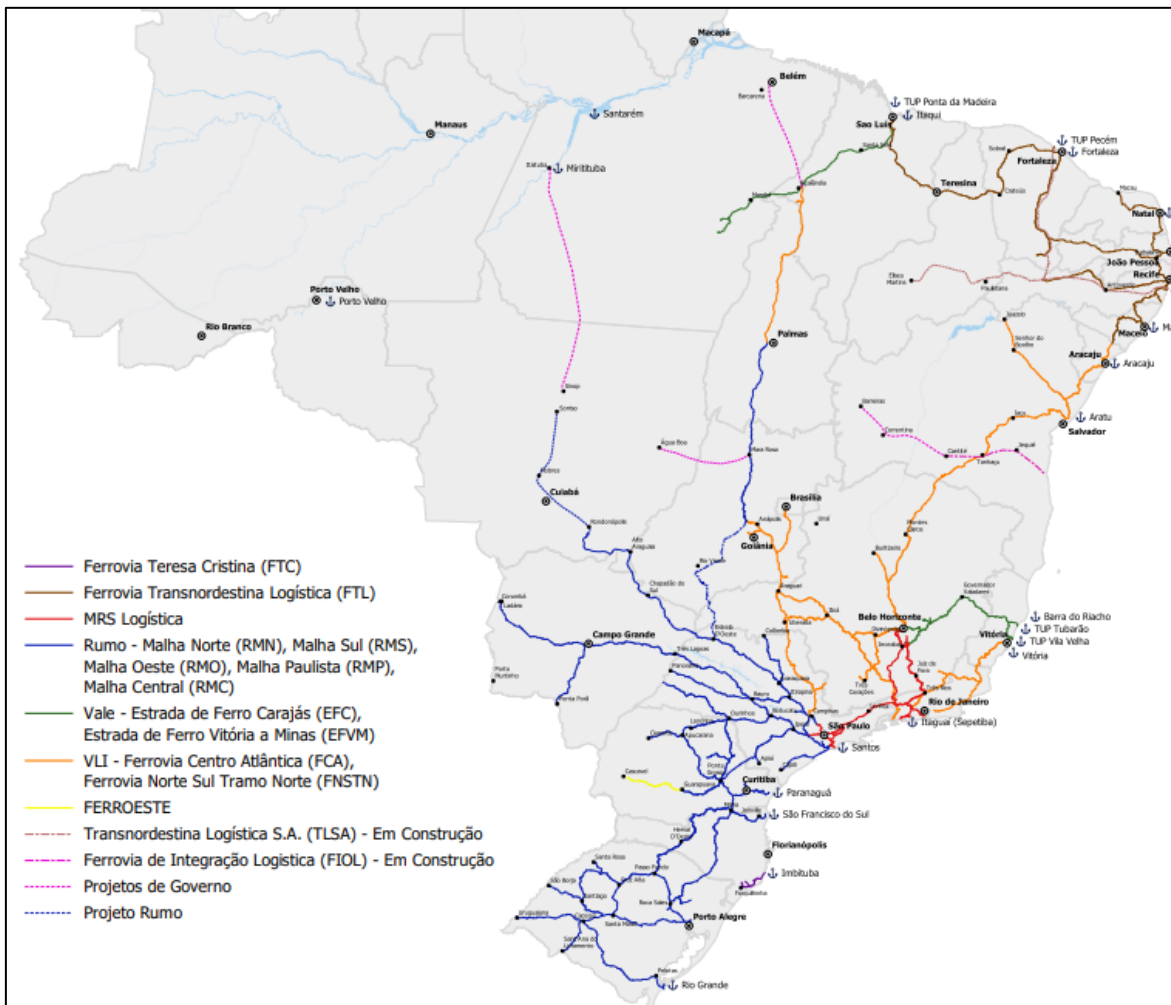
1.1.4 Cenário Ferroviário no Brasil

O setor de transportes de cargas brasileiro subdivide-se em três principais modais, considerando-se o volume de carga transportada: rodoviário, aquaviário e ferroviário. O modal rodoviário caracteriza-se pela alta capilaridade do sistema, que possibilita o transporte ponto a ponto. Os modais ferroviário e aquaviário, por sua vez possuem alta capacidade de carga e maior eficiência energética quando comparado com uma matriz rodoviária. Entende-se, entretanto, que uma melhor estratégia do ponto de vista de eficiência é adotar uma matriz intermodal que possibilite o uso de diferentes modais em cada etapa de transporte. (Brasil, 2018).

Atualmente há predominância do uso rodoviário para transporte interestadual de cargas no Brasil. No ano de 2015, o modal aquaviário, representou cerca de 16% do volume de carga transportado, em TKU, sendo 5% referentes a hidrovias interiores e 11%, cabotagem. No mesmo ano o transporte ferroviário representou cerca de 15% das cargas transportadas no país, enquanto o modal rodoviário representou 65%. Percebe-se, com isso, que o modal rodoviário, que se caracteriza pelo transporte ponto a ponto e menor capacidade de carga, deve ser usado, referencialmente, para pequenas distâncias e pequeno e médio volume. (Brasil, 2018). Com isso, identifica-se a necessidade de expansão do uso ferroviário e aquaviário no Brasil.

No aspecto ferroviário, algumas políticas de governo vêm sendo adotadas visando ampliar o investimento no setor e a malha ferroviária brasileira. Dentre estes, destacam-se as renovações antecipadas, com investimento cruzado em empreendimentos de interesse da administração pública, como o projeto da FICO - Ferrovia de Integração do Centro-Oeste, resultado de contrapartida pertencente a arte da outorga da renovação da EFVM – Estrada de Ferro Vitória Minas (Vale S.A., 2020). A Figura 1 - Malha ferroviária brasileira apresenta o mapa ferroviário brasileiro, considerando-se os trechos de projetos a serem implementados (em lilás).

Figura 1 - Malha ferroviária brasileira



Fonte: (Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários, 2020)

Entretanto, o modelo de concessão, estabelecido no país para a construção da maior parte dos projetos supracitados, exige que o investidor realize elevados aportes no início do contrato de concessão para a realização das obras. Elevado risco associado ao empreendimento inibem novos *players* de mercado a também participarem dos processos de concessão, fazendo com que as empresas já consolidadas no transporte ferroviário disputem entre si o domínio do setor.

A utilização da metodologia BIM permite melhorias de projeto e redução dos riscos e incertezas associados à construção e, com isso, aprimorar o processo de concessão acurando as parcelas do valor de outorga relativas à execução de obras. Sendo assim, novas contratações no setor com projetos elaborados em BIM mostram-se inevitável a esse ponto.

1.2 Definição do problema

Frente ao cenário no qual o governo busca aprimorar a indústria da construção como uso da modelagem da informação, novos desafios emergem para se definir diretrizes e padrões claros para o recebimento e fiscalização de projetos em BIM para obras públicas. A qualidade das novas diretrizes são fundamentais para o sucesso da

implementação BIM no país, orientando a indústria da construção às boas práticas na gestão de projetos. Impulsionados, tanto pela esfera pública, marcado pela formulação da Estratégia BIM BR, quanto pela esfera privada, que busca a mitigação dos riscos associados aos investimentos. Desse modo, questiona-se quais são os passos necessários para que a administração pública comece a orientar os padrões de projeto de infraestrutura ferroviária em BIM às diferentes etapas de um empreendimento?

1.3 Justificativa

O presente trabalho busca contribuir no momento de incorporação do BIM, com as transformações emergentes no formato de contratação de companhias ferroviárias no Brasil, nas diferentes etapas de um empreendimento ferroviário.

1.4 Objetivos

O objetivo geral do estudo é o estabelecimento de diretrizes para o uso da metodologia BIM a projetos de implantação de novos pátios de cruzamento ferroviário.

Decorrem destes os seguintes objetivos específicos:

- Elaboração de um projeto de terraplenagem e superestrutura ferroviária em plataforma BIM;
- Compreender as etapas fiscalizatórias de autorização de projeto de implantação de pátios ferroviários.
- Identificar requisitos mínimos de entrega de projetos ferroviários para sua autorização.
- Identificar as melhorias no processo de projeto e fiscalização ferroviária, utilizando BIM.

1.5 Objeto de estudo

O presente estudo utiliza como base o projeto de Implantação de novo pátio de cruzamento no trecho Itirapina – Santa Fé do Sul, entre o Km 354 + 254 m ao Km 355 + 951 m, no município de Estrela D'Oeste - SP.

1.6 Metodologia do Projeto Final

A metodologia prevê quatro etapas principais. Primeiramente o estudo do projeto base, o qual incorpora conhecimentos específicos de sistemas ferroviários e processos governamentais de autorização de projetos de implantação de pátios ferroviários. Em seguida estudo e entendimento dos processos de implementação BIM. A terceira etapa trata-se da execução do estudo de caso pela implementação de um modelo BIM e a fase final conta com a revisão e análise dos resultados obtidos com o uso da metodologia.

- a. Estudos do projeto ferroviário base
 - i. Estudo dos processos de elaboração de projetos ferroviários convencional;
 - ii. Revisão técnica do projeto;
 - iii. Revisão do processo de autorização do projeto.

- b. Estudo dos processos de elaboração de projetos ferroviários em BIM
 - i. Estudo da metodologia BIM;
 - ii. Estudo de exemplos internacionais do uso da metodologia BIM a projetos ferroviários;
 - iii. Escolha do software base a ser utilizado na implementação.
- c. Executar um estudo de caso pela execução da implementação de um projeto em BIM
 - i. Planejamento: Elaboração de workflow para a implementação BIM ao projeto base;
 - ii. Execução: Implementação e modelagem BIM.
- d. O que extrair do estudo de caso
 - i. Análise dos resultados;
 - ii. Conclusão.

1.7 Estrutura do Trabalho

O capítulo um, Introdução, apresenta o tema a ser discutido durante o trabalho. Traz ainda justificativas que auxiliam o entendimento do tema escolhido, o qual se estabelece em cenário nacional de fomento do uso do BIM para obras governamentais.

O capítulo dois, Estudos do Projeto Base, apresenta estudos dos principais elementos presentes em um projeto ferroviário, bem como uma revisão do projeto escolhido para a implementação BIM. Nesse capítulo são abordados os processos de análise destinados à aprovação da execução do projeto.

O terceiro capítulo, Building Information Modeling (BIM), estuda o processo BIM, considerando suas principais características, implementação, estudos de caso de implementações BIM a projetos ferroviários e o software adotado.

O quarto capítulo, Implementação Bim a um Projeto de Implantação de Pátio de Cruzamento Ferroviário, apresenta o plano de execução BIM referente ao projeto objeto deste estudo.

2 ESTUDOS DO PROJETO FERROVIÁRIO BASE

2.1 Projeto ferroviário

2.1.1 Conceitos Gerais

A elaboração de um projeto ferroviário pode ser dividida em três principais fases: o estudo de viabilidade, projeto básico e projeto executivo.

2.1.2 Estudos de viabilidade

Na etapa de estudos de viabilidade são elaborados os estudos que descrevem os parâmetros geológicos, topográficos, climáticos e ambientais do empreendimento, além da projeção da demanda de transporte projetada para a via.

Definida a necessidade de transporte de pessoas ou bens entre dois pontos que possa ser realizado por meio ferroviário, ou constatada a necessidade de reformas e melhorias em uma linha já existente, são necessários estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEAs) para definir suas expectativas de custos, receitas, prazos associados à implementação e comparação a alternativas possíveis (NABAIS, 2014).

2.1.3 Projeto básico

Definida a viabilidade técnica econômica e ambiental, passa-se à fase de elaboração do projeto básico. Nesta etapa, devem ser identificados todos os elementos construtivos, soluções técnicas para a execução da obra, identificados e especificados os recursos integrados à obra, e apresentado um orçamento detalhado do custo global da obra.

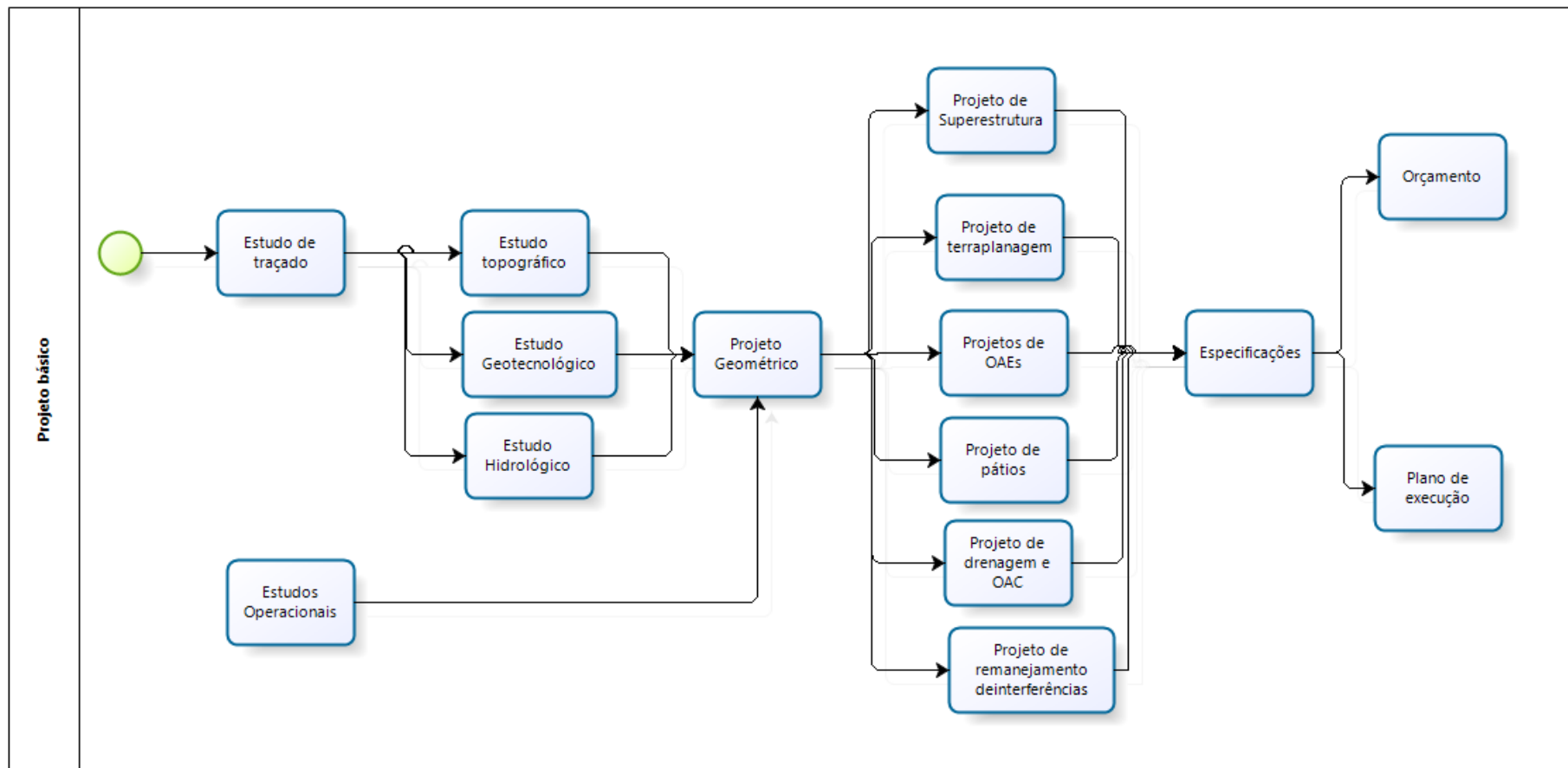
A Figura 2 apresenta um mapa esquemático das etapas de elaboração de um projeto básico ferroviário.

2.1.4 Projeto executivo

Já o projeto executivo, em acordo com a Lei 8.666/93 é tido como “o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.” (Brasil, 1993).

Sendo assim, o projeto executivo incorpora informações ao projeto básico de forma a orientar e instruir a elaboração das obras. Além disso, de posse de mais informações relativas a ensaios e levantamentos topográficos, proposições do projeto básico podem então ser aperfeiçoadas.

Figura 2 - Mapa da elaboração de um projeto básico



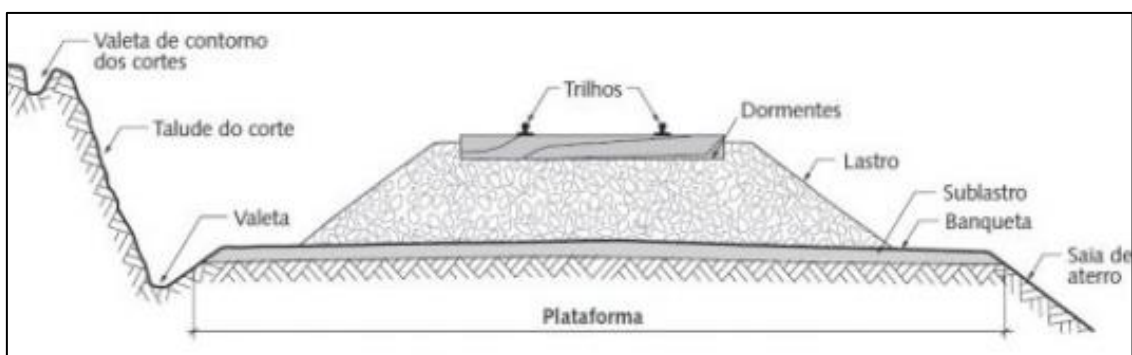
Fonte: Adaptado de NABAIS (2014).

2.1.5 Via Permanente Ferroviária

A via permanente configura a pista de rolamento para locomotivas e vagões e funciona como suporte para o material rodante (Albuquerque, 2011), direcionando seu trajeto e transmitindo seus esforços desde os trilhos ao subleito. A via férrea pode ser decomposta pela infraestrutura e superestrutura ferroviárias. Trilhos, dormentes e seus elementos de fixação correspondem formam junto a grade. Compõem a superestrutura ferroviária a grade, o lastro e o sublastro. Sob a superestrutura está a plataforma ferroviária, executada a partir de obras de infraestrutura, como terraplenagem, obras de arte especiais e obras de arte corrente.

O tamanho da bitola caracteriza o veículo a trafegar na ferrovia, podendo ser do tipo larga, métrica ou mista. A Figura 3 apresenta os principais elementos construtivos de uma seção transversal de via permanente.

Figura 3 - Perfil transversal de plataforma de via permanente



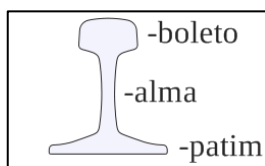
Fonte: (NABAIS, 2014)

a) Trilhos e acessórios

Os trilhos são os elementos da superestrutura que dão sustentação ao material rodante e o guiam no seu trajeto. Funcionam como vigas contínuas, que estão em contato direto com as rodas, de forma a receber e transferir as solicitações para os dormentes. (Porto, 2004)

Os trilhos mais usuais adotam o perfil Vignole. Estes são formados pelo boleto, região em contato direto com a roda, pela alma, a qual confere maior rigidez à flexão ao trilho, e pelo patim, no qual está em contato direto com o dormente (Porto, 2004). A Figura 4 apresenta graficamente o perfil Vignole.

Figura 4 - Perfil transversal de trilho ferroviário



Fonte: (Brasil Ferroviário, 2020)

A geometria dos trilhos de perfil Vignole confere maior momento de inércia à seção, de forma a otimizar a resistência a flexão dada uma mesma quantidade de material. (Porto, 2004).

Alguns acessórios são utilizados para fazer a fixação entre trilhos e entre o trilho e o dormente. São estes elementos a tala de junção, parafusos, arruelas, placas de apoio, e acessórios de fixação (Albuquerque, 2011).

b) Dormentes

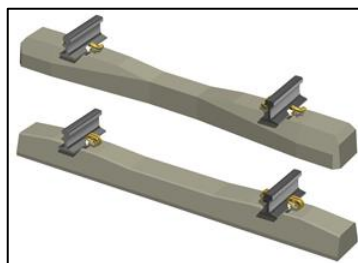
O dormente é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por objetivo receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos, servindo de suporte dos trilhos, permitindo a sua fixação e mantendo constante a bitola. Para cumprir sua função é necessário que cumpra os requisitos de durabilidade, resistência aos esforços e dimensões compatíveis à taxa de trabalho transmitida ao lastro, além de permitir boa fixação no trilho, e relativa facilidade de nivelamento com o lastro (Brina, 1988).

Os dormentes podem ser compostos por diferentes materiais, sendo mais comum a utilização de dormentação em madeira, concreto ou aço. Por um lado, as dimensões do dormente irão variar de acordo com o tipo de material e tamanho da bitola. Por outro lado, a taxa de dormentação é função da quantidade de carga a trafegar na ferrovia.

Para dormentes em madeira em ferrovia de bitola larga adota-se, em geral, dormentes de 280cm x 24cm x 17cm. Em ferrovias de bitola métrica as dimensões normatizadas são de 200cm x 22cm x 16cm. Dimensões especiais são empregadas em aparelhos de mudança de via e pontes.

Os dormentes de concreto podem ser monobloco ou dibloco. Os dormentes dibloco, ou misto, configura em dois blocos em concreto, de 70cm x 29cm x 23cm conectados por uma haste metálica (Porto, 2004). Os dormentes monobloco, representados na Figura 5, de concreto possuem armação ativa.

Figura 5 - Dormente monobloco de concreto



Fonte: (Dorbrás, 2020)

c) Lastro e sublastro

As principais funções do lastro são a distribuição dos esforços do dormente, drenagem da superestrutura, resistir aos esforços de empuxo passivo transversais que atuam sobre o dormente e permitir, por meio de manutenção, a reconstituição do nivelamento. (Porto, 2004)

Por sua vez, o sublastro é um elemento da superestrutura que está intimamente ligado à infraestrutura ferroviária e tem como função impedir o bombeamento de finos e diminuir a espessura do lastro, uma vez que seu custo é menor (Albuquerque, 2011).

2.1.6 Pátio Ferroviário

A realização de carga, descarga, formação e decomposição de trens dá-se nos pátios e terminais ferroviários. Um pátio pode ainda permitir o cruzamento entre dois trens, ser uma região de triagem de vagões, servir como estacionamento de locomotivas, vagões e

equipamentos. Os pátios podem ser de diferentes tipos, a depender das características da carga e função principal do pátio.

Pátios de cruzamento são pátios destinados apenas ao cruzamento dos trens e devem ser projetados de modo a ter comprimento suficiente incluindo distâncias de segurança operacional para conter o trem de maior comprimento que circula no trecho. A depender da situação pode ter desvios mortos para estacionamento de vagões (Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2015).

Desse modo, adota-se a classificação apresentada por (NABAIS, 2014) em três principais tipos de pátio:

a) Pátios convencionais em feixe de linhas

Possuem máxima declividade de 0,2% e são normalmente utilizados para pequenas e médias movimentações.

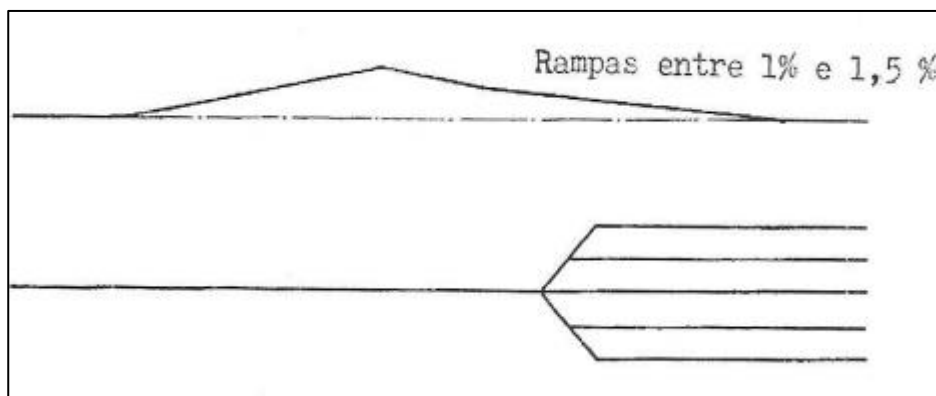
b) Pêras ferroviárias

Pátio terminal em formato circular. Tem como grande benefício realização de transbordo de cargas sem a necessidade de decompor o trem formado.

c) Pátios de gravidade

São utilizados para triagem direta de um trem e apresentam um feixe de linhas ferroviárias mais elevada na qual os vagões são empurrados pela locomotiva de manobra até o ponto mais alto, de onde são desacoplados os vagões, que são conduzidos por gravidade até um segundo feixe de linhas, destinado à formação dos novos trens. O esquema de um pátio ferroviário por gravidade pode ser identificado na Figura 6.

Figura 6 - Esquema de pátio ferroviário por gravidade



Fonte: (Brina, 1983)

2.2 Projeto referência

2.2.1 Objeto de estudo

Análise dos estudos de engenharia referentes a um projeto de implantação de um pátio de cruzamento entre os Km 354 + 254 m ao Km 355 + 951 m, corredor de bitola larga, ligação ferroviária entre as cidades de Itirapina e Santa Fé do Sul-SP, elaborado pela empresa América Latina Logística. (América Latina Logística, 2015)

Os documentos aqui apresentados compõem o processo 50500.227771-2014-93, e possuem livre acesso em acordo com a lei de acesso à informação, podendo ser solicitados a qualquer momento junto à Agência Nacional de Transportes Terrestres.

A Figura 7 apresenta em verde a locação do pátio ferroviário, situada em trecho em curva em uma zona rural do município de Estrela D'Oeste.

Figura 7 - Locação do Pátio de Cruzamento



Fonte: (América Latina Logística, 2015)

2.2.2 Estudos de viabilidade de projeto

Os estudos consideram as obras necessárias para eliminação dos gargalos operacionais da ferrovia. A análise dos estudos geométricos de análise de interferências para definição da melhor alternativa de traçado não será escopo deste trabalho. Desse modo, as informações são apresentadas nesta etapa de projeto como premissas ao projeto de engenharia.

2.2.3 Projeto de Engenharia

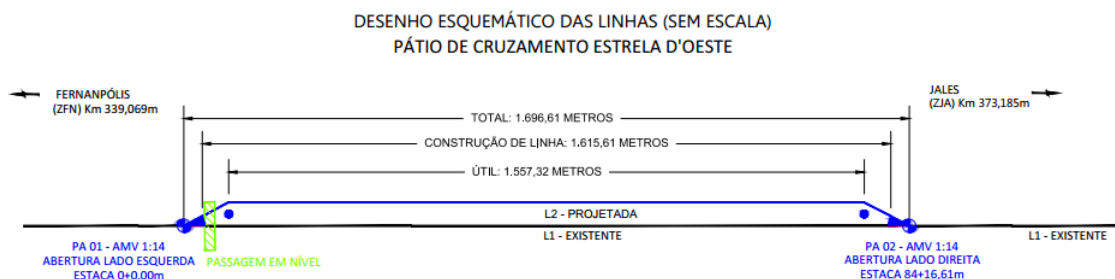
Principais características:

- Bitola larga – 1,60 m
- Tipo de trilho: UIC 60
- AMV's 1:14 UIC 60 (entrada/saída)
- Fixação: placa deenick/grampo deenick
- Dormentes de madeira dimensões 0,17 x 0,24 x 2,8 – taxa=1850 unid./km
- Lastro de pedra nº3
- Comprimento total: 1.696,607m
- Linha desviada = 86 vagões + 02 locomotivas

2.2.3.1 Projeto Geométrico

A documentação do projeto geométrico do pátio ferroviário é apresentada em arquivo com extensão .dwg e pranchas em 2D, intitulados “G3-520.017-GEO-IP-R4” e “G3-520.017-GRL-TD-R1”. Além de tratar-se de um projeto brownfield, o projeto não traz alterações de traçado à linha existente, configurando novo acesso com construção de 1615,61 metros de ferrovia e implementação de dois aparelhos de mudança de via (AMV 1:14), configurando a extensão total do acesso em 1696,61 metros. Na Figura 7 apresenta-se um desenho linear esquemático do pátio de cruzamento.

Figura 8 – Desenho linear esquemático do pátio de cruzamento Estrela D'Oeste



Fonte: Projeto G3-520.017-GEO-IP-R4.pdf (América Latina Logística, 2015).

Os quadros a seguir apresentam as coordenadas de traçado, em reta e curva.

Quadro 2 - Alinhamentos - Retas

RETAS	DISTÂNCIAS	AZIMUTES	PTOS. COORD. INICIO , FIM	DISCRIMINAÇÃO
TG:1	13,500m	312°58'11"	E: 565283,3664, N: 7758046,6360 E: 565273,4883, N: 7758055,8378	LINHA PROJETADA
TG:2	96,744m	219°44'41"	E: 563967,7398, N: 7758144,3999 E: 563905,8845, N: 7758070,0130	LINHA PROJETADA
TG:3	57,723m	223°50'08"	E: 563898,7490, N: 7758062,0296 E: 563858,7706, N: 7758020,3923	LINHA PROJETADA
TG:4	13,500m	219°44'41"	E: 563858,7706, N: 7758020,3923 E: 563850,1392, N: 7758010,0121	LINHA PROJETADA
TG:5	39,070m	308°52'44"	E: 565273,4883, N: 7758055,8378 E: 565243,0731, N: 7758080,3614	LINHA PROJETADA
TG:6	18,653m	308°52'44"	E: 565243,0731, N: 7758080,3614 E: 565228,5526, N: 7758092,0692	LINHA PROJETADA
TG:7	171,752m	312°58'11"	E: 565220,4622, N: 7758099,0833 E: 565094,7895, N: 7758216,1515	LINHA PROJETADA

Fonte: Projeto G3-520.017-GRL-TD-R1.pdf (América Latina Logística, 2015)

Quadro 3 - Alinhamentos - Curvas

CURVA	DES.	RAIO	Â.C.	TANG.	CORDA	PTOS. COORD. PC , PT	DISCRIMINAÇÃO
C1	10,710m	150,000m	4°05'27"	5,357m	10,708m	E: 565228,5526, N: 7758092,0692 E: 565220,4622, N: 7758099,0833	LINHA PROJETADA
C2	492,376m	777,000m	36°18'28"	254,771m	484,179m	E: 565094,7895, N: 7758216,1515 E: 564655,3198, N: 7758419,3642	LINHA PROJETADA
C3	771,870m	777,000m	56°55'03"	421,152m	740,521m	E: 564655,3198, N: 7758419,3642 E: 563967,7398, N: 7758144,3999	LINHA PROJETADA
C4	10,710m	150,000m	4°05'27"	5,357m	10,708m	E: 563905,8845, N: 7758070,0130 E: 563898,7490, N: 7758062,0296	LINHA PROJETADA

Fonte: Projeto G3-520.017-GRL-TD-R1.pdf (América Latina Logística, 2015)

As principais características geométricas do Pátio de cruzamento estão descritas a seguir:

Quadro 4 - Características geométricas do pátio de cruzamento

Município do pátio	Km início	Km fim	Extensão total	Ponto médio do pátio	Ponto médio entre patios adjacentes	Comprimento útil	Rampa máx importação	Rampa máx exportação	Rampa média exportação
Estrela D'oeste	354,254	355,951	1,697	355,1025	356,03	1577	0,56%	0,65%	-0,05%

Fonte: Projeto G3-520.017-GRL-TD-R1.pdf (América Latina Logística, 2015)

2.2.3.2 Projeto de terraplenagem

O projeto de terraplenagem também é apresentado em representação 2D, em formatos .pdf e .dwg, cujo código do arquivo é “G3.520.017-TER-SE-R2”. O projeto de terraplenagem é representado pelas seções de via, com respectivas áreas de aterro e corte, para cada estaca.

Deste modo, considerando-se a semi-distância entre estacas de 10 m, calcula-se os volumes de aterro e corte, além das áreas de revestimento vegetal, limpeza de terreno e regularização da plataforma. Os volumes calculados são apresentados em documentação por meio de tabelas. Desse modo, os valores são obtidos de forma aproximada, através da projeção das medidas de um corte até a próxima estaca.

2.2.3.3 Projeto de drenagem

O projeto de drenagem é disponibilizado também por arquivos digitais em extensão .pdf e .dwg. Os arquivos em extensão .dwg apresentados, “G3.520.017-DRE-IP001-R4.DWG”, “G3.520.017-DRE-IP002-R4.DWG” e “G3.520.017-DRE-IP003-R4.DWG”.

Em acordo com documento de “Apresentações e especificações” o projeto de drenagem possui como características:

- Prolongamento de bueiros \varnothing 0,60 m – 03 unidades – extensão total 16,50m
- Bueiros \varnothing 0,40 m – 02 unidades – extensão total 12,00m
- Caixa de passagem CLP 01 – 1,00 unid.
- Caixa de passagem CLP 02 – 1,00 unid.
- Caixa de passagem CLP 03 – 1,00 unid.
- Valeta de proteção de corte com revestimento vegetal – extensão 1.602,42m
- Canaleta de plataforma – extensão 1.689,68 m
- Descida d’água tipo DAR 03 – extensão total 2,72m
- Descida d’água tipo escada hidráulica DAD 04 – extensão total 1,35m
- Dissipador de energia DEB 03 – 1,00 unid.

2.2.3.4 Projeto de superestrutura

A representação do projeto de superestrutura, disponibilizado pela concessionária nos arquivos “G3-520.017-SUP-TD-R0.dwg” e “G3-520.017-SUP-TD-R0.pdf” apresentam sessão tipo única, incluindo eixo projetado e o eixo existente. Os projetos geométricos e de terraplenagem apresentam informações complementares quanto à

geometria e às características das seções transversais tipo de superestrutura. As principais estruturas projetadas são as seguintes:

- Bitola Larga (1,60m);
- Trilho UIC60 em barras de 325 m novo
- Fixação elástica tipo Deenick (placa de apoio e grampo elástico) para UIC60;
- Fixação da placa de apoio no dormente – tirefond 21 x188 mm, 02 unidades por placa;
- Solda aluminotérmica;
- Lastro de pedra nº3 com altura mínima de 30 cm medida abaixo da face inferior do dormente e ombro de 35 cm de largura;
- Sub-Lastro de bica corrida com altura mínima de 20 cm medida abaixo da face inferior do lastro;
- AMV's tipo 1:14 Bitola Larga UIC60;
- Dormentes de madeira 2,80m para Bitola Larga;
- Dormentes de AMV – jogos dormentes especiais para AMV - 96 peças;
- Entrelaço de 4,50m.

Acompanha o projeto, memorial de cálculo para dimensionamento de via frente aos parâmetros de resistência, do qual serão apenas consideradas as premissas base e conclusões finais para fins deste estudo, quais sejam:

- Peso por eixo: 36 toneladas (TB36)
- Dimensões do dormente: 2,80 x 0,24 x 0,17
- Coeficiente de impacto - Cd: 1,4 (coeficiente dinâmico)
- Faixa de socaria - c: 90 cm
- Distância entre eixos da locomotiva - d: 2,00m
- Número de dormentes por km: 1850
- Classe A – $N = 2,2 \times 10^6$
- CBR: 38%

2.2.4 Projeto de sinalização

O sistema de sinalização previsto consiste em semáforos de dois aspectos alternantes que alteram a posição da indicação (verde ou amarela) conforme a posição do varão de indicação instalado na ponta da agulha de cada AMV. De acordo com o projeto de sinalização elaborado pela concessionária, este controlador de circuito garante que o sinal permanecerá aceso se a abertura na ponta de agulha for de até 3mm e que o sinal se apagará caso a abertura for de 4mm ou mais, garantindo a segurança na operação dos trens.

O sistema é alimentado através de um sistema de captação de energia solar, consistindo em painel solar, controlador de carga e bateria estacionária, para armazenamento em períodos sem insolação. É ainda equipado também com um rádio transmissor, que envia a informação de indicação da ponta de agulha para um sinal repetidor, de 500m até 2000m antes do sinal da chave. Esse sinal repetidor é semelhante ao sinal da chave, com a única diferença de não possuir controlador de circuito.

2.2.5 Orçamento e cronograma

A obra de implementação do pátio foi precificada em R\$ 3.849.996,12, considerando-se BDI, Benefício de Despesas Indiretas, de 29,38% para serviços e 15,60% para materiais. O cronograma físico de obra prevê a conclusão do pátio de Estrela D'Oeste ao prazo de 6 meses. O orçamento é apresentado em três planilhas de cálculo, além de cotações para definição de preços unitários de materiais específicos. Sendo assim, os principais documentos que compõem o orçamento são:

- “2 - Orcamento Patio Estrela D'Oeste - Fiscalização e Cronog. Financeiro_R2.xlsx”: O documento apresenta orçamento do serviço de fiscalização da ALL sobre a contratação de empreiteiros. Além disso, apresenta um cronograma financeiro mensal da obra.
- “3 - 520.017_Memoria de Calculo_Estrela_D'oeste_R7.xlsx”: O documento apresenta a memória de cálculo dos quantitativos dos serviços componentes do orçamento.
- “4 - Orcamento e composicoes_Estrela_d'oeste_R7.xlsx”: O documento apresenta o orçamento de implementação do pátio, juntamente com a apresentação das composições de custos unitários com codificação própria da equipe orçamentista.

A rastreabilidade das informações apresentadas em orçamento pode ser realizada por consulta às planilhas apresentadas, as quais contêm informações que, em última análise, devem referir-se aos dados de projeto, processo de averiguação o qual deve ser realizado por meio de consultas às pranchas, tabelas e memórias de cálculo aqui expostas.

O cronograma de obras, por sua vez, é apresentado em dois documentos, sendo eles:

- “520.017_Cronograma Físico_Estrela D'oeste - R1.pdf”: O documento apresenta o cronograma físico da obra, distribuída em seis meses.
- “520.017_Cronograma M.O._Estrela D'oeste_R1.pdf”: O documento apresenta a distribuição de mão de obra e equipamentos cronologicamente para a execução dos serviços, separando-se em duas categorias principais, sendo elas serviços de superestrutura e serviços de infraestrutura.

2.2.6 Processo fiscalizatório de autorização

2.2.6.1 Histórico

O processo autorizativo da obra se inicia em 17/11/2014 por meio de envio, por parte da operadora ferroviária, à Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e envio da documentação, em acordo com a Resolução nº 2.695/08.

Após a primeira revisão da documentação apresentada, a equipe técnica de análise solicitou complementação de documentação visando à análise e autorização da obra.

Cumpridas todas as exigências, o projeto e orçamento foram analisados.

2.2.6.2 Análise técnico regulatória

A análise regulatória verifica o atendimento dos requisitos mínimos da documentação apresentada pela concessionária, considerando o interesse e/ou a

necessidade de terceiros, entidades públicas e privadas, de realização de obras na faixa de domínio da ferrovia para a prestação de serviços públicos ou privados.

2.2.6.3 Análise de documentação

A documentação de projeto disponibilizada para a concessionária destinada ao processo autorizativo é apresentada pelo Quadro 5, o qual segue as exigências descritas na Resolução nº 2.695/08.

Quadro 5 - Documentação para autorização de execução de obras

Documentos de Projeto de Engenharia	
1. Estudo de Mercado e da Demanda de Transporte Ferroviário;	Atendido
2. Características Principais dos elementos que compõem o sistema;	Atendido
3. Estudos Geológicos;	Atendido
4. Estudos Hidrológicos;	Atendido
5. Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Básicos e Executivos da Ferrovia;	Não se aplica
6. Estudos Topográficos para Projeto Básico e Executivo de Engenharia;	Atendido
7. Estudos Geotécnicos;	Atendido
8. Estudos Preliminares do Traçado da Ferrovia;	Atendido
9. Projeto Geométrico (arquitetônico);	Atendido
10. Projeto de Terraplenagem;	Atendido
11. Projeto de Drenagem;	Atendido
12. Projeto de Infraestrutura Ferroviária;	Atendido
13. Projeto de Superestrutura Ferroviária;	Atendido
14. Projeto de Sinalização e Controle;	Atendido
15. Projeto de Obras de Arte Especiais;	Não se aplica
16. Plano de Execução das Obras;	Atendido
17. Projeto Operacional.	Atendido
Documentação Complementar	
1. Informação da situação fundiária da área, objeto de implantação do projeto, se é arrendada (operacional ou não operacional), de propriedade da concessionária ou de terceiros;	Atendido
2. Estimativa detalhada dos custos (planilhas) de todo o projeto, bem como a fonte dos recursos e a utilização/quantificação de materiais novos e/ou reaproveitados;	Atendido
3. Cronograma de execução físico-financeiro;	Atendido

Documentos de Projeto de Engenharia	
4. Apresentação do plano de trabalho – metodologia adotada para a execução dos serviços;	Atendido
5. Licença Ambiental do empreendimento;	Atendido
6. Sumário executivo do projeto, informando inclusive a justificativa do empreendimento;	Atendido
7. Anotação de responsabilidade técnica – ART dos técnicos responsáveis pelo projeto	Atendido
7a Anotação de responsabilidade técnica – ART dos técnicos responsáveis pela execução da obra;	Não Atendido
8. Anotação de responsabilidade técnica – ART dos técnicos da concessionária responsáveis pela fiscalização da obra;	Atendido
9. Projeto de Desapropriação, no caso da área do empreendimento exigir desapropriação, indicando os proprietários e apresentando seu custo estimado, e a documentação necessária para expedição do Decreto de Utilidade Pública – DUP, em conformidade com o Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941:	Não se aplica
I. Apresentação de justificativas para realização do empreendimento e para a proposta de declaração de utilidade pública da área envolvida;	Não se aplica
II. Projeto Básico contemplando toda a área do empreendimento com os seguintes documentos:	Não se aplica
a) Plantas cartográficas do projeto com identificação de propriedades, imóveis e confrontações envolvidos;	Não se aplica
b) Quadro de coordenadas geográficas da diretriz; e	Não se aplica
c) Licenciamento Ambiental (Licença Prévia – LP com Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA e Estudos de Impacto Ambiental – EIA).	Não se aplica

Fonte: (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2015)

2.2.6.4 Revisão de orçamento

O orçamento apresentado passou por revisão, a qual identificou algumas incongruências de informação.

- Glosas:
 - Quantidade do item “Tirefond (21 x 188 cm) + Arruela de Pressão” reduzida de 14.140 unidades para 11.956 unidades devido duplicidade com item referente ao AMV, reduzindo também no item “Descarga de material metálico” também foi glosada a quantidade de tirefonds que se referem ao AMV, reduzindo de 99 toneladas para 97,4 toneladas.
 - De acordo com o Cronograma Físico apresentado verificou-se incompatibilidade entre o tempo previsto para profissionais de fiscalização que não estava compatível com os tempos de execução

dos serviços correspondentes. Sendo assim, diversos serviços foram readequados ao cronograma

- Técnico Sênior – Infraestrutura 90 dias.
 - Técnico Sênior – Topografia e Técnico Auxiliar– Topografia 50 dias
 - Auxiliar de Campo foi glosado devido à ausência de justificativa para a sua necessidade.
- Adotou-se para o BDI como base o valor sugerido pela base referencial SICRO/DNIT, de 29,98%, o qual compõe-se de diversos itens, dentre eles a Administração Local com uma parcela de 3,68% sobre o Custo Direto – CD. Assim, os Profissionais “8 – Chefe de escritório”, “9 – Técnico Júnior” e “10 – Técnico Pleno”, os quais não foram devidamente justificados, foram glosados do orçamento, pois a ANTT entende que estes itens pertencem à Administração Local.
- Após os ajustes listados, o valor empregado na obra foi reajustado para R\$ 3.609.802,12 (três milhões, seiscentos e nove mil, oitocentos e dois reais e doze centavos), na data base de novembro de 2014.

Quadro 6 - Revisão orçamentária de obra

DESCRIÇÃO	PREÇO TOTAL <u>CONCESIONÁRIA</u>	PREÇO TOTAL COM GLOSAS - ANTT
INFRAESTRUTURA	R\$ 573.703,16	R\$ 573.703,16
SERVIÇOS PRELIMINARES	R\$ 12.579,04	R\$ 12.579,04
TERRAPLENAGEM	R\$ 175.239,90	R\$ 175.239,90
DRENAGEM	R\$ 240.487,03	R\$ 240.487,03
OBRAS DE ARTE CORRENTES	R\$ 21.866,86	R\$ 21.866,86
OBRAS COMPLEMENTARES	R\$ 123.530,33	R\$ 123.530,33
SUPERESTRUTURA	R\$ 481.066,33	R\$ 480.981,23
MATERIAIS	R\$ 2.055.849,58	R\$ 2.048.780,41
MATERIAIS FERROSO	R\$ 1.333.269,49	R\$ 1.326.200,32
MATERIAIS NÃO FERROSO	R\$ 722.580,09	R\$ 722.580,09
GESTÃO	R\$ 739.377,05	R\$ 506.337,33
TOTAL	R\$ 3.849.996,12	R\$ 3.609.802,12

Fonte: (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2015)

Sobre o valor final, foi descontado um percentual referente ao benefício fiscal federal, conhecido como Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura (REIDI). Como resultado, o valor empregado na obra a ser considerado como Investimento Regulatório foi limitado a R\$ 3.506.651,79 (três milhões, quinhentos e seis mil, seiscentos e cinquenta e um reais e setenta e nove centavos), na data base de novembro de 2014.

2.2.6.5 Autorização de obra

Feitas as devidas considerações técnicas, o processo recebeu autorização de obra, limitada ao valor revisado de orçamento.

3 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

3.1 História da modelagem da informação

Desde o final dos anos 1960 intensos esforços têm sido aplicados orientados ao desenvolvimento de modelagens em três dimensões. Esses esforços permitiram a criação de ferramentas que possibilitavam a criação de forma simplificada de projetos com modelagem 3D.

Duas diferentes formas de modelagem ganharam destaque. Por um lado, a representação boundary representation (B-rep). Seu funcionamento fundamentava-se em operações booleanas, as quais combinadas a refinamentos envolvidos às formas primitivas representavam os objetos.

Outro método, que se aperfeiçoou e futuramente fundiu-se com as metodologia B-rep foi a Geometria Sólido Construtiva (CSG).

A aplicação da tecnologia a edifícios “foi desenvolvida no final dos anos 1970 e início de 1980” e ficaram amplamente conhecidos como sistemas de CAD, os quais ganharam destaque pela elevada precisão. Ferramentas de precisão com capacidade paramétrica de modelagem aplicada a objetos foram também exploradas e aproveitadas, especialmente na área de projetos de sistemas mecânicos (Eastman, et al., 2014).

3.2 Principais características do BIM

3.2.1 Modelagem paramétrica:

A incorporação paramétrica à modelagem permite a geração de informações referenciais associadas ao objeto as quais poderão variar à partir de seu contexto.

A adoção de modelos paramétricos permite ganhos de produtividade na elaboração de projetos, os quais são alterados pela edição de um ou mais parâmetros associados. Um exemplo prático na elaboração de projetos de engenharia é a possibilidade de identificação automática de possíveis interferências entre os objetos, antecipando-se problemas muitas vezes identificados apenas durante a implementação do projeto. Tal alteração pode até mesmo ser automatizada. Caso os elementos intercorrentes possuam alguma regra de posicionamento paramétrico relativo.

Um exemplo de projeto com elevado ganho de produtividade, citado em (Eastman, et al., 2014), foi o do Boeing 777. Nele, primeiramente definiram-se parâmetros de aparência, fabricação e montagem do seu interior e parâmetros de desempenho aerodinâmico para o seu exterior. Com isso, estima-se que os ajustes paramétricos na modelagem permitiram a redução de carga de 90% do retrabalho envolvida na modelagem.

A modelagem paramétrica exige especial atenção às estruturas topológicas que definem a parametrização do modelo. A definição correta de regras que relacionam elementos específicos, de diferentes maneiras e em contextos específicos.

3.2.2 Propriedades e atributos:

Propriedades e atributos compõem o conjunto de informações complementares acerca das especificações dos objetos, de modo que possam ser interpretados por outras aplicações, ferramentas e situações. A criação e padronização de bibliotecas de objetos tem sido um dos principais desafios na implementação desta ferramenta à indústria da construção.

As ferramentas de modelagem da informação necessitaram adaptar-se às práticas preestabelecidas de representação de projetos de construção, em vista de se adequar às práticas tradicionais deste mercado. Entretanto, tal processo exige complementações para uma correta representação em 2D do modelo projetado em 3D.

3.2.3 Escalabilidade:

Um problema que pode ser facilmente identificado na elaboração de projetos é o tamanho em memória que um modelo pode alcançar, devido à elevada quantidade de objetos e diversificação entre eles. Sendo assim, a modelagem de quilômetros de um sistema viário pode incorrer na necessidade de computadores com elevada capacidade.

3.2.4 Interoperabilidade:

Projetos na área da construção necessitam diferentes frentes de trabalho para a elaboração. Desse modo, diferentes ferramentas computacionais disponíveis para auxílio de projeto necessitam um formato adequado para transmissão da informação. Em geral, a manutenção e atualização de formatos de arquivos que permitissem esse intercâmbio dependia de convênios entre as ferramentas computacionais disponíveis no mercado.

O IFC (Industry Foundation Classes) foi então desenvolvido no intuito de permitir o intercâmbio de informações entre diferentes aplicações e ferramentas BIM. (IFC 2019 – estágio de desenvolvimento).

Atenção especial deve ser dada, no entanto, para o controle de versões durante o gerenciamento de projeto. O uso de diferentes aplicações complementares não obedece a um fluxo de trabalho linear, modificações ao decorrer do projeto porventura podem necessitar atualizações em diferentes aplicações, além do próprio reconhecimento das limitações

3.3 Implementação

3.3.1 Nível de desenvolvimento BIM

Em vista de otimizar o uso do BIM, deve-se identificar o nível de desenvolvimento buscado (Kreider, et al., 2013). A especificação sobre o nível de desenvolvimento (LOD) é uma ferramenta de referência que busca incrementar a qualidade de comunicação entre os usuários dos modelos BIM (BIMForum, 2019). Neste sentido, apresenta-se as definições Fundamentais LOD no Quadro 7, desenvolvidas pelo AIA (*American Institute of Architects*) que podem servir de auxílio no desenvolvimento de projetos (BIMForum, 2019).

Quadro 7 - Definições LOD

Nível de desenvolvimento	Descrição
LOD 100	Trata-se de representações simbólicas ou genéricas, sem satisfazer as representações geométricas do LOD 200. Indicam a existência de elementos, sem identificá-los geometricamente. Informações derivadas de elementos LOD 100 devem ser consideradas aproximadas.
LOD 200	Trata-se de representações geométricas genéricas e aproximadas com tamanho, quantidade, forma, localização e orientação.
LOD 300	Trata-se de representações geométricas a partir das quais se pode obter de forma direta a quantidade, tamanho, forma, localização e orientação, sem a necessidade de recorrer a informações não gráficas.
LOD 350	Trata-se de representações geométricas a partir das quais se pode obter de forma direta a quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interface com outros sistemas e elementos que se conecta sem a necessidade de recorrer a informações não gráficas.
LOD 400	O elemento é graficamente representado no modelo como sistema específico, objeto específico ou com informações de tamanho, forma, localização, quantidade, orientação e com detalhamento de instalação, fabricação, montagem e instalação. A partir das informações contidas nesta representação do modelo deve ser possível a fabricação do componente especificado.
LOD 500	Trata-se da representação verificada de um elemento existente em campo.

Fonte: (BIMForum, 2019) – Adaptado pelo autor

3.3.2 Nível de maturidade BIM

A nível gerencial, pode-se categorizar os modelos pelo nível de informações a ele associadas, considerando o incremento de diferentes dimensões a partir do modelo 3D.

Quadro 8 - Níveis de maturidade dos modelos BIM

Nível de maturidade do modelo	Descrição
3D	Permite a visualização de um plano de trabalho tridimensional do modelo.
4D	Incorpora ao modelo tridimensional a variável tempo. Nele os recursos são alocados em acordo com o planejamento de execução e projeto de canteiro.
5D	A este nível de maturidade é incorporado o custo ao modelo. Desse modo, em conjunto com a dimensão tempo, já é possível determinar os custos envolvidos em diferentes fases do projeto.
6D	Neste nível de maturidade é possível prever e planejar ações associadas ao consumo de energia.
7D	Trata-se do último nível de maturidade de um modelo. Neste nível é possível o acompanhamento do ciclo de vida do produto em acordo com o desempenho e vida útil de peças e componentes. Desse modo, é possível otimizar o processo de manutenção.

Fonte: (Kensek, 2014), (Cardoso, 2018), adaptado pelo autor

3.4 Projeto ferroviário em BIM

3.4.1 Exemplos internacionais

De modo geral, em prol de implementar a metodologia da informação em uma instituição, o primeiro ponto em destaque é a comunicação e promoção da mudança, nos diferentes níveis da organização, com o intuito de garantir o engajamento de todos no novo processo. Esse ponto é determinante para que todas as instâncias estejam igualmente empenhadas em realizar a mudança. Atualmente, a nível nacional, este papel tem sido realizado pelo núcleo de trabalho BIM BR, o qual tem apresentado os planos do governo em introduzir gradativamente aos projetos de interesse público a metodologia BIM.

Além disso, o nível organizacional é o responsável por apresentar, inicialmente, uma noção dos impactos causados pelas diferentes instâncias organizacionais envolvidas na implementação, tendo em vista que nem todos os envolvidos serão impactados da mesma forma. (ELOUADI, et al., 2018)

Compreendendo-se os possíveis efeitos de uma adequação BIM e definidas as diretrizes gerais de implementação, parte-se para a implementação de projetos. Nessa etapa é necessário identificar os requisitos de cada empreendimento e suas peculiaridades, reconhecendo-se que diferentes tipos de projeto necessitam adequações específicas.

A implementação da modelagem da informação exige, inicialmente, adaptabilidade para cada projeto, partindo-se de um modelo básico de implementação. Considera-se os norteamentos aqui expostos, apesar de genéricos, embasados em implementações para projetos de infraestrutura ferroviária em diferentes contextos.

3.4.1.1 Infrabel, Bélgica

Os estudos sobre a Infrabel, na Bélgica, (Nuttens, et al., 2018) apresentam uma análise sobre diversos projetos ferroviários em BIM realizados pela empresa e traça os fatores determinantes para o sucesso destas implementações. O primeiro ponto a se ressaltar refere-se à necessidade de se adequar a densidade de informações modelada às reais necessidades do projeto. Adotar alguns padrões e exigências mínimas de informação necessária à modelagem permite que as diferentes disciplinas envolvidas alimentem o modelo sob um mesmo formato. Além disso, é indiscutível a necessidade de clara comunicação durante a realização de projetos BIM.

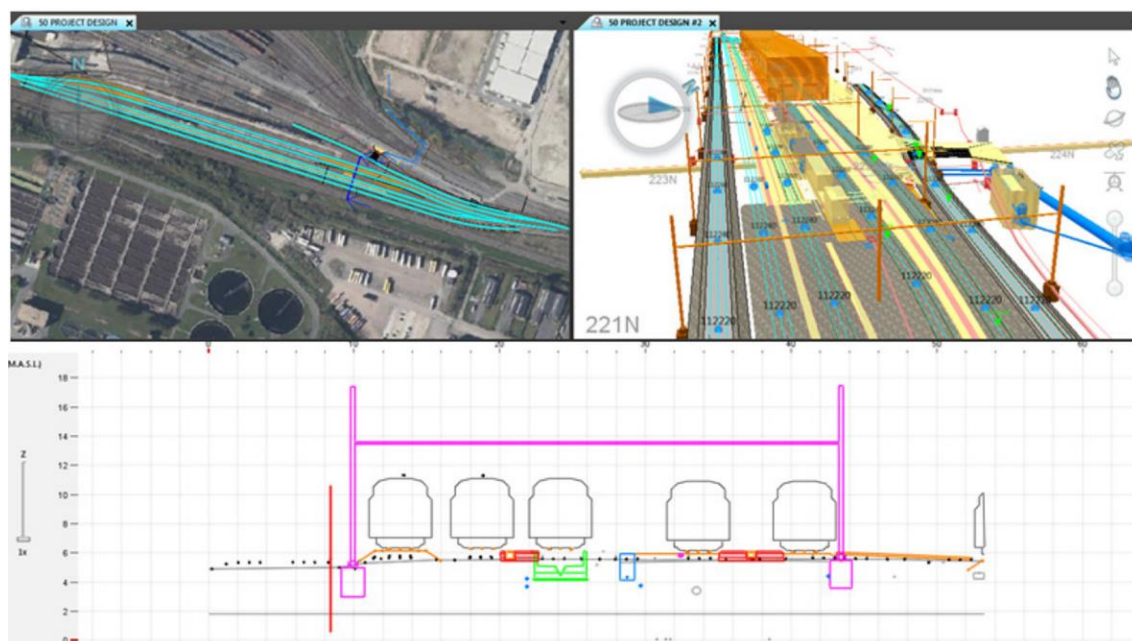
Segundo artigo elaborado pela empresa TUC RAIL, (Nuttens, et al., 2018) de elaboração e gerenciamento de projetos de engenharia e especializada em projetos de infraestrutura ferroviária os principais objetivos sanados com a implementação BIM foram poder prever e evitar retrabalhos em campo, assim como a melhor adequação dos projetos ao orçamento e prazos estipulados. Segundo a companhia, esses objetivos só puderam ser alcançados devido à atenção dada à coordenação durante a elaboração do projeto, além da comunicação mais eficiente entre as diferentes equipes, ainda na fase de projeto.

Como estratégia para correta comunicação, reuniões regulares podem ser estipuladas, permitindo atualização constante entre as diferentes áreas técnicas. Tais reuniões permitem a atualização do líder de projeto sobre o andamento das diferentes áreas técnicas envolvidas, permitindo-o identificar problemas e agir para corrigi-los, realizar revisões associadas aos riscos de projeto. Além disso, ferramentas online podem veicular de forma mais ágil e estruturada informações pertinentes a diferentes áreas de

atuação, promovendo discussões e atualizações importantes, disponíveis para toda uma equipe.

Na Figura 9 é possível identificar a modelagem de um pátio ferroviário, nos quais identifica-se o alinhamento do corredor (acima e à esquerda na figura), a sessão transversal da via com os elementos de formação do pátio (abaixo na figura) e o projeto com visualização 3D em perspectiva (acima e à direita na figura).

Figura 9 - Visão de um modelo BIM de pátio ferroviário apresentado pela TUC RAIL.



Fonte: (Nuttens, et al., 2018)

Outro ponto importante a se levar em consideração é: quais ferramentas e instrumentos disponíveis para a implementação da modelagem da informação em uma instituição? Em primeiro lugar, estão os softwares escolhidos para a modelagem, considerando cada área técnica.

Além dos softwares de modelagem em si, outros recursos podem se mostrar como indispensáveis para uma metodologia BIM adequada. Por exemplo: para projetos existentes, uma análise das condições instaladas pode ser levantada e modelada, e futuramente adicionada ao modelo BIM. (Nuttens, et al., 2018) Muitas técnicas têm sido aplicadas atualmente, nos quais o auxílio de equipamentos como drones, sensores e softwares especializados, tornam possível um mapeamento mais preciso das condições da região estudada. Para modelos greenfield, o foco de tais estudos é o levantamento topográfico da região, o qual irá alimentar a base de informações para diferentes etapas do projeto. Além disso, o auxílio dessa metodologia durante a construção permite o controle de qualidade em diferentes fases. Já modelos brownfield podem apresentar com maior precisão as condições reais das instalações, como subsídio para o projeto em si. Assim, tais abordagens permitem um conjunto de informações gráficas, extremamente úteis durante o processo de modelagem e, uma vez presentes no modelo, permitem o incremento da previsibilidade, dada a construção de um modelo mais fiel às condições reais.

O mapeamento de processos e diretrizes gerais referentes ao processo de modelagem, também contribuem de forma expressiva para a definição dos diferentes

papéis desempenhados, responsabilidades assumidas e interações necessárias dentro e fora das equipes envolvidas na elaboração do projeto. Para tal, ferramentas conhecidas de gerenciamento de projeto devem ser exploradas, como workflows, árvores de decisão. Ainda segundo a TUC (ELOUADI, et al., 2018), em seu processo de implementação, os mapeamentos de processos devem apresentar em detalhes quais ações necessárias na elaboração de cada insumo para as diferentes fases de projeto. A partir de toda a gama de processos mapeados é possível então identificar a interdependência de informação entre as frentes de trabalho, nas diferentes fases. Assim, a identificação de um caminho crítico na elaboração de um projeto é possível, para então se imprimir maior eficácia durante a realização do projeto. (ELOUADI, et al., 2018)

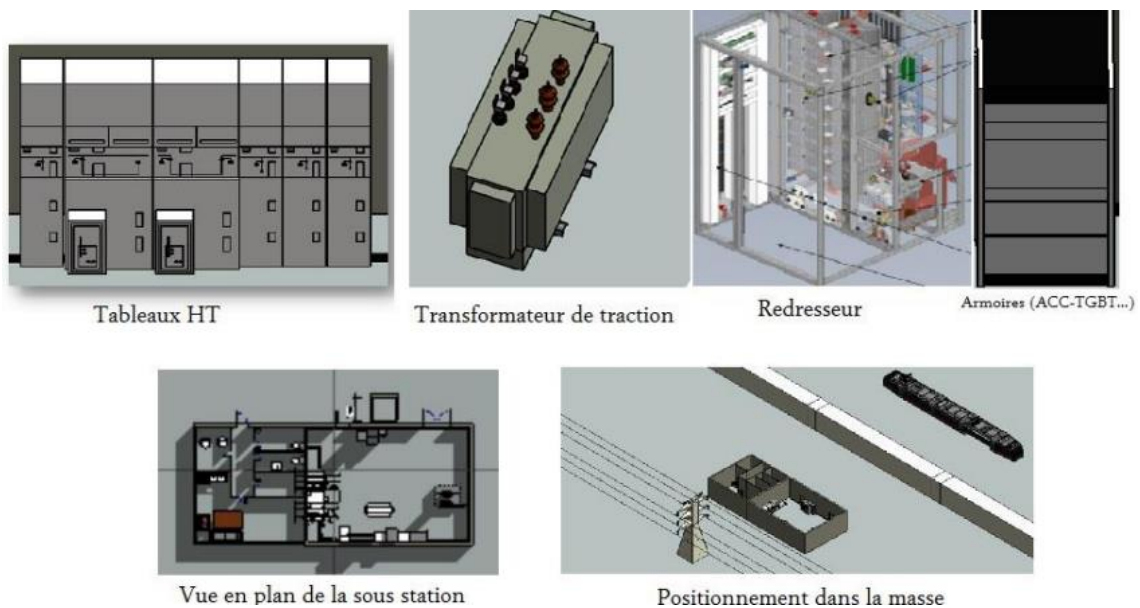
3.4.1.2 Colas Rail Maroc, Marrocos

O projeto em questão, cujo escopo é a modelagem da subestação de energia de Skhira, possui sua metodologia orientada ao design e modelagem do projeto, bem como à comunicação e equipe. O estudo de revisão do projeto aborda, além das diretrizes e premissas relacionadas à implementação, as recomendações para o seu sucesso (ELOUADI, et al., 2018).

Metodologia:

- Design: Para a implementação da metodologia ao novo projeto, adotou-se primariamente a remodelagem de projetos realizados sobre bases 2D. Para o processo de modelagem, a empresa optou pelo software Revit, da Autodesk, por possuir uma interface próxima das ferramentas 2D já utilizadas pela companhia, além de possuir boa interoperabilidade com outras ferramentas computacionais de projeto utilizadas na organização.
- Comunicação e equipe: Realização de treinamentos para a equipe de projeto. Estabelecimento de reuniões regulares para a atualização quanto ao desenvolvimento da implementação. O cliente não foi envolvido no processo de implementação. O projeto contou com o apoio de 15 profissionais, nas áreas das engenharias (civil, elétrica e mecânica), controle de qualidade e gerenciamento de projetos.

Figura 10 - Projeto de Subestação de Energia de Skhira – Colas Rail Maroc



Fonte: (ELOUADI, et al., 2018)

Considerações da implementação:

- O trabalho conjunto em um único modelo 3D contribuiu para uma maior comunicação entre os projetistas das diferentes disciplinas envolvidas. A falta de compreensão entre as áreas de estudo abriu espaço para maior colaboração entre as forças de trabalho.
- A biblioteca teve de ser utilizada foi criada toda a partir do zero, por falta de uma biblioteca compatível, considerando-se os softwares utilizados. Em geral, ao se distanciar dos aspectos estrutural e arquitetônicos, o formato da informação inserida e a interoperabilidade com outras plataformas ficava comprometida.
- Especial dificuldade foi encontrada no processo de incorporação das dimensões de custos e planejamento de construção.
- A entrega do produto ao cliente despertou grande interesse, em especial a parte de grande detalhamento gráfico do modelo.
- BIM não deve ser adotado simplesmente como processo de modelagem, mas uma ferramenta de gerenciamento de projetos.

Recomendações:

- Dado que o estudo em questão consistiu na remodelagem de desenhos em 2D, uma das recomendações ao final do estudo foi iniciar o processo de integração BIM em conjunto com o início dos próprios modelos.
- Considerar como colaboradores do projeto todos os *players*, fornecedores, empreiteiros e diferentes áreas da companhia.
- Deve-se adotar padrões básicos de referência no projeto.
- A alta hierarquia organizacional deve apoiar o processo de implementação.
- Um investimento inicial deve ser considerado, em vista de capacitação e adequação da metodologia de modelagem aos padrões dos projetos realizados.

3.4.1.3 Crossrail, Reino Unido

O Reino Unido é conhecido por ser um dos países precursores na implementação de projetos BIM. Neste cenário, o governo britânico, a fim de traçar um plano de maturação de projetos em BIM, elaborou em 2007 o modelo de maturidade BIM, ou *BIM Maturity Model* (Figura 11). Sob esse planejamento, todas as obras civis públicas deveriam ser adequadas a projetos 3D, com separação entre disciplinas, com informações integradas ao modelo e integração entre os modelos, ainda que em formatos proprietários. Esta e outras ações do governo criaram um cenário favorável à implementação de obras precursoras utilizando a metodologia.

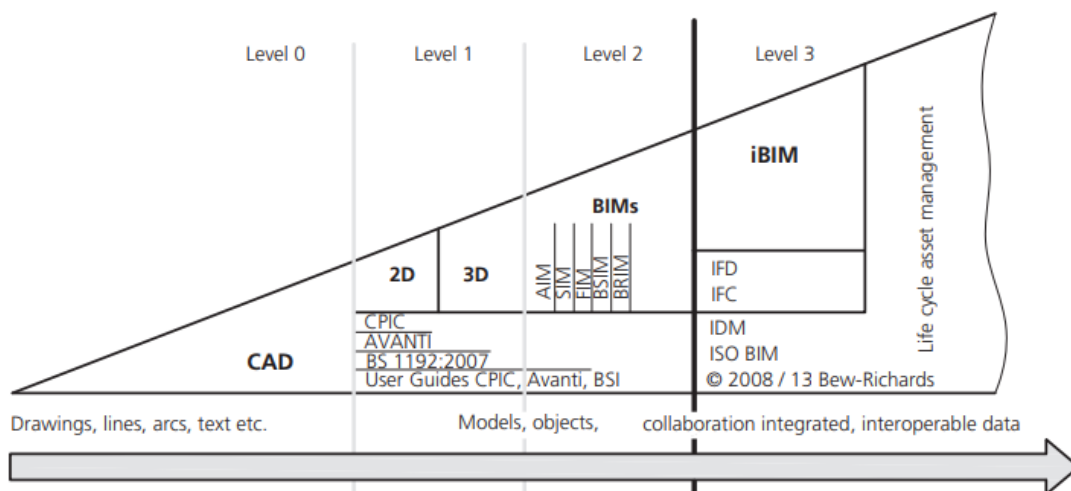
O projeto ferroviário em questão, de responsabilidade da empresa Crossrail Limited, aqui referida como Crossrail, localiza-se na malha urbana de Londres e compõe o conjunto de diretrizes do planejamento estratégico do governo britânico, Government Construction Strategy, elaborado no ano de 2011. O início das operações da ferrovia se deu em 2018. Desde então, a linha ferroviária passou a ser chamada de “London Line” (Smith, 2014).

Em acordo com os planejamentos do programa do governo britânico em acelerar de incorporar a metodologia BIM a projetos no ramo da construção, a Crossrail adequou sua

estratégia de registro de informação às bases da metodologia da modelagem da informação, também no ano de 2011. De acordo com (Smith, 2014), naquela época o projeto já encontrava-se iniciando a fase de detalhamento elétrico, mecânico, hidráulico e de arquitetura, os quais puderam ser iniciados segundo os princípios da modelagem da informação, estendendo o processo às fases posteriores, englobando a construção e a entrega final.

A Figura 11 apresenta os níveis de maturidade dos modelos BIM. No “Level 0” as informações são desassociadas na forma de linhas, arcos e texto em modelos de apresentação em papel ou documentos eletrônicos de apresentação. O “Level 1” apresenta elementos que passem a permitir e padronizar o nível de apresentação de informação exigido em cada entrega, como nomenclatura de elementos de projeto adotada, delimitação de responsabilidades das partes interessadas. A adoção do “Level 2” exige, além dos padrões estabelecidos no nível anterior, o uso de software que suporte o intercâmbio de informações padronizadas em modelos federados. A última etapa de maturidade da adoção BIM, “Level 3”, a nível conceitual, permite que todos os colaboradores compartilhem de um mesmo modelo de forma simultânea. (Richards, et al., 2008)

Figura 11 - Níveis de maturidade de modelos BIM



Fonte: (Richards, et al., 2008)

Dentre as principais lições aprendidas da Crossrail (Smith, 2014) destaca-se:

- Incluir nas bases contratuais convenções, protocolos e diretrizes que estabeleçam as responsabilidades dos agentes e propriedade do modelo.
- Um ambiente de colaboração comum é essencial e deveria englobar toda a cadeia produtiva, a fim de otimizar o uso de informações e retrabalhos.
- Alterações no modelo devem ser cuidadosamente gerenciadas e realizadas num modelo compartilhado.
- Modelos 3D orientados a objeto favorecem a fase de planejamento.
- É importante assegurar o acesso aos modelos para os diferentes colaboradores, a exemplo do acesso por meios de dispositivos móveis em campo.

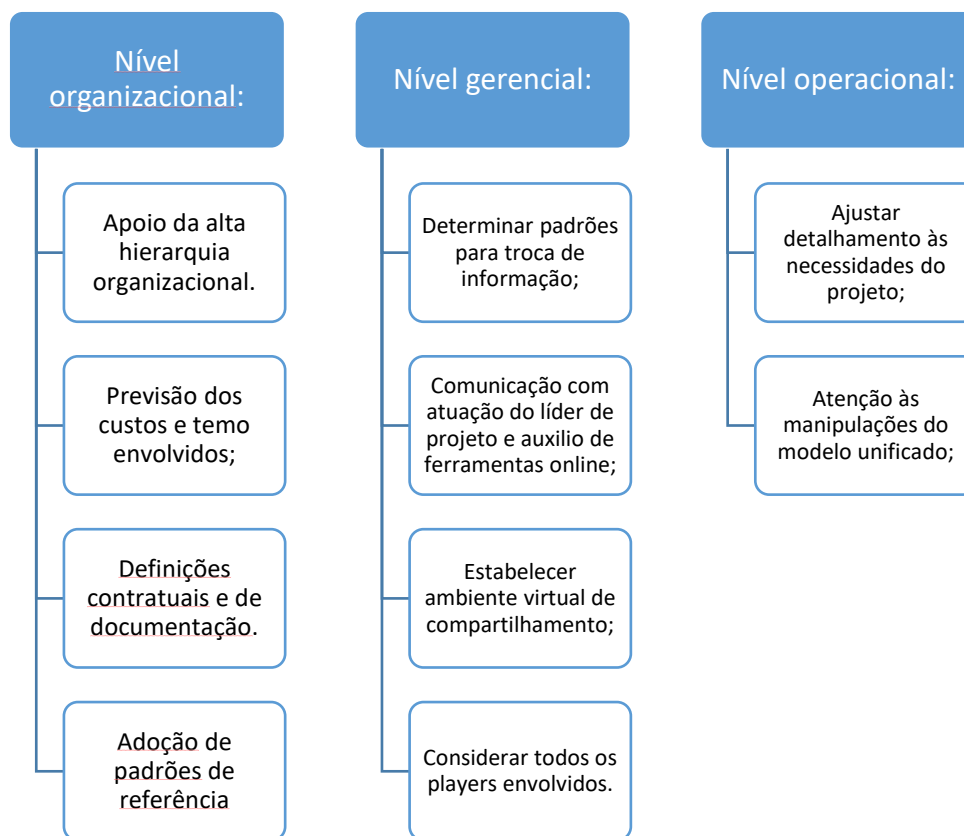
3.4.1.4 Consolidação dos estudos de exemplos internacionais

A partir das revisões dos estudos apresentados, pôde-se identificar congruências quanto às orientações propostas. Os principais pontos identificados foram classificados segundo predominância de atuação dentre as três principais esferas de atuação para implementação BIM, sendo elas, esfera organizacional, esfera gerencial e esfera operacional.

Na esfera organizacional estão envolvidas atuações a nível dos gestores de uma organização e as definições de modelos e padrões governamentais de adoção do BIM. A nível gerencial está o coordenador de projeto que estará responsável por conduzir e gerenciar os projetos BIM. Por fim, a nível operacional estão as equipes técnicas de projeto que estarão envolvidas na sua elaboração.

A Figura 12 a seguir apresenta as principais recomendações identificadas nos estudos dos exemplos internacionais na condução e elaboração dos projetos BIM.

Figura 12 - Consolidação de recomendações de exemplos internacionais



Fonte: Autor (2021)

3.4.2 BIM aplicado a obras de terraplenagem e movimentação de terra

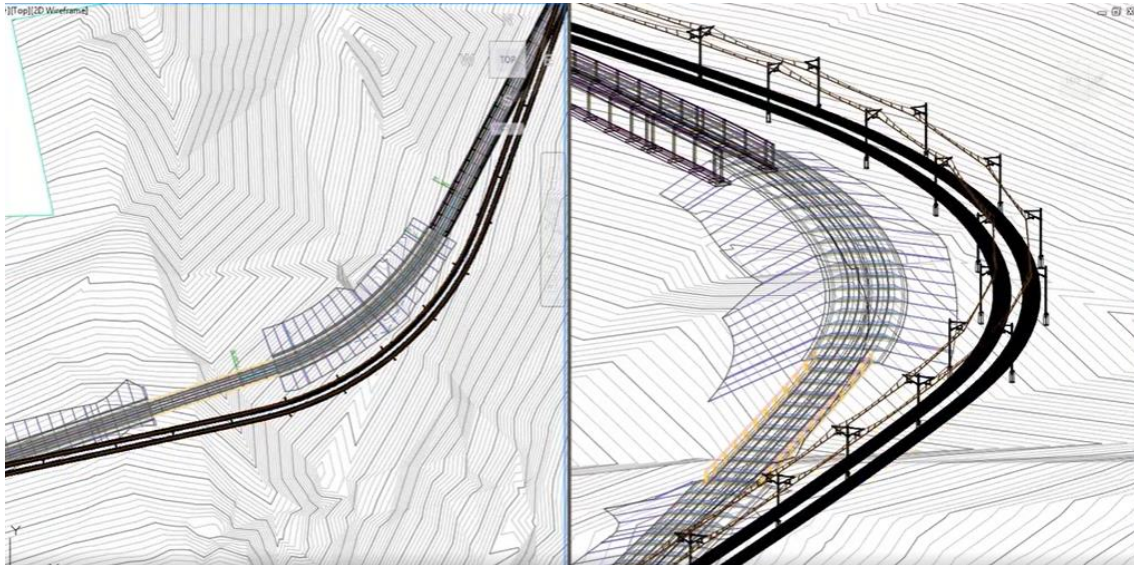
Obras de terraplenagem de um empreendimento ferroviário visam o aplainamento do leito natural, em obediência ao projeto a ser implantado. Servem de subsídio ao projeto de terraplenagem os estudos topográficos e geológicos, além do projeto geométrico do empreendimento.

Por meio do software escolhido, os cálculos de determinação da cota mais viável são facilitados. Além disso, uma vez definidos os parâmetros de projeto, os volumes de corte e aterro podem ser recalculados caso haja eventuais alterações no projeto de

terraplenagem, seja por revisões de traçado ou qualquer outra interferência identificada de modo automatizado.

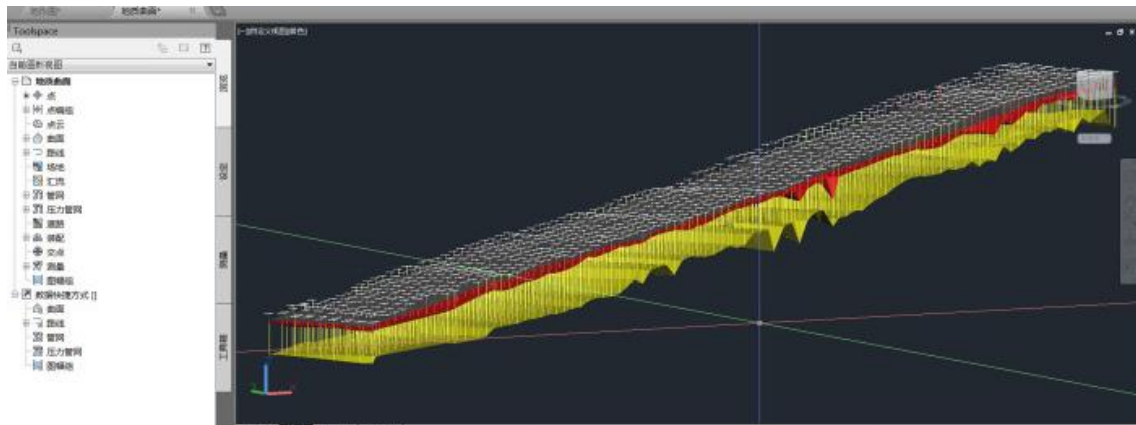
O Blog Oficial sobre AEC da Autodesk Brasil (Autodesk, 2020) apresenta exemplos de realização de projetos de infraestrutura viária. Para o caso, realiza-se a nível conceitual um projeto no Infracore, que já traz informações de quantitativos de terraplenagem e posterior detalhamento e documentação por meio do Civil 3D, o qual apresenta maiores recursos para estas finalidades.

Figura 13 – Alteração de traçado em projeto automatizado por parâmetros do modelo



Fonte: (Autodesk, 2020)

Figura 14 - Perfil e alinhamento da estação Jiangyou - Civil 3D



Fonte: (Paula, 2016)

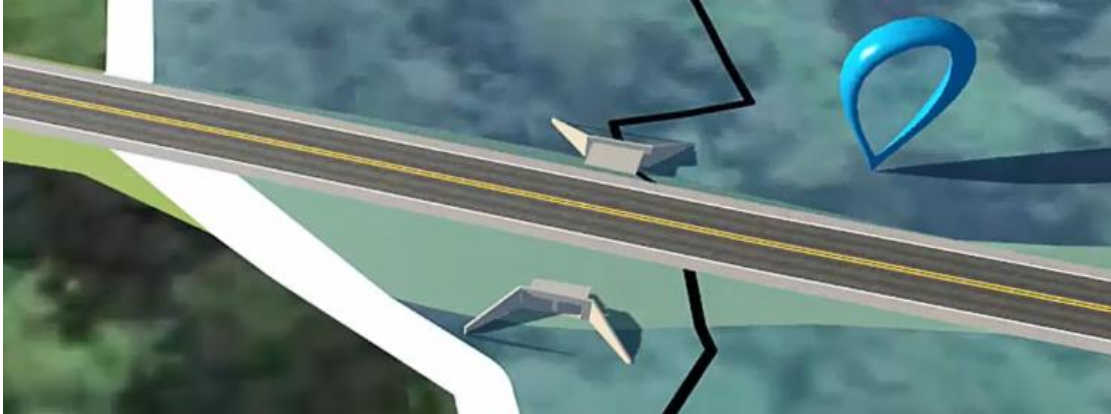
3.4.3 BIM aplicado a obras de drenagem

As obras de drenagem são resultado da necessidade de combate à erosão dos elementos constituintes da via, controle das cheias e conseqüentemente segurança de operação viária.

Servem de subsídio para a elaboração de um projeto de drenagem estudos hidrológicos, topográficos e geotécnicos do empreendimento, bem como o projeto geométrico e de terraplenagem (Brasil, 2015).

Por meio de metodologia que utiliza recursos e ferramentas BIM, é possível incorporar os dados hidrográficos da região ao modelo, definir redes e os elementos de drenagem, além de realizar cálculos e auxiliar na realização do projeto executivo.

Figura 15 - Projeto conceitual: bacia de contribuição e solução para transposição



Fonte: (Soethe, 2018)

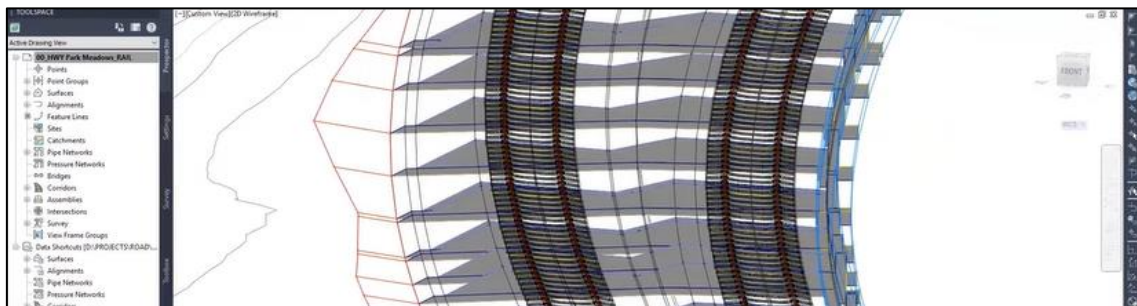
3.4.4 BIM aplicado a obras de superestrutura ferroviária

A superestrutura de via permanente tem por função receber os esforços oriundos dos veículos que trafegam na via e transmiti-los de forma distribuída ao leito. Os trilhos e AMV's são responsáveis pela condução dos veículos ao trajeto predeterminado. Os dormentes, por sua vez, recebem parte dos esforços vindos dos trilhos e transmitem outra parcela para o lastro. Por fim, os esforços não absorvidos pelos elementos da superestrutura são por sua vez dissipados no leito viário.

Projetos de superestrutura ferroviária em BIM permitem a incorporação de desvios, plataformas e cálculos para inclinações. Para o projeto de pátio ferroviário, há ferramentas para criar linhas ferroviárias com estacionamento comum com base em tolerâncias especificadas que se ajustam às alterações na geometria, no perfil e na inclinação do alinhamento principal da ferrovia.

A mudança do traçado ferroviário no projeto também pode ser facilitada com a incorporação de recursos, como pode ser identificado na Figura 16.

Figura 16 - Modelo de corredor de trilhos 3D, incluindo alinhamentos, perfis e montagens.



Fonte: (Autodesk, 2020)

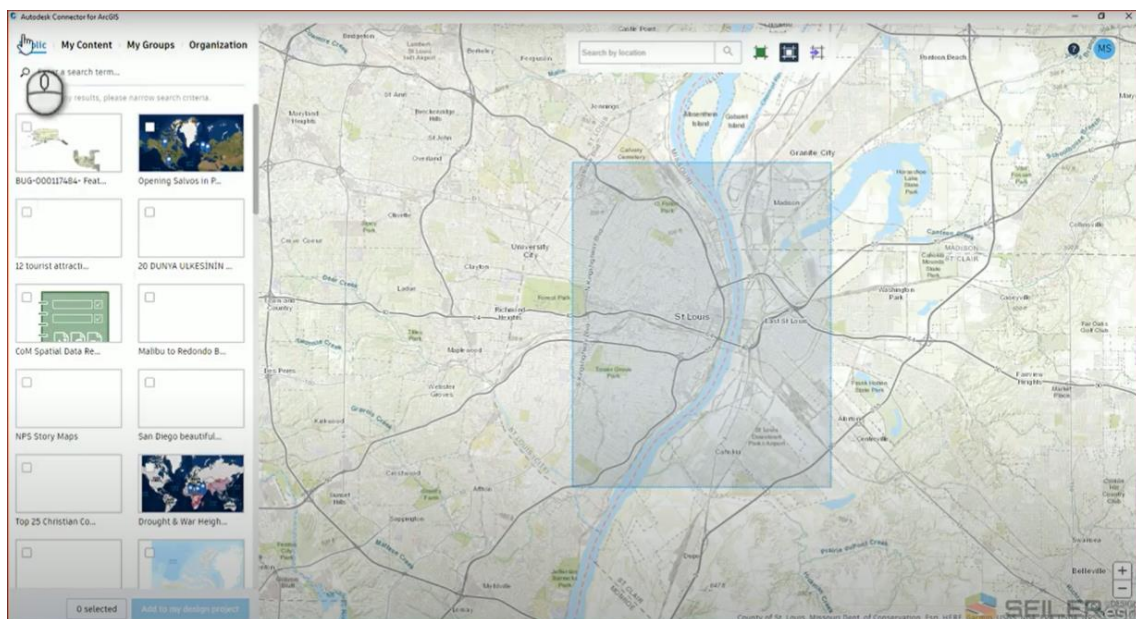
3.4.5 Integração entre BIM e GIS

No processo de transferências de dados, seja entre softwares, profissionais ou equipes parte da informação pode ser comprometida no processo de adequação do seu conteúdo, por muitas vezes devido às próprias limitações e particularidade de cada tipo de software. O sistema de informações geográficas (SIG) combinado a um modelo BIM permite a elaboração de projetos ricos em informação, com uso de diferentes escalas, no qual no BIM, você pode projetar uma estrutura física em um nível de objeto - esboçar uma porta, uma janela ou uma parede. Ao adicionar o SIG, gerencia-se essa estrutura no contexto de uma paisagem maior e mais inteligente. Uma estação será conectada a uma parcela de terra, serviços públicos e estradas.

Quando se reúne essas duas escalas relativas e se move as informações diretamente entre elas, elimina-se a redundância de dados. Adicionar o melhor contexto geoespacial ao processo BIM significa que o proprietário obterá melhores projetos e economizará dinheiro. (Mangon, 2018)

A integração entre os modelos tem se tornado cada vez mais facilitada. Alguns softwares de modelagem BIM disponíveis no mercado já contam com uma integração direta com modelos georreferenciados que podem ser acessados a partir de uma biblioteca pública de modelos, ou de uma pessoal criada pelo usuário.

Figura 17 - Processo de importação de modelos do ArcGIS ao modelo do Civil 3D



Fonte: (SeilerSolutions, 2019)

3.5 Escolha do software base a ser utilizado na implementação

O processo de escolha do software a ser utilizado no projeto contou com a comparação entre produtos fornecidos por duas companhias de referência. A primeira, Bentley, é amplamente utilizado por entidades do governo estadunidense relacionados ao transporte. A segunda, Autodesk, é uma das principais referências em território brasileiro em fornecimento de soluções de design para projetos de arquitetura, engenharia e construção (AEC).

3.5.1 Bentley

Dentre as opções disponíveis no mercado, a empresa Bentley fornece um conjunto de soluções com a linha de softwares OpenRail®, voltada para projeto e operação de uma rede ferroviária, VLT ou metrô. Trata-se de uma das soluções mais completas disponíveis para o setor.

Em complementação a empresa também apresenta o software OpenSite® o qual permite a modelagem de terrenos de forma facilitada.

3.5.2 Civil 3D

O software de projeto de engenharia civil Autodesk Civil 3D® dá suporte ao BIM (Building Information Modeling) com recursos integrados para aprimorar a documentação de desenhos, projetos e construção. Os recursos do Civil 3D dão suporte a uma variedade de projetos de infraestrutura civil, incluindo ferrovias, estradas e rodovias, desenvolvimento de terrenos, aeroportos, drenagem, águas pluviais e esgoto e estruturas civis (AUTODESK, 2019).

3.5.3 Escolha do software

Para o desenvolvimento do estudo de caso de avaliação do uso da modelagem BIM a um projeto de implementação de pátio ferroviário, utilizou-se o software Autodesk Civil 3D® na versão de estudante 2019. O software foi escolhido devido à disponibilização de versão de estudante por parte de sua fabricante, Autodesk, possuir ampla disponibilidade de materiais que facilitem a aprendizagem, bem como por cumprir as funções necessárias ao atingimento dos objetivos do presente estudo.

Quadro 9 - Comparativo entre os principais softwares para modelagem avaliados

Critério	Linha de produtos Bentley	Autodesk Civil 3D
Realização de projetos de infraestrutura	X	X
Realização de projetos de superestrutura ferroviária	X	X
Ferramentas que auxiliam a modelagem de terrenos	X	X
Versão gratuita de estudante disponível	X	X
Disponibilidade de materiais em português		X
Familiaridade com o software		X

Conforme apresentado no Quadro 9 os principais fatores de escolha do software, dado que ambos descrevem funções que cumprem os requisitos de modelagem, foram os conhecimentos prévios do usuário com a interface do programa, além de disponibilidade de conteúdos gratuitos online em português que facilitem o processo de aprendizagem dos recursos e métodos a serem adotados para a elaboração dos projetos.

4 IMPLEMENTAÇÃO BIM AO PROJETO BASE: PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PÁTIO FERROVIÁRIO

4.1 Planejamento

A implementação BIM requer planejamento detalhado e acompanhamento dos processos a fim de se beneficiar dos possíveis ganhos da modelagem da informação. Nesse sentido, orientou-se o planejamento pela elaboração de um plano de execução BIM em 4 principais etapas, em acordo com os modelos adotados pelo guia da PennState (The Pennsylvania State University, 2011), as quais consistem em identificar principais metas e usos, delinear os processos de execução BIM, traçar moldes de troca de informação e definir a infraestrutura necessária para implementação do projeto BIM.

Um Plano de Execução BIM tem por principais objetivos organizar os processos BIM, definir os modelos de comunicação entre as partes interessadas e suas responsabilidades, além dos graus de detalhe necessários aos elementos de projeto, ao longo de todas as fases de um empreendimento (ABDI - MDIC, 2017).

4.1.1 Definições Preliminares

A primeira etapa da elaboração do plano de execução será a identificação prévia dos agentes potenciais do projeto, considerando-se todas as suas fases. Admite-se, portanto, que a lista dos agentes participantes do projeto seja atualizada ao decorrer do projeto.

Quadro 10 - Lista de participantes do projeto

Lista de Participantes
Concessionária
Concessionária - Equipe de projetos
Concessionária - Equipe de Operacional
Concessionária - Equipe de Sinalização de Via
Empreiteira
Órgão regulador
Empresa de projetos – Terraplenagem
Empresa de projetos - Projeto geométrico
Empresa de projetos – Infraestrutura
Empresa de projetos – Superestrutura
Empresa de projetos – Drenagem
Orçamentista
Equipe de estudos Geotecnológicos
Equipe de estudos ambientais
Equipe de estudos de demanda
Equipe de estudos topográficos
Equipe de estudos operacionais
Equipe de estudos hidrológicos
Coordenador BIM
Gerenciadora BIM

Fonte: Autor (2021)

O projeto foi separado em quatro principais fases: Estudos Preliminares, Projeto Básico, Projeto Executivo e Obra.

Quadro 11 - Funções de projeto

Funções no projeto	Estudo Preliminar	Projeto Básico	Projeto Executivo	Obra
Estudos de Demanda	Concessionária - Equipe de projetos			
Estudos Geológicos	Equipe de estudos Geotecnológicos			
Estudos Hidrológicos	Equipe de estudos hidrológicos			
Estudos Topográficos	Equipe de estudos topográficos			
Estudos Geotécnicos	Equipe de estudos Geotecnológicos			
Estudos de Traçado	Concessionária - Equipe de projetos			
Projeto Geométrico		Empresa de projetos - Projeto geométrico	Empresa de projetos - Projeto geométrico	Empresa de projetos - Projeto geométrico
Projeto de Terraplenagem		Empresa de projetos - Terraplenagem	Empresa de projetos - Terraplenagem	Empresa de projetos - Terraplenagem
Projeto de Drenagem		Empresa de projetos - Drenagem	Empresa de projetos - Drenagem	Empresa de projetos - Drenagem
Projeto de Superestrutura		Empresa de projetos - Superestrutura	Empresa de projetos - Superestrutura	Empresa de projetos - Superestrutura
Projeto Operacional		Concessionária - Equipe de Operacional	Concessionária - Equipe de Operacional	Concessionária - Equipe de Operacional
Sinalização		Concessionária - Equipe de Sinalização de Via	Concessionária - Equipe de Sinalização de Via	Concessionária - Equipe de Sinalização de Via
Gerência de Informações de Projeto	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM
Comissionamento				Órgão regulador
Coordenação de Projeto	Concessionária - Equipe de projetos	Concessionária - Equipe de projetos	Concessionária - Equipe de projetos	
Gerência de Obras				
Gerência de Projetos	Concessionária - Equipe de projetos	Concessionária - Equipe de projetos	Concessionária - Equipe de projetos	
Orçamentação	Orçamentista	Orçamentista	Orçamentista	
Aprovação de estudos	Órgão regulador	Órgão regulador	Órgão regulador	
Autorização do obra	Órgão regulador	Órgão regulador	Órgão regulador	
Desenvolvimento AS-BUILT BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM
Consultoria BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM	Gerenciadora BIM
Construtor				Empreiteira

Fonte: Autor (2021), adaptado dos modelos de (ABDI - MDIC, 2017)

O plano de implantação do projeto prevê cinco etapas de modelagem da representação gráfica do projeto e três etapas com o desenvolvimento do modelo gráfico. Informações complementares relativas à execução, custos e operação do pátio serão incorporados a partir do modelo pronto. O principal subsídio para as informações do dispostas no projeto são oriundas do projeto apresentado pelo projeto de Implantação de novo pátio de cruzamento no trecho Itirapina – Santa Fé do Sul, entre o Km 354 + 254 m ao Km 355 + 951 m, no município de Estrela D'Oeste - SP.

Quadro 12 - Etapas de projeto

Etapa	Nível de Maturidade
Levantamento da topografia local por meio de ferramentas GIS	3D
Definição do traçado	3D
Terraplenagem	3D
Infraestrutura	3D
Superestrutura	3D
Coleta de quantitativos	3D
Plano de execução	4D
Orçamento de Obra	5D
Integrações com dados operacionais	6D e 7D

Fonte: Autor (2021)

4.1.2 Identificação dos Usos e Metas

Considera-se que um projeto em BIM extrapole as três dimensões espaciais de representação, à medida que incorpora informações adicionais ao modelo. Entende-se, portanto, que os usos BIM compõem as dimensões de informação incorporadas ao projeto, sejam elas simulações, cálculos e estimativas ou levantamentos (ABDI - MDIC, 2017).

Os usos identificados e adotados no projeto têm como referência o Guia AsBEA Boas Práticas em BIM (ABDI - MDIC, 2017), assim como os usos indicados pela PENN University (The Pennsylvania State University, 2011), com algumas adequações, sendo eles:

- Comparação de traçados
- Concepção de Sistema de Infraestrutura Viária
- Concepção de Sistema de Superestrutura Viária
- Concepção de Sistema de Sinalização Ferroviária
- Detecção de interferências
- Análise Energética
- Análise de Sustentabilidade
- Extração de Quantitativo
- Planejamento 4D
- Orçamentação
- Visualização
- Geração de documentação
- Gerenciamento de Facilities

- Comissionamento
- As-built

Quadro 13 - Usos e Metas do projeto

Prioridade (1-3)	Descrição do objetivo	Uso potencial BIM
1	Reduzir tempo de revisão e autorização do projeto	Extração de Quantitativo para Orçamento Executivo; Comissionamento
1	Elevar qualidade das informações documentadas e apresentadas pela concessionária	Geração de documentação; Visualização; Detecção de interferências
1	Aumentar a acurácia da estimativa de custos relativas a execução do projeto	Extração de Quantitativo para Orçamento Executivo; Comissionamento; Visualização; As-built; Planejamento 4D
2	Medição de progresso da construção	As-built, Planejamento 4D, Comissionamento
2	Aumentar produtividade de campo	Planejamento 4D; Visualização, Gerenciamento de Facilities
2	Análise do sistema operacional ferroviário	Análise energética; Análise de sustentabilidade

Fonte: Autor (2021)

4.1.3 Processos de execução

O mapeamento dos processos de implementação permite que as partes envolvidas no projeto identifiquem o fluxo de informação e clarifica as etapas envolvidas para o cumprimento dos usos BIM previamente definidos.

Os mapas de fluxo elaborados para o projeto também tiveram como referência o Guia AsBEA Boas Práticas em BIM (ABDI - MDIC, 2017), e modelos indicados pela PENN University (The Pennsylvania State University, 2011), adaptados aos usos e objetivos desejados.

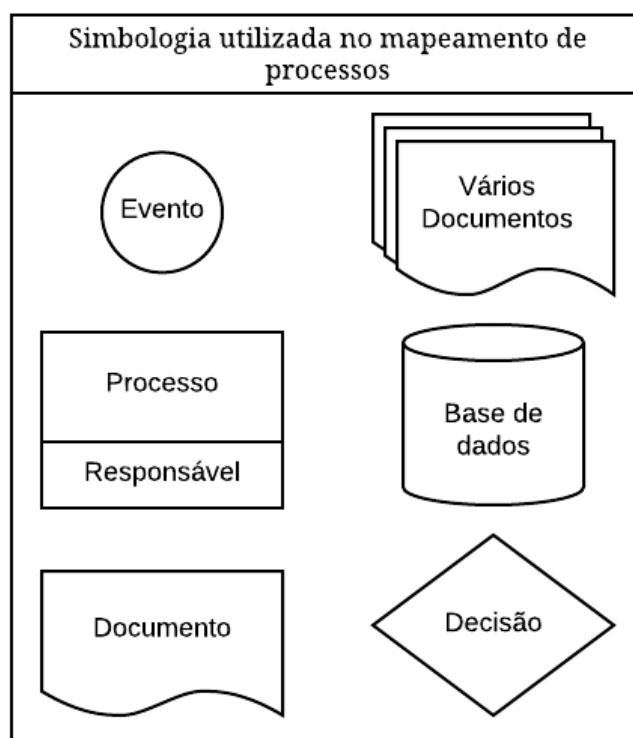
4.1.3.1 Nível 1: Concepção, projeto e autorização de Obra

O processo em primeiro nível do projeto representa o mais elevado nível de informações do projeto e relaciona os usos BIM a serem empregados.

4.1.3.2 Nível 2: Detalhamento dos processos associados aos usos BIM

Os demais processos mapeados constituem em maior nível de detalhe as trocas de informação. Neste trabalho estas etapas foram organizadas em seis fluxogramas, apresentados no APÊNCICE 1.

Figura 18 - Simbologia utilizada no mapeamento de processos



Fonte: Autor (2021)

4.1.4 Comunicação

A partir dos processos mapeados é possível identificar o fluxo de informações no decorrer do ciclo de vida do projeto e os responsáveis por cada processo. A fim de padronizar o formato das informações e sua compatibilização entre as fases e facilitar a compreensão dos participantes do projeto são traçados requisitos para as trocas de informação do projeto.

4.1.4.1 Sistemas de Classificação de Informação da Construção

Pode-se citar diferentes sistemas de classificação da informação, concebidos em acordo com a ISO12006. A exemplo, pode-se citar os sistemas norte-americanos, UniFormat e o MasterFormat, o sistema britânico Uniclass 2015 e o estadunidense OminiClass. No Brasil, as tabelas da NBR 15965, norma em elaboração, são referência na sistematização de informação da construção, sobretudo para projetos de edificações.

Um sistema de classificação da informação estabelece padrões para a realização de troca de informações a partir de diferentes bases de dados. Ao projeto em curso, adotou-se classificação própria, baseada na Estrutura Analítica de Projeto do projeto de referência. Entretanto, é possível estabelecer, futuramente, correlações com outros sistemas de informação para correta associação.

Quadro 14 - Classificação dos elementos do projeto

CLASSIFICAÇÃO		ELEMENTOS
1		ESTAQUEAMENTO
2		INFRAESTRUTURA
2	1	TERRAPLENAGEM

CLASSIFICAÇÃO			ELEMENTOS
2	1	1	ESCAVAÇÃO
2	1	2	ATERRO
2	2		DRENAGEM
2	2	1	BUEIROS
2	2	2	CANALETAS
2	2	3	CAIXAS DE PASSAGEM
3			SUPERESTRUTURA
3	1		SUB-LASTRO
3	2		LASTRO
3	2	1	PRIMEIRO LEVANTE
3	2	2	SEGUNDO LEVANTE
3	3		DORMENTAÇÃO
3	4		TRILHOS
3	4	1	BARRAS DE TRILHO
3	4	2	AMVS
4	5		FIXADORES
4			SINALIZAÇÃO
4	1		SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA
4	1	1	SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
4	1	2	PLACAS DE CAPTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
4	1	3	CIRCUITO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
4	1	4	BATERIAS ESTACIONÁRIAS
4	2		SEMÁFOROS
4	3		SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE RÁDIO

4.1.5 Infraestrutura necessária

A fase final de elaboração de um Plano de Execução BIM (The Pennsylvania State University, 2011) é identificar e definir a infraestrutura necessária para execução do planejamento. O Quadro 15 apresenta as definições principais constantes no plano.

Quadro 15 - Definições de instrumentos e procedimentos de colaboração

Item	Descritivo
Identificação do projeto	Implantação de pátio ferroviário
Formato de arquivos de colaboração BIM	IFC
Outros formatos de arquivos para usos específicos	GIS - informações georreferenciadas
Definição de ponto de origem e coordenadas georeferenciadas	E: 565283,3664 N: 7758046,6360
Sistema de armazenamento de arquivos	MS Explorador de Arquivos

Item	Descritivo
Nomenclatura de arquivos BIM e organização geral do modelo	Arquivos de projeto: DISC-XX-ETAPA Legenda: - DISC: disciplinas de projeto - (GEOM: Projeto geométrico; TERR: Terraplenagem; DREN: Drenagem; SUPE: Superestrutura; SINL: Sinalização; OPER: Operacional); - XX: Número da versão; - DESCRIÇÃO: (Descrição específica a respeito do modelo).
Unidades do projeto	a. Unidade linear: de acordo com o projeto (mm, cm, m);
	b. Unidade de medida de área: metros quadrados (m ²);
	c. Unidade de medida de volume: metros cúbicos (m ³);
	d. Unidade de inclinação: percentual (%);
	e. Unidade de declividade: metro/metro (m/m);
	f. Unidade angular: graus decimais (xx°);
Formato de arquivos das folhas do projeto	DWF
Definição dos elementos do modelo base BIM	Modelo base: GEOM-XX-FINAL.ifc Requisitos: - Modelo georreferenciado;

Fonte: Autor (2021), adaptado dos modelos de (ABDI - MDIC, 2017)

4.2 Modelagem

4.2.1 Base topográfica GIS

As informações topográficas utilizadas no projeto foram importadas de modelos georreferenciados, com projeção SIRGAS 2000 22S. Adotou-se um modelo de superfície GRID, disponível no site TOPODATA (INPE, 2011). Neste ponto, cabe ressaltar que para a realização e aprovação de um projeto com maior precisão de informação, outras metodologias de apuração de dados topográficos medidos em campo seriam indicados, como aerofotometria, coleta de nuvem de pontos por voo não tripulado, dentre outros métodos de levantamento topográfico. Entretanto, a qualidade da informação dos dados topográficos utilizados foi suficiente para os objetivos desta análise.

4.2.2 Modelo de condições existentes

O modelo de condições existentes do projeto foi criado por meio do software Civil 3D a partir de informações do projeto base. Entretanto, foram realizadas alterações a algumas características do projeto de modo a simplificar o modelo a ser produzido, dado que os objetivos da análise não perpassam a comparação direta entre os projetos. Sendo assim, os principais fatores de divergência ao projeto base a serem considerados estão listados na sequência:

- O projeto base considera uma realocação em uma passagem de nível. Para fins do estudo, tanto o projeto de realocação, bem como a própria existência da passagem em nível foram desconsideradas.
- A fim de auxiliar a elaboração do projeto, a definição das condições existentes de via fora inicialmente extraída por meio do software InfraWorks – Autodesk. Informações topográficas utilizadas no projeto foram importadas de modelos georreferenciados, com projeção SIRGAS 2000 22S. Para maior precisão das informações apresentadas, as melhores práticas de elaboração de projetos de definição das condições existentes se dão pelo uso de um arquivo de nuvem de pontos da região. Dada a impossibilidade da aplicação deste recurso ao projeto, assumiu-se as imprecisões do sistema de projeção.
- Foi necessário ajustar a topografia de modo a considerar a existência do corredor instalado.

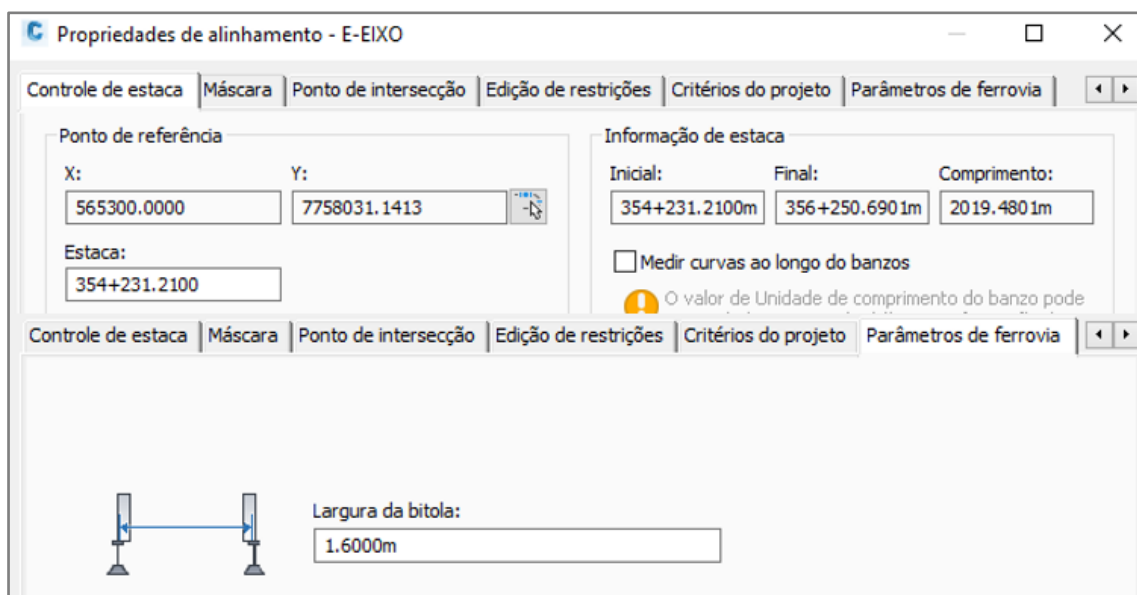
Template: o projeto adotou modelos padronizados para projetos Civil 3D elaborados pelo DNIT e DER, arquivo “_AutoCAD Civil 3D 2021_BRA (Trens_Metropolitanos).dwt”.

Ressalta-se que as informações de projeto adotadas são aquelas dispostas no item 2.2, relativas ao projeto base estudado.

4.2.2.1 Perfis horizontal e vertical.

O alinhamento horizontal da via existente foi inserido em acordo com as informações CAD disponíveis do projeto original. A informação gráfica disponível baseou a modelagem de um alinhamento no qual informações parametrizadas puderam ser inseridas. Assim, incorporou-se ao alinhamento longitudinal, em um primeiro momento: a bitola viária de 1,6 m e dados de estaqueamento, ambas informações presentes nos dados de projeto. Tais informações estão apresentadas na Figura 19.

Figura 19 - Alinhamento horizontal - Eixo existente



Fonte: Autor (2021)

Para a definição do perfil vertical do alinhamento foi considerando os as elevações das seções transversais fornecidos em projeto para incorporar as informações de elevação

da via existente. Entretanto, as seções apresentadas em projeto foram definidas segundo estaqueamento do alinhamento do perfil do eixo duplicado. Desse modo, realizou-se uma correlação entre as estacas do eixo existente com o estaqueamento do eixo do pátio. Para isso, considerou-se a quantidade de estacas do pátio (E_p), e as igualdades de estacas nos pontos de entrada e saída do pátio. Assim, temos que a extensão no eixo entre as estacas no pátio (LE_{eixo}) é definida pela equação:

Equação 1 - Extensão entre estacas no eixo

$$LE_{eixo} = L_e / E_p = (169660m - 16,61m) / 84 \text{ estacas} = 20,00 \text{ m/estaca}$$

Assim, identificou-se as coordenadas do ponto na estaca zero do pátio (marco quilométrico no eixo em 354+253,94 (América Latina Logística, 2015) e cota 494,00m, apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Coordenadas do ponto de seção - estaca 0, cota 494,000

Geometria	
Posição X	567210.252
Posição Y	7759367.385
Posição Z	0.000

Por fim, foi possível estabelecer as coordenadas dos pontos, considerando-se o gráfico de seção longitudinal com eixo vertical na escala 8:1 e horizontal na escala 1:1.

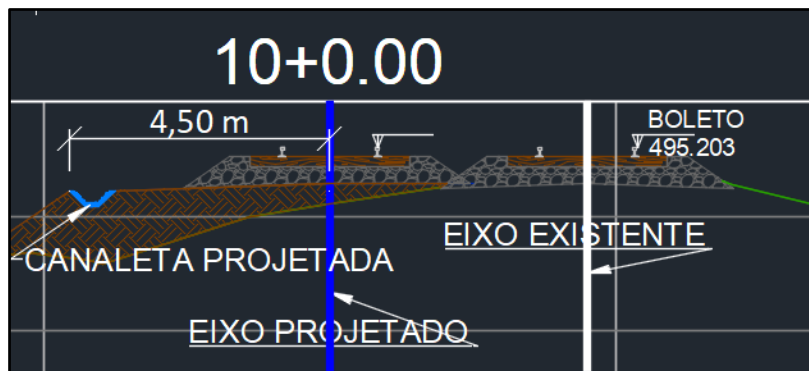
Quadro 16 - Projeção de pontos do alinhamento vertical no gráfico de seção

Estaca do Pátio	Cotas	km do Eixo Existente	E	N
-	494.000	354.253,94	567.210,25	7.759.367,39
0	494.415	354.253,94	567.210,25	7.759.370,71
1	494.434	354.273,94	567.230,25	7.759.370,86
2	494.481	354.293,94	567.250,25	7.759.371,23
3	494.565	354.313,94	567.270,25	7.759.371,91
4	494.657	354.333,94	567.290,25	7.759.372,64
5	494.748	354.353,94	567.310,25	7.759.373,37
...
83	493.618	355.913,94	568.870,25	7.759.364,33
84	493.552	355.933,94	568.890,25	7.759.363,80
84+16.61	493.499	355.950,54	568.906,85	7.759.363,38

Fonte: Autor (2021) – Tabela completa presente no APENDICE 2 – PROJEÇÃO DE PONTOS DO ALINHAMENTO VERTICAL NO GRÁFICO DE SEÇÃO.

A Figura 21 ilustra a seção transversal de projeto com cota do topo do boleto equivalente para o eixo existente e eixo projetado.

Figura 21 - Seção transversal com cota - Projeto de referência



Fonte: (América Latina Logística, 2015)

Em posse da informação do Quadro 16 - Projeção de pontos do alinhamento vertical no gráfico de seção foi possível traçar o alinhamento vertical da via em curva com melhor ajuste entre os pontos, conforme ilustrado na Figura 22. A figura apresenta os perfis de elevação “E-EIXO”, referente ao terreno da base topográfica sem ajuste e “VERTICAL-E-EIXO”, referente ao perfil de elevação ajustado.

Figura 22 - Ajuste de alinhamento existente



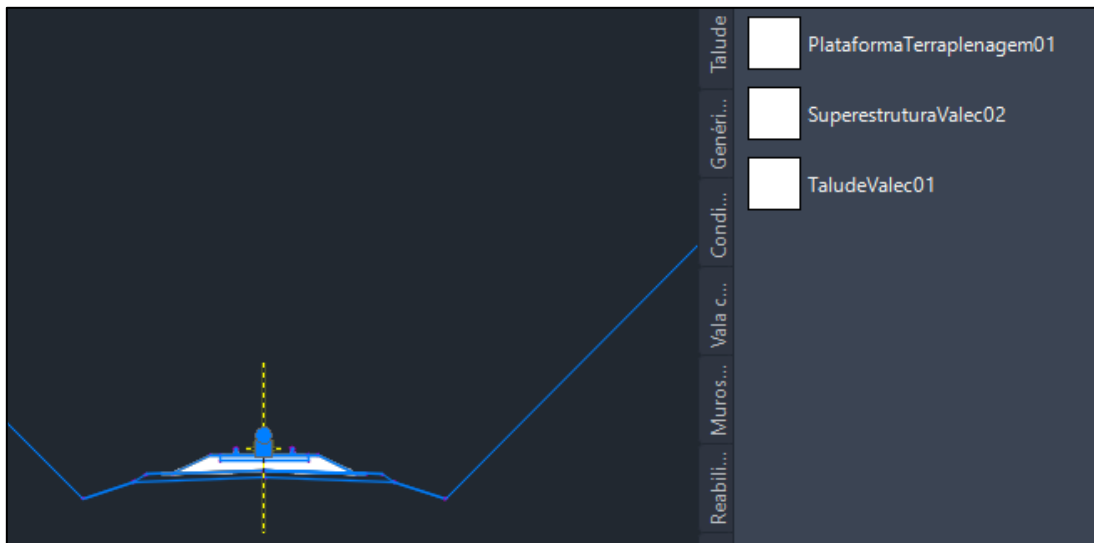
Fonte: Autor (2021)

4.2.2.2 Seção transversal

Para a criação do corredor, definiu-se a seção-tipo da via. Para tal definição foi criada uma montagem (*assembly*), por meio da função *createassembly*. Para os elementos de superestrutura foram seguidas as especificações de dimensionamento apresentados no projeto de referência.

Na *Paleta de ferramentas*, foram incorporadas as *assemblies* no padrão VALEC, disponibilizado pelo Laboratório de Topografia da Universidade Católica de Pernambuco (Costa). Desse modo, utilizou-se as montagens já configuradas de talude e plataforma disponíveis.

Figura 23 - Montagem da sessão transversal da via existente



Fonte: Autor (2021)

Para a montagem de superestrutura viária recorreu-se às montagens nativas do para ferrovias presentes no software. Neste caso, foi necessário alterar os parâmetros para corresponder aos dimensionamentos de lastro e amarração do projeto. Tais parâmetros podem ser editados diretamente na função propriedades (*properties*).

4.2.2.3 Corredor existente

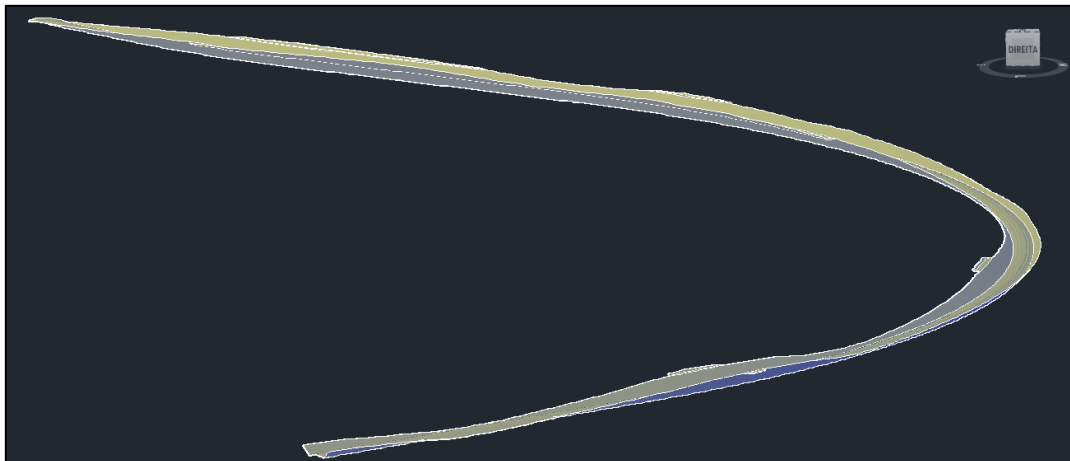
Dado nível de precisão das informações da base topográfica utilizada ser insuficiente para a identificação do corredor ferroviário existente (ver item 4.2.1), optou-se por realizar um tratamento dos dados de modo a recriar o corredor através da modelagem da via usando as informações da via disponibilizadas em projeto. Desse modo, entende-se que a metodologia empregada apresentará discrepâncias claras ao projeto de terraplenagem base, fator que frente aos objetivos do estudo mostrou-se irrelevante, mas manterá a fidelidade quanto ao traçado da via.

Uma vez definidas as seções transversal e longitudinal da via, pôde-se recriar o corredor de via existente através da função *createcorridor*. Esta função permite a modelagem de um corredor sobre uma superfície alvo a partir de um alinhamento e uma montagem de seção.

Criado o corredor, extraiu-se deste duas superfícies, superfície *topo* e superfície *datum*. A superfície *datum* foi constituída pelos limites de corte e aterro estabelecido pelo talude, além da superfície de superior da plataforma de terraplenagem. Já a superfície *topo* formou-se a partir dos limites superiores de lastro, além do corte e aterro. Tais superfícies têm relevância para a realização dos projetos, pois por meio delas são estabelecidos os limites de cada elemento da via.

Para o estudo, a superfície *datum* objetiva identificar os parâmetros do projeto de terraplenagem do pátio. Já a superfície *topo* visa identificar os volumes de lastro necessários à realização do projeto.

Figura 24 - Visualização 3D do corredor existente



Fonte: Autor (2021)

4.2.3 Projeto de duplicação da via

Assim como a criação do modelo de condições existentes, o projeto de via foi elaborado simulando um espaço de trabalho em um ambiente virtual com um modelo unificado para todas as disciplinas. Seguiu-se, para tanto, o fluxo de trabalho apresentado no APÊNDICE 1.

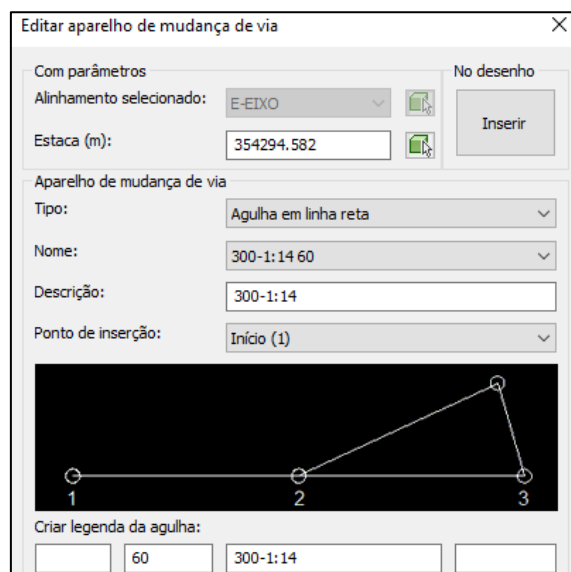
4.2.3.1 Projeto de alinhamento do pátio

Criou-se um alinhamento base para a duplicação por meio do recurso “Criar alinhamento a partir de alinhamento existente”. Desse modo, o alinhamento criado restringe-se à seção entre os km de entrada e saída do pátio, sendo, respectivamente, km 354.253,94 e km 355.950,54.

4.2.3.2 Projeto de AMV

Para a criação de AMV's utilizou-se o comando “CD_TurnOut”, conforme exibido na Figura 25:

Figura 25 - Edição de AMV



Fonte: Autor (2021)

Assim, o projeto considerou a inserção no eixo existente de dois AMV's, nos dois pontos de acesso ao pátio, km 354.253,94 e km 355.950,54, abertura 1:14, conforme projeto base. Assim como no projeto base, projetou-se a extensão total de cada alinhamento de acesso de 81,93m.

4.2.3.3 Alinhamento vertical

Para garantir a coerência entre as cotas, o *grade* do AMV e da via projetada seguiram as cotas do alinhamento principal. Para isso, usou-se de sobreposição de gráficos de perfil longitudinal, acessado por intermédio do comando "SuperImposedProfile". Desse modo, foi possível criar o perfil de projeto de modo a reproduzir o comportamento do perfil vertical do eixo existente, cuja modelagem é explicada em 4.2.2.1.

Cabe ressaltar que foram modelados de três alinhamentos verticais distintos. Um para cada AMV e um terceiro para a extensão do eixo entre a entrada e a saída dos AMV's.

4.2.3.4 Seção transversal de projeto

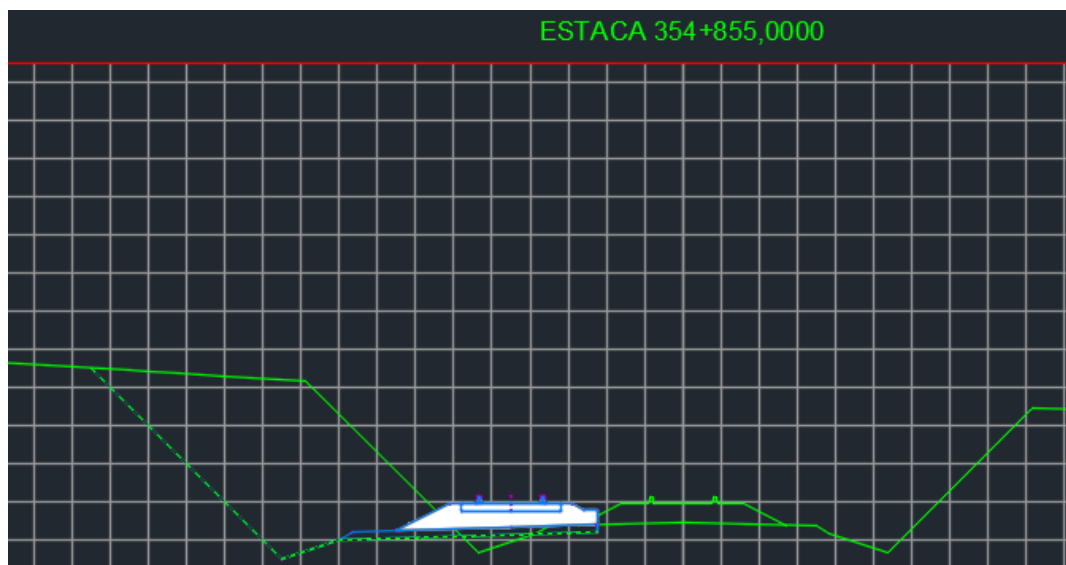
Na sequência, houve a necessidade de criação de uma seção para a região dos AMV's, prevendo-se a demolição do eixo ao longo da extensão dos aparelhos. Para tanto, foi realizada uma montagem de seção.

Para a criação do corredor duplicado, foi usada a função *createassembly*. Desse modo, utilizou-se as montagens já configuradas de talude e plataforma disponíveis no padrão VALEC (Costa). Ainda, foi criado um modelo de seção para a superestrutura do eixo existente, considerando-se a não sobreposição do sublastro.

Para a montagem de superestrutura viária recorreu-se às montagens nativas do para ferrovias presentes no software. Neste caso, foi necessário alterar os parâmetros para corresponder aos dimensionamentos de lastro e amarração do projeto. Tais parâmetros podem ser editados diretamente na função propriedades (*properties*).

A Figura 26 apresenta a visualização do gráfico da seção transversal para a estaca 355+855.

Figura 26 - Visualização de gráfico de seção transversal



Fonte: Autor (2021)

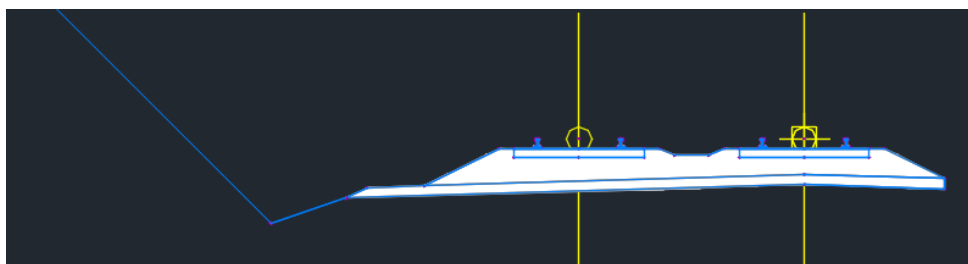
Na imagem é possível identificar a seção do terreno e via existente (verde), e elementos de montagem da via duplicada (azul e branco) e as linhas de corte e aterro formada pelos elementos de talude e base da plataforma de via (ambos em pontilhado).

A representação gráfica do corredor, entretanto não foi capaz de reproduzir satisfatoriamente a dormentação da via, uma vez que o elemento de seção de dormente foi replicado de forma contínua no corredor. Apesar disso, ainda é possível, a partir do estabelecimento de fórmulas e associações corretas a extração dos quantitativos de projeto.

4.2.3.5 Seção de AMV

Os AMVs foram definidos por seção própria de via. Os trechos de via existente nas regiões dos AMVs deverão ser demolidos para a instalação dos aparelhos de mudança de via. Desse modo, foi definida uma sessão tipo para representá-los, a partir de uma montagem estabelecida pela função *createassembly*. Para os parâmetros de terraplenagem, corte e aterro utilizou-se as montagens já configuradas de talude e plataforma disponíveis no padrão VALEC (Costa). Ainda, foi adicionada à montagem superestrutura de via dupla, a partir de uma *subassembly* nativa no programa, de via dupla ferroviária.

Figura 27 - Montagem de seção de AMV



Fonte: Autor (2021)

À montagem adicionou-se um eixo deslocado à direita, que será utilizado como referência para o alinhamento guia estabelecido para a modelagem dos corredores. Ressalta-se, entretanto que a seção de superestrutura utilizada não configura a mais adequada. A seção de AMV possui características especiais de alinhamento, dormentação e fixação, de forma que este deve ser projetado a partir de uma submontagem própria.

4.2.3.6 Corredor da extensão do pátio

Uma vez definidas as seções transversal e longitudinal da via, pôde-se modelar o corredor da extensão do pátio entre os AMVs. Para tal, usou-se a função *createcorridor*.

Uma vez criado o corredor, extraiu-se deste duas superfícies, superfície *topo* e superfície *datum*. A superfície *datum* foi constituída pelos limites de corte e aterro estabelecido pelo talude, além da superfície de superior da plataforma de terraplenagem. Já a superfície *topo* formou-se a partir dos limites superiores de lastro, além do corte e aterro. Tais superfícies têm relevância para a realização dos projetos, pois por meio delas são estabelecidos os limites de cada elemento da via.

Para o estudo, a superfície *datum* objetiva identificar os parâmetros do projeto de terraplenagem do pátio. Já a superfície *topo* visa identificar os volumes de lastro necessários à realização do projeto.

4.2.3.7 Corredor de AMV's

O corredor de AMV possui a peculiaridade de ser modelado a partir de dois alinhamentos de guia, tanto o eixo existente como o eixo do AMV, uma vez que a montagem de seção possui dois eixos. Desse modo, o corredor foi modelado a partir do alinhamento do eixo existente, com utilização do eixo dos AMVs como guia para os eixos deslocados à esquerda. Desse modo, foi criado um corredor específico para cada AMV.

4.2.3.8 Superfícies de corredor

Para a identificação dos volumes de projeto faz-se necessário a criação de superfícies a partir dos corredores de projeto modelados. Desse modo, foram criadas três superfícies principais: a superfície de terraplenagem, a superfície de volume de sublastro e a superfície de volume de superestrutura.

A superfície de terraplenagem foi elaborada pela união das superfícies dos corredores de projeto do tipo *datum*. Conforme mencionado anteriormente, essa superfície está definida a partir dos elementos de base da seção. No caso em questão, estabeleceu-se os limites inferiores de sublastro. Para isso foi necessário identificar os códigos das formas das montagens de seção correspondentes com os limites de corte da seção desejada.

As superfícies de volume também foram criadas a partir da união das superfícies de cada corredor. Conforme apresentado na Figura 28 os elementos constituintes dos corredores, definidos pelas montagens e submontagens, não apresentam nomenclatura unificada, uma vez que utilizam elementos nativos do programa e arquivos de bibliotecas virtuais (Costa). Entretanto, a descrição dos elementos foi suficiente para correta identificação no processo de elaboração do projeto.

Figura 28 - Superfícies de corredor

Nome	Estilo da superfície	Material de rend...	Adicionar co...
<input checked="" type="checkbox"/> CORREDOR_AMV1 - DATUM	_No Display	ByLayer	<input checked="" type="checkbox"/>
Daylight			<input type="checkbox"/>
Daylight_Cut			<input type="checkbox"/>
Daylight_Fill			<input type="checkbox"/>
Subballast			<input type="checkbox"/>
Sublastro			<input type="checkbox"/>
Terraplenagem			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> CORREDOR_AMV1 - VOLUME LASTRO	U-TRIÂNGULO...	ByLayer	<input checked="" type="checkbox"/>
Ballast			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> CORREDOR_AMV1 - VOLUME SUBLASTRO	U-TRIÂNGULO...	ByLayer	<input checked="" type="checkbox"/>
SubBase			<input checked="" type="checkbox"/>
Subballast			<input type="checkbox"/>

Fonte: Autor (2021)

O Quadro 19 correlaciona os elementos da Estrutura Analítica de Projeto a partir dos elementos gráficos do modelo. Tal informação simplifica o processo de identificação dos elementos componentes para elaboração de corredores e tabelas de materiais, conforme apresentado nas Figura 28 e Figura 29.

Quadro 17 - Classificação e elementos de projeto

Classificação			Elementos	Vínculo
1			Estaqueamento	-
2			Infraestrutura	-
2	1		Terraplenagem	Submontagens: TaludeValec01, PlataformaTerraplenagem01
2	1	1	Corte	Códigos: Daylight, Daylight_Cut, Top, Datum
2	1	2	Aterro	Códigos : Top, Datum, Daylight, Daylight_Fill
2	2		Drenagem	-
3			Superestrutura	Submontagens: RailSingleTrackCANT_w_ExtraLayers, Left_Hand_Multi_Track
3	1		Sub-Lastro	Códigos de limite superior: Sublastro, Top Códigos de limite inferior: Terraplenagem, Datum
3	2		Lastro	Códigos: Ballast
3	3		Dormente	Códigos: Tie
3	4		Trilhos	Códigos: Rail
4	0		AMV	Submontagem: RailDoubleTrackCANT_w_ExtraLayers
4	5		Fixadores	-
5			Sinalização	-

Fonte: Autor (2021)

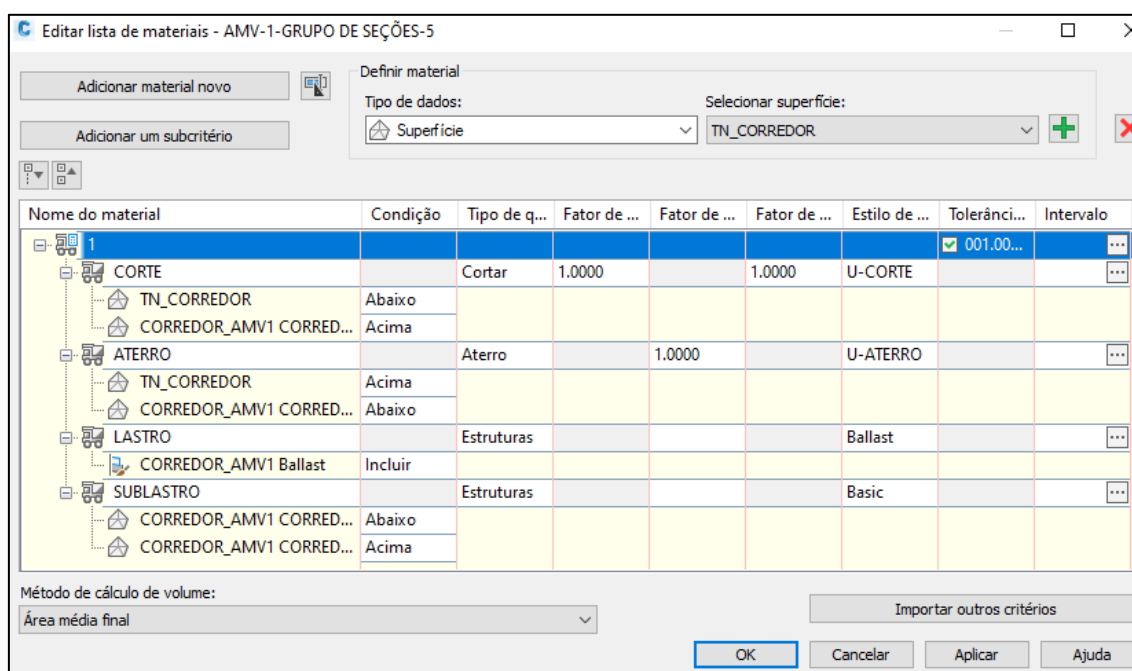
4.3 Criando relatórios de análise a partir do modelo

4.3.1 Volumes de materiais

A partir do modelo criou-se tabelas de volumes de corte, aterro lastro e sublastro a partir dos gráficos de seções. Foram estabelecidos três grupos de seções principais, uma para cada AMV e uma para a extensão do pátio.

Para cada grupo de seção foi necessário configurar as condições e limites de cada material, conforme apresentado na Figura 29. Tal configuração foi definida pela função "ComputMaterials". Uma vez calculados os materiais, é possível gerar relatórios no formato de tabelas.

Figura 29 - Lista de Materiais - AMV



Fonte: Autor (2021)

4.3.2 Relatórios de custos

Por meio do software é possível correlacionar os elementos gráficos de projeto com sistemas referenciais de custos. Para isso, é necessário carregar as tabelas referenciais no programa, com código, descrição e unidade por meio de arquivos .csv e .xml. O arquivo em xml estabelece as regras de classificação dos itens listados no arquivo .csv (separado por vírgulas). Tais informações são carregadas na seção “QTO Manager”, como “Pay Item List”.

A partir da “Pay Item List” é possível associar os elementos da lista a objetos, áreas, elementos de tubulação e corredores. Desse modo, é possível extrair relatórios de quantitativos sumarizados pelos itens de orçamento.

4.3.3 Relatórios da “Caixa de Ferramentas”

Na seção de “Caixa de Ferramentas” da “TOOLSPACE”, com o uso dos templates elaborados com padrão DNIT e DER, disponível do site da Autodesk (Autodesk, 2020), é possível criar diversos relatórios descrevendo, estaqueamento, coordenadas de cotas, geometria de via, inclinação de corte e outras informações de projeto.

A partir da opção “notas de serviço”, por exemplo, é possível criar relatórios relacionados a um grupo de seções de um corredor com dados da geometria a partir seleção dos códigos dos “links” de Submontagem desejados.

5 REVISÃO DO PLANO DE EXECUÇÃO BIM

A partir da modelagem apresentada, avalia-se o estágio de implementação do projeto frente ao planejamento apresentado.

5.1 Funções de projeto

O trabalho realizado foi direcionado para a remodelagem dos projetos de geometria, terraplenagem e superestrutura.

O quadro a seguir apresenta as etapas de implementação abordadas no trabalho e o nível de maturidade BIM alcançado com o estudo.

Quadro 18 - Etapas de Projeto

Etapa	Nível de Maturidade	Avanço
Levantar topografia local por meio de ferramentas GIS	3D	Realizado
Definição do traçado	3D	Realizado
Terraplenagem	3D	Realizado
Infraestrutura	3D	Realizado
Superestrutura	3D	Realizado
Coleta de quantitativos	3D	Realizado
Plano de execução	4D	Não realizado
Orçamento de Obra	5D	Não realizado
Integrações com dados operacionais	6D e 7D	Não realizado

Fonte: Autor (2021)

Assim, identifica-se que o projeto teve sucesso na avaliação da implementação 3D de maturidade BIM.

5.2 Identificação dos Usos e Metas

Os usos BIM buscados em fase de planejamento de projeto alcançados foram:

- Comparação de traçados
- Concepção de Sistema de Infraestrutura Viária
- Concepção de Sistema de Superestrutura Viária
- Extração de Quantitativo
- Visualização
- Geração de documentação

5.3 Comunicação

Ao decorrer do projeto observou-se que o correto registro de informações e nomenclaturas utilizadas no programa interferiam no bom entendimento e na otimização do projeto. Desse modo, estabeleceu-se o padrão de definições de projeto. Tais padrões basearam-se nos templates elaborados nos padrão do DNIT e DER, por arquivo disponibilizado online com nome “_AutoCAD Civil 3D 2021_BRA (Trens_Metropolitanos).dwt” (Autodesk, 2020). Além disso, a adoção de modelos nativos do programa e modelos no padrão VALEC, disponibilizado pelo Laboratório de Topografia da Universidade Católica de Pernambuco (Costa), possibilitou a importação de tabelas configuradas de itens de orçamento, a qual pode ser alterada de acordo com as necessidades do projeto. O arquivo modelo usa como base o sistema de custos da CPTM-SP, SIEC.

5.3.1 Sistemas de Classificação de Informação da Construção

O sistema de classificação proposto foi revisado em acordo com as necessidades de projeto identificadas. Além disso, buscou-se associar os elementos de projeto com os itens de orçamento do sistema de custos utilizado. Ainda, compreende-se que a estrutura de classificação dos elementos de projeto proposta é simplificada e visa unicamente atender os objetivos do projeto.

O Quadro 19 apresenta a EAP de projeto com os itens de orçamento associados. A partir destas informações é possível identificar no modelo elementos lineares de via, elementos de área e tabelas de quantitativos à tabela de custos referenciais da CPTM-SP, SIEC, importada ao programa.

Quadro 19 - Classificação e elementos de projeto

Classificação			Elementos	Itens de Orçamento (código, descrição, unidade)
1			Estaqueamento	
2			Infraestrutura	
2	1		Terraplenagem	
2	1	1	Corte	02.01.01.100.03,Escavação mecanizada em solo de qualquer categoria,m ³ ; 02.01.01.100.12,Corte e espalhamento no local,m ³
2	1	2	Aterro	02.01.01.200.01,Reaterro de valas, inclusive compactação.,m ³ ; 02.01.01.200.05,Aterro mecanizado com reaproveitamento de solo,m ³ ; 02.01.01.200.08,Aterro compactado a 98% PM,m ³ ; 02.01.01.200.09,Aterro compactado a 95% PN,m ³ ; 02.01.01.200.10,Aterro compactado a 100% PN,m ³
3			Superestrutura	
3	1		Sub-Lastro	02.01.01.200.08,Aterro compactado a 98% PM,m ³ ; 02.01.01.200.09,Aterro compactado a 95% PN,m ³ ; 02.01.01.200.10,Aterro compactado a 100% PN,m ³
3	2		Lastro	03.04.01.100.15,Pedra britada para Lastro,m ³
3	3		Dormente	03.04.01.100.06,Dormente de madeira tratado de 2,80m,un
3	4		Trilhos	03.04.01.100.10,Trilhos UIC 60 SS Resistência Padrão (Fornecimento),T
3	5		AMV	03.04.01.100.33,Aparelho de Mudança de Via AMV UIC 60 D 500 1 :14 JF,cj; 03.04.01.100.34,Aparelho de Mudança de Via AMV UIC 60 E 500 1 :14 JF,cj;

Classificação			Elementos	Itens de Orçamento (código, descrição, unidade)
				03.03.05.100.22, Montagem e Instalação de AMV UIC 60 D 500 1 :14 JF,un; 03.03.05.100.23, Montagem e Instalação de AMV UIC 60 E 500 1 :14 JF,un; 03.04.01.100.63, Dormente de concreto para AMV UIC 60 D 500 1 :14 JF,jg; 03.04.01.100.64, Dormente de concreto para AMV UIC 60 E 500 1 :14 JF,jg
3	6		Soldagem e Fixação	03.03.04.100.18, Soldagem Aluminotérmica para UIC 60 Via Corrida e AMVs,un ; 03.04.01.100.16, Grampo elástico para olhal,un; 03.04.01.100.17, Palmilha amortecedora PAD,un; 03.04.01.100.18, Palmilha Anti-Contaminante,un; 03.04.01.100.19, Conjunto de fixação simplesmente elástica (sem resiliência) para via em fixação direta sobre sistema atenuador - Trilho UIC 60,un; 03.04.01.100.20, Conjunto de fixação duplamente elástica (com resiliência) para via em fixação direta - Trilho UIC 60,un 03.04.01.100.21, Isolador para dormente de concreto,un; 03.04.01.100.22, Placa de apoio,un

Fonte: Autor (2021)

A definição dos itens orçamentários apresenta codificação própria e confere maior detalhamento aos elementos de projeto. Além disso, identifica-se que o processo de estruturação do orçamento inicia-se no modelo de projeto, com o relacionamento, a partir de um conjunto de regras preestabelecidas das bases de sistemas de custos com os elementos de quantitativos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

6.1 Considerações finais

O uso da metodologia BIM permite um registro eficiente de informação. Por princípio, um modelo gráfico em BIM armazena informações não gráficas e permite a integração dinâmica entre os elementos de um modelo. A partir do estudo apresentado, sob a ótica de projetos de infraestrutura pública, identifica-se que, apesar de se possuir as informações técnicas necessárias para a autorização de obra, há pouca clareza a respeito dos elementos de via instalados.

Ressalta-se que diversos elementos de projeto são apresentados sob o ponto de vista revisional e há, por vezes, decisão deliberada por apresentar informações meramente gráfica ou sob forma de relatórios, ainda que o projeto original possuísse informações parametrizadas associados ao modelo. Diversos documentos de projeto foram apresentados em formato DWG, formato nativo de softwares Autodesk, sugerindo-se que houve redução da informação para o nível 2D.

Desse modo, identifica-se que diversos usos BIM já estão sendo praticados para a realização de projetos viários por técnicos, empresas e projetistas. Entretanto, a ausência de normativos que definam os padrões de informações para a apresentação dos projetos impede que a administração possa usufruir de potenciais ganhos dos usos BIM, como a rápida extração de quantitativos do projeto que auxiliem o processo de auditoria.

Assim, por meio da elaboração do projeto de geometria e terraplenagem de via, foi possível identificar alguns elementos de projeto que merecem atenção, visando-se padronização de apresentação de informações de projeto sob a ótica de documentação BIM.

A partir do presente estudo identificou-se que, no processo de autorização analisado, para a administração pública há preocupação de registro de justificativa técnica para implementação da obra, documentação de engenharia e documentação legal para realização da obra. Conforme apresentado nos fluxogramas presentes no APÊNDICE 1, o registro destas informações deve ser readequado para o modelo BIM.

Inicialmente, sugere-se que, além de arquivos em PDF, relatórios, memórias e estudos de apoio, os documentos de apresentação do modelo de projeto sejam feitos em formato IFC e documentação de apoio que traduza definições e informações do projeto BIM. Entende-se ainda que o formato em 2D de projeto ainda se faz importante, para consultas pontuais de projeto e em casos em que se tenha dificuldade de acessar arquivos IFC. As orientações da ABDI para projetos BIM (ABDI - MDIC, 2017) apresenta um conjunto de sugestões que podem ser seguidas.

Assim, com vistas a proceder com correta documentação em BIM, os projetos recebidos pelo Poder Público devem possuir:

- Dados georreferenciados, com indicação, em documento auxiliar, do sistema de coordenadas utilizado;
- Informações de alinhamento horizontal;
- Alinhamento vertical de via;

- Montagem de seção simples transversal de via com as submontagens com sistema de codificação dos *links* de montagem padronizado.

O sistema padrão de codificação adotado considera os elementos de via e suas submontagens: superestrutura, sublastro, base, sub-base, corte e aterro.

Conforme apresentado, há um pacote de configurações denominado “Contry Kit Brazil” (Autodesk, 2020) que auxilia os usuários no desenvolvimento de projetos no padrão DNIT, DER e Metrô de São Paulo. Além disso, há modelos disponibilizados virtualmente que otimizam o processo de modelagem, a exemplo das montagens de referência disponibilizadas em fontes não oficiais.

Entretanto, os materiais podem ser complementados a partir da elaboração de outros pacotes de configuração orientados a projetos de ferrovias e a nível nacional. A partir do estudo, foi possível identificar as seguintes informações que podem ser compartilhadas em um repositório online.

O Quadro 20 apresenta um resumo com o atendimento ou não dos objetivos do estudo.

Quadro 20 - atendimentos dos objetivos do estudo

Objetivo	Atendimento	Observações
· Elaboração de um projeto de terraplenagem e superestrutura em plataforma BIM;	Parcial	Atendimento: realização de um modelo 3D de projeto geométrico e terraplenagem. Não atendimento: modelagens BIM 4D e 5D.
· Compreender as etapas fiscalizatórias de autorização de projeto de implementação de pátios ferroviários.	Atendido	Estudo de caso de implantação de um pátio ferroviário e Estrela Doeste.
· Identificar requisitos mínimos de entrega de projetos para sua autorização.	Atendido	Estudo de caso de implantação de um pátio ferroviário e Estrela Doeste.
· Identificar melhorias no processo de projeto e fiscalização ferroviária, utilizando BIM.	Atendido	As ferramentas BIM já são utilizadas no mercado, porém orientações, padrões e diretrizes ainda não foram implementados; Sugere-se que se considere a entrega de modelos 3D com requisitos de apresentação de informações parametrizadas e não reduzidas.

Fonte: Autor (2021)

Considera-se, ainda, que a realização do presente estudo promoveu significativo amadurecimento no âmbito da pesquisa quanto aos conhecimentos a respeito dos usos,

das aplicações e da implementação do BIM, além dos conhecimentos adquiridos a respeito do processo de modelagem da geometria de uma ferrovia utilizando-se um software proprietário BIM. Devido ao reduzido conhecimento prévio a respeito da metodologia da informação, grande parte do tempo do de elaboração do trabalho foi dedicado à revisão bibliográfica e estudo do software.

Cabe também ressaltar que a realização do estudo seria mais bem aproveitada com o envolvimento de mais pesquisadores envolvidos no processo de modelagem, no qual seria possível avaliar processos de comunicação, padrões de troca de informação e avaliar a compatibilização entre projetos de diferentes disciplinas.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

A partir das análises expostas e sob ponto de vista de modelos de geometria e terraplenagem em BIM, recomenda-se em complementação ao estudo:

- a elaboração de uma sessão tipo de via a ser disponibilizada em arquivo pkt com os padrões de via para um AMV do tipo UIC-60;
- a elaboração de Submontagens de superestrutura com maior nível de detalhamento dos elementos de via e que permita representação gráfica correta dos dormentes;
- complementação do estudo a partir de modelagem 4D, 5D, 6D e 7D.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI - MDIC. 2017. *Coletânea Guias BIM ABDI - MDIC*. Brasília, DF : Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, 2017.

Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2015. *Nota Técnica-135-GPFER-SUFER - Estrela do Oeste*. 2015.

Albuquerque, Samuel Menezes. 2011. *Ferrovias: Aspectos Técnicos de Projeto*. São José dos Campos : Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2011.

América Latina Logística. 2015. Processo 50500.227771-2014-93 Pátio de Estrela D´oeste-SP. 2015.

Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. 2020. Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. [Online] 2020. [Citado em: 02 de 09 de 2020.] <https://www.antf.org.br/mapa-ferroviario/>.

Autodesk. acessado em 2020. <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/>. *Mundo AEC*. [Online] Autodesk, acessado em 2020.

Bensalah, Mounir, Eloudi, Abdelmajid e Mharzi, Hassan. 2019. *Railway Information Modeling RIM: The Track to Rail Modernization*. Great Britain and United States : ISTE ltd; John Wiley & Sons, Inc., 2019.

Acessado em fevereiro de 2020. *BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D BIM explained*. s.l. : <http://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained/>, Acessado em fevereiro de 2020.

BIMForum. 2019. *Level of Development Specification*. s.l. : BIMForum, 2019. <https://bimforum.org/lod/>.

Brasil Ferroviário. 2020. Trilho - Brasil Ferroviário. *Brasil Ferroviário*. [Online] 2020. [Citado em: 09 de 09 de 2020.] <https://www.brasilferroviario.com.br/trilho/>.

Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2015. *ISF-218: PROJETO DE PÁTIOS FERROVIÁRIOS*. 2015.

Brasil, DNIT. 2015. *ISF 210 - Projeto de Drenagem*. s.l. : DNIT, 2015.

Brina, H. L. 1983. *Estradas de Ferro*. Rio de Janeiro - RJ : Livros Técnico e Científicos Editora S/A, 1983.

Brina, Helvécio Lapertosa. 1988. *Estradas de Ferro*. Belo Horizonte : UFMG, 1988.

Cardoso, Renato Rezande. Acessado em fevereiro de 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/n%C3%ADveis-de-maturidade-uso-da-tecnologia-renato-cardoso/?published=t>. Acessado em fevereiro de 2020.

Costa, Glauber Carvalho. LABTOPOPE. [Online] Laboratório Topográfico da Universidade Católica de Pernambuco. [Citado em: 15 de setembro de 2021.] <https://www.labtopope.com.br/>.

Dorbrás. 2020. [Online] Companhia Brasileira de Dormentes Dorbrás, 2020. [Citado em: 09 de 09 de 2020.] <http://dorbras.com.br/?produtos/dormentes-de-concreto/dormentes-monobloco/>.

Eastman, Chuck, et al. 2014. *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, gerentes, construtores e incorporadores.* [trad.] Cervantes Golçalves Ayres Filho. Porto Alegre : Bookman, 2014.

ELOUADI, Abdelmajid e MHARZI, Hassan. 2018. *BIM INTEGRATION TO RAILWAY PROJECTS - CASE STUDY.* Pittsburgh, PA, USA : BN TOFAIL UNIVERSITY, 2018. p. 1 a 7.

Estadão. 2002. link: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,desperdicio-representa-de-3-a-8-dos-custos-da-construcao,20020523p30532>. s.l. : Estadão, 2002.

Acessado em fevereiro de 2020. <http://perdas.pcc.usp.br/index.htm>. Acessado em fevereiro de 2020.

INPE. 2011. <https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. *TOPODATA.* [Online] 2011.

Kensek, Karen. 2014. *Building Information Modeling.* Nova York : Routhled, 2014.

Kreider, Ralph G. e Messner, John I. 2013. *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses.* University Park, PA, USA : The Pennsylvania State University, 2013. <http://bim.psu.edu>.

Mangon, Nicolas. Acessado em fevereiro de 2020. "Minimizando a perda de dados entre o SIG e o BIM" [*Mind the Gap: Minimizing Data Loss Between GIS and BIM*] 06 Set 2018. ArchDaily Brasil. (Trad. Souza, Eduardo). s.l. : <https://www.archdaily.com.br/br/901329/minimizando-a-perda-de-dados-entre-o-sig-e-o-bim> > ISSN 0719-8906, Acessado em fevereiro de 2020.

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. 2018. *Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM.* 2018.

NABAIS, Rui José da Silva. 2014. *Manual Básico de Engenharia Ferroviária.* São Paulo : Oficina de Textos, 2014.

Nuttens, Timothy, et al. 2018. *USING BIM MODELS FOR THE DESIGN OF LARGE RAIL INFRASTRUCTURE PROJECTS: KEY FACTORS FOR A SUCCESSFUL IMPLEMENTATION.* 2018. Vol. Volume 13 (2018).

Paula, Gustavo. 2016. BIM para a ferrovia de Jiangyou na China. *Mundo AEC - Blog Oficial sobre AEC da Autodesk Brasil.* [Online] Autodesk, 20 de 12 de 2016. [Citado em: 26 de 08 de 2020.] <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/bim-para-a-ferrovia-de-jiangyou-na-china/>.

Pinto, Tarcísio de Paula. 1999. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos.* São Paulo : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil., 1999.

Porto, Telmo Giolito. 2004. *Notas de aula da disciplina PTR 2501 - Ferrovias.* São Paulo : USP, 2004.

Richards, Mervyn e Bew, Mark. 2008. The UK maturity Model. 2008.

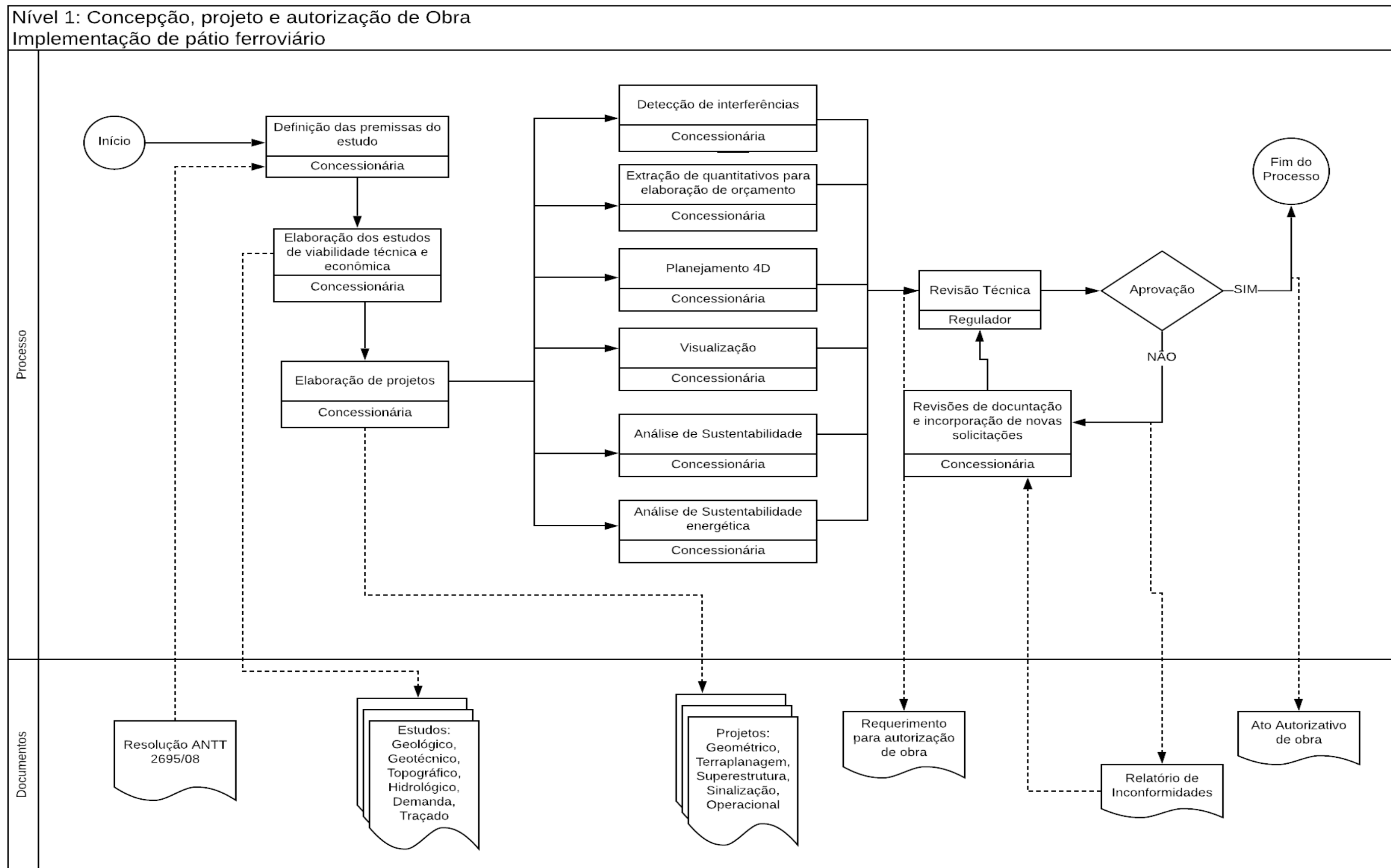
SeilerSolutions. 2019. SeilerSolutions. *YouTube*. [Online] SeilerSolutions, 23 de 09 de 2019. [Citado em: 27 de 08 de 2020.] <https://www.youtube.com/watch?v=qdYQ44nXNT4>.

Smith, Stephen. 2014. *Building information modelling – moving*. Londres : Institution of Civil Engineers - ICE, 2014.

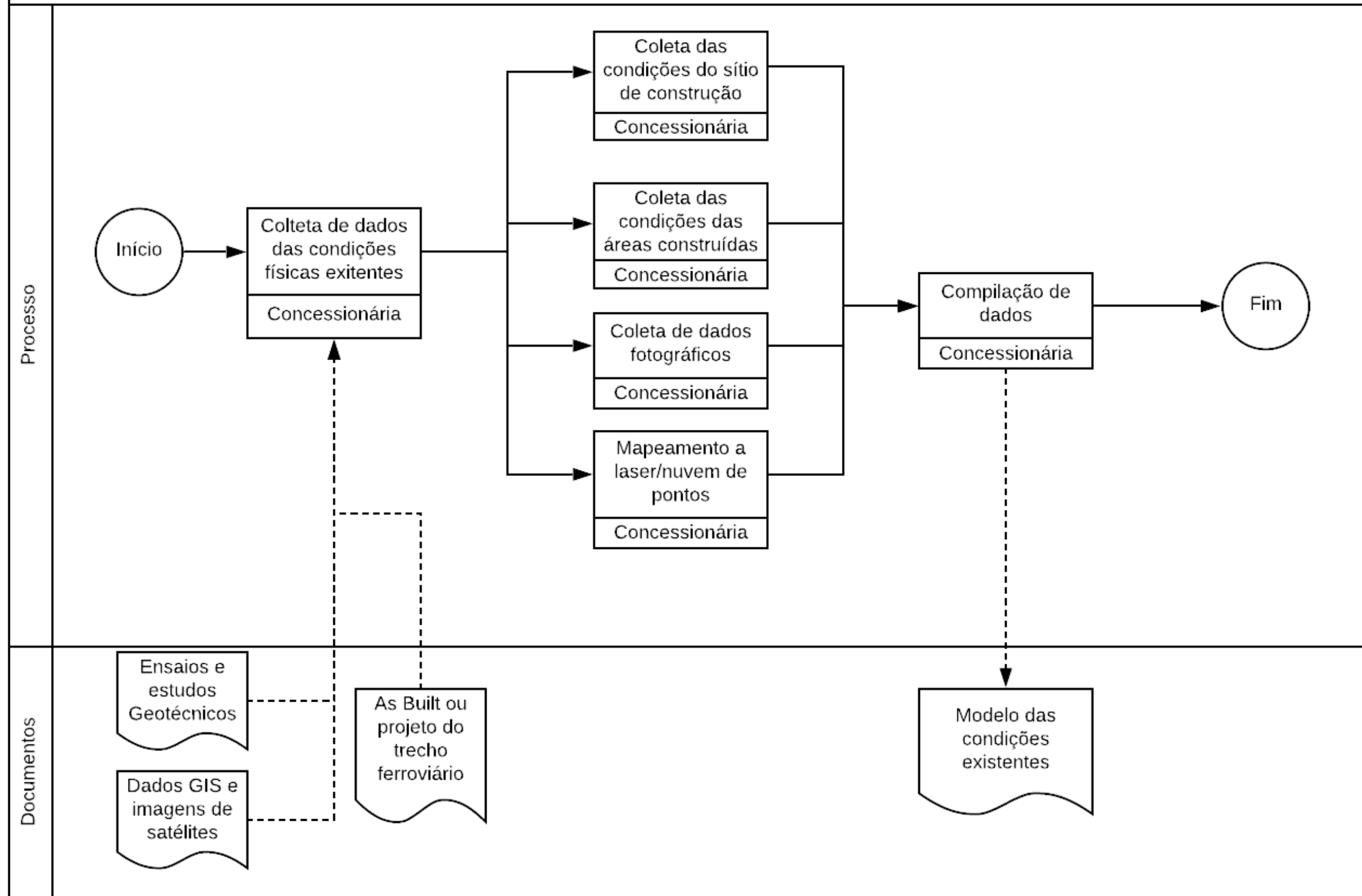
Soethe, Pedro. 2018. Blog Oficial sobre AEC da Autodesk Brasil. *Autodesk*. [Online] Autodesk, 19 de 03 de 2018. [Citado em: 26 de 08 de 2021.] <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviaros/>.

SoftwareACCA. Acessado em 31 de janeiro de 2020. *BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D BIM explained*. Acessado em 31 de janeiro de 2020. <http://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained/>.

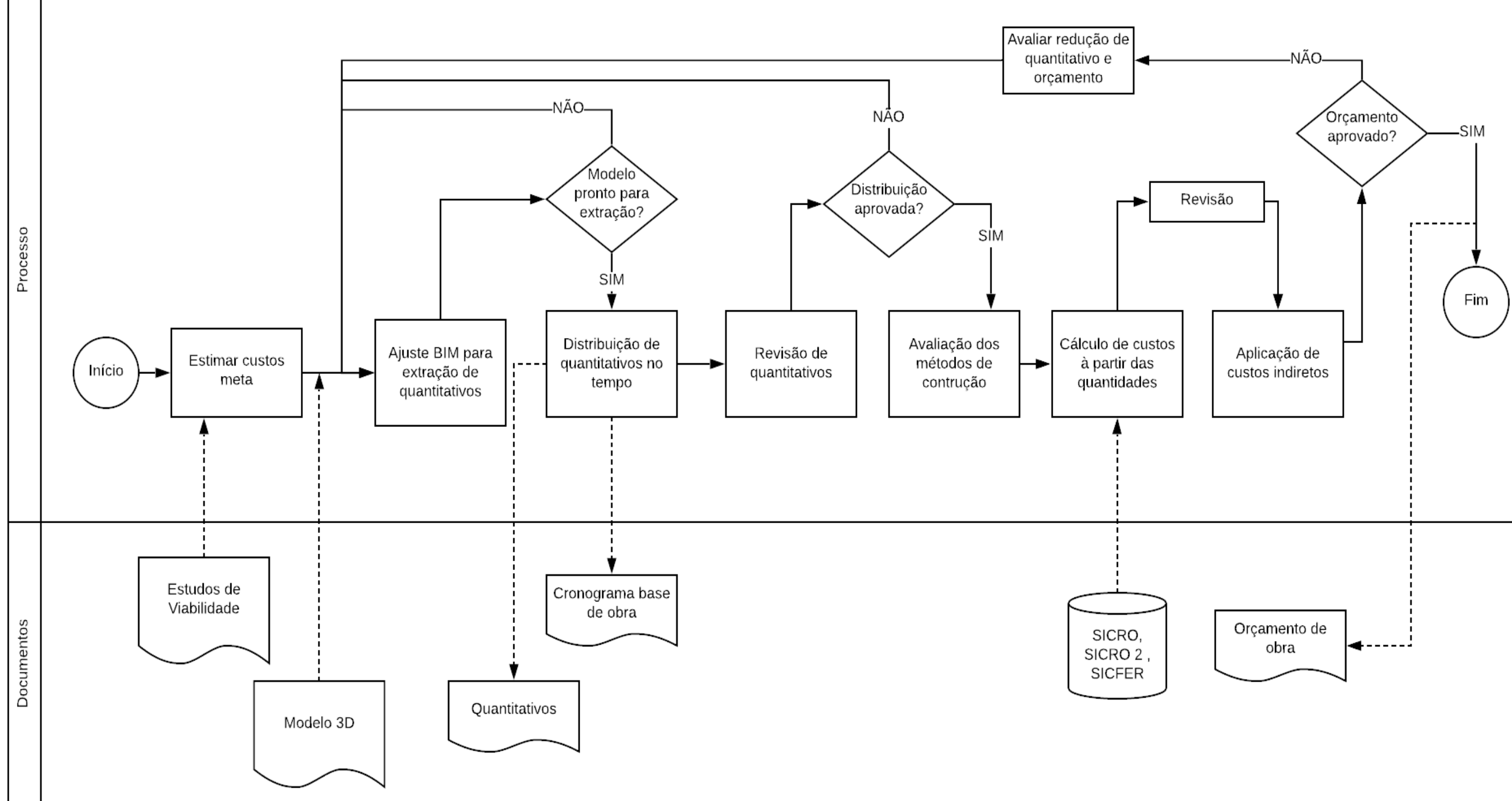
The Pennsylvania State University. 2011. *BIM Project Execution Planning Guide Version 2.1*. s.l. : The Computer Integrated Construction Research Group, 2011.



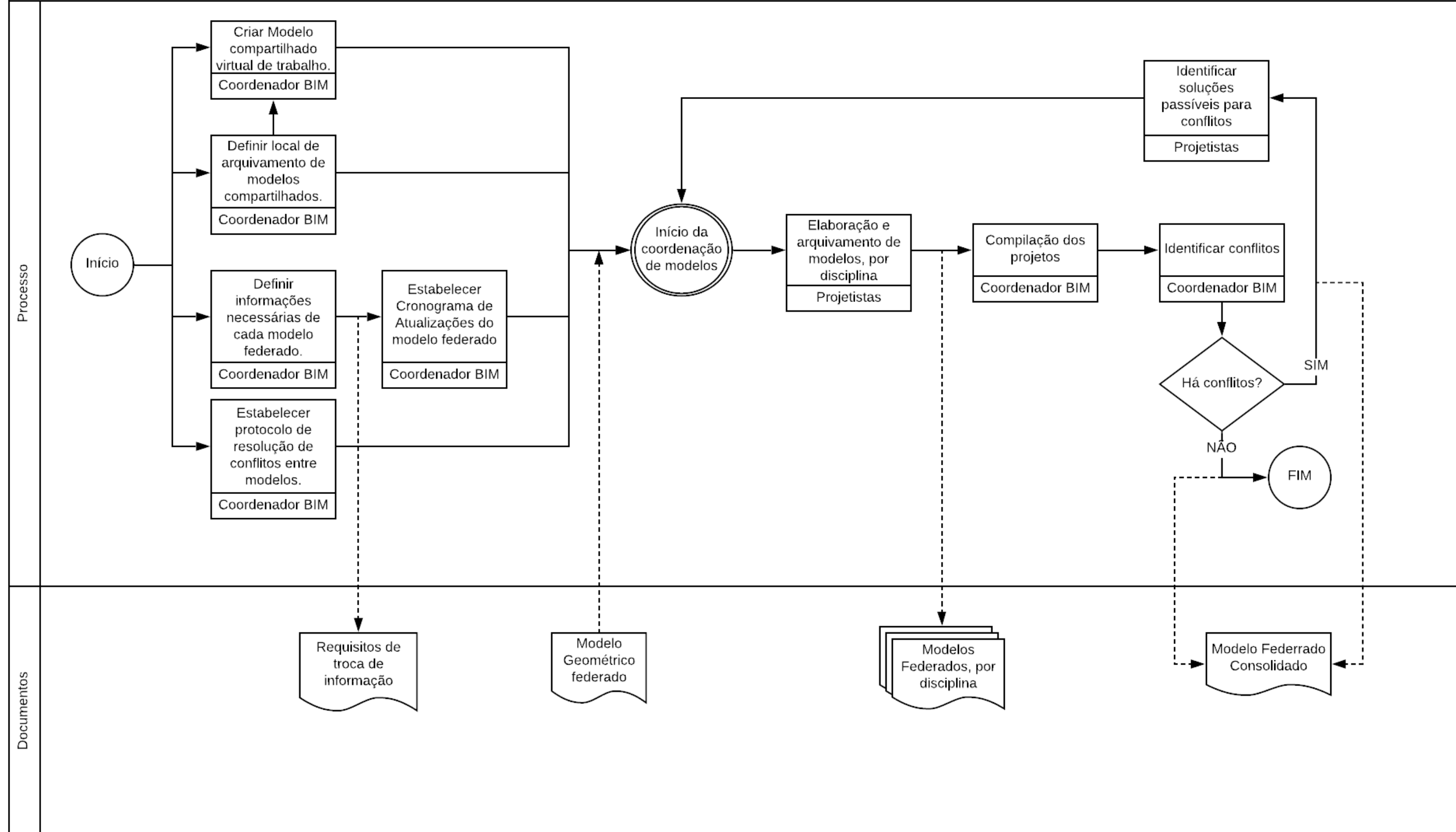
Nível 2: Condições existentes
Implementação de pátio ferroviário



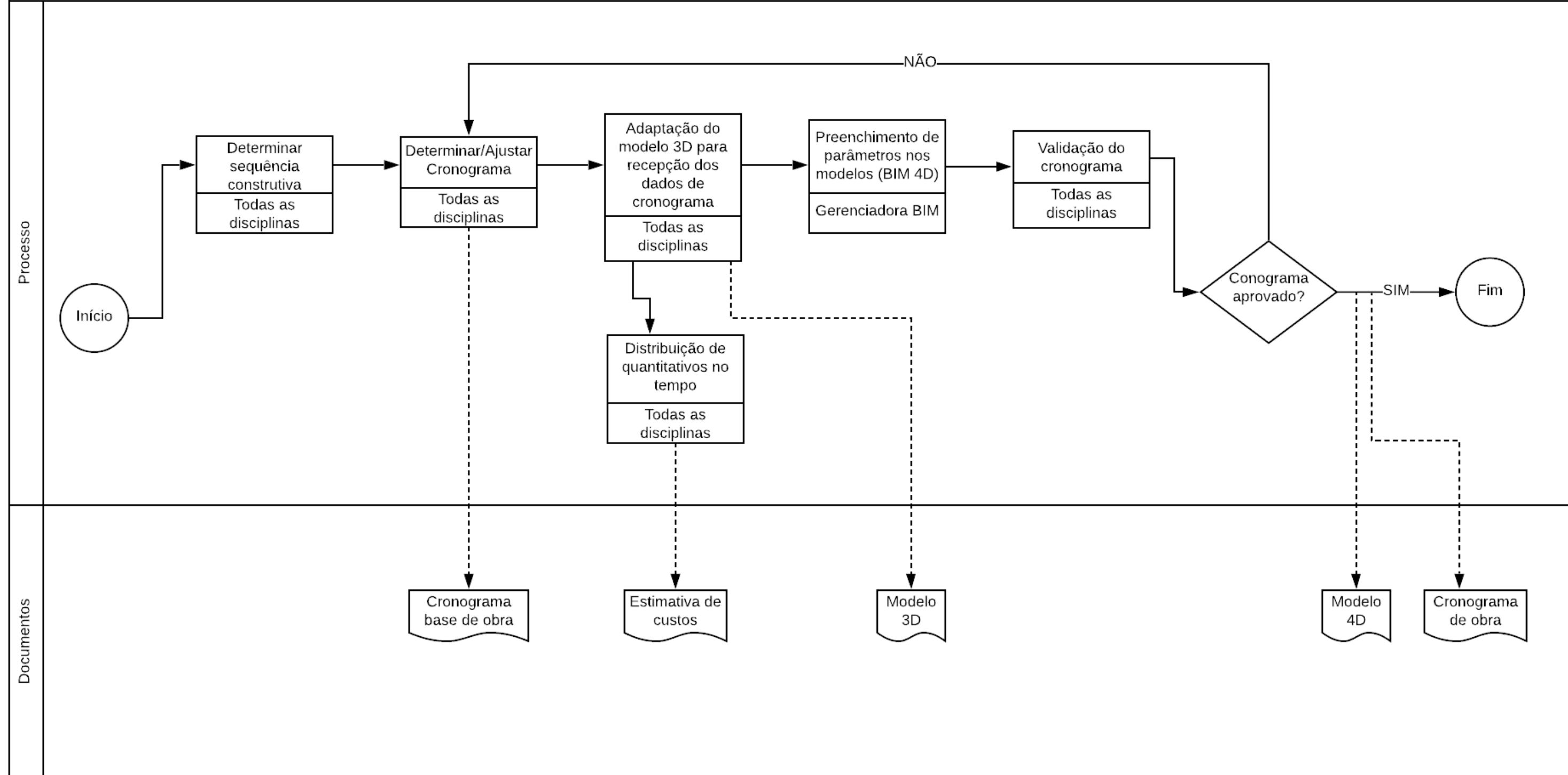
Nível 2: Estimativa de Custos
Implementação de pátio ferroviário



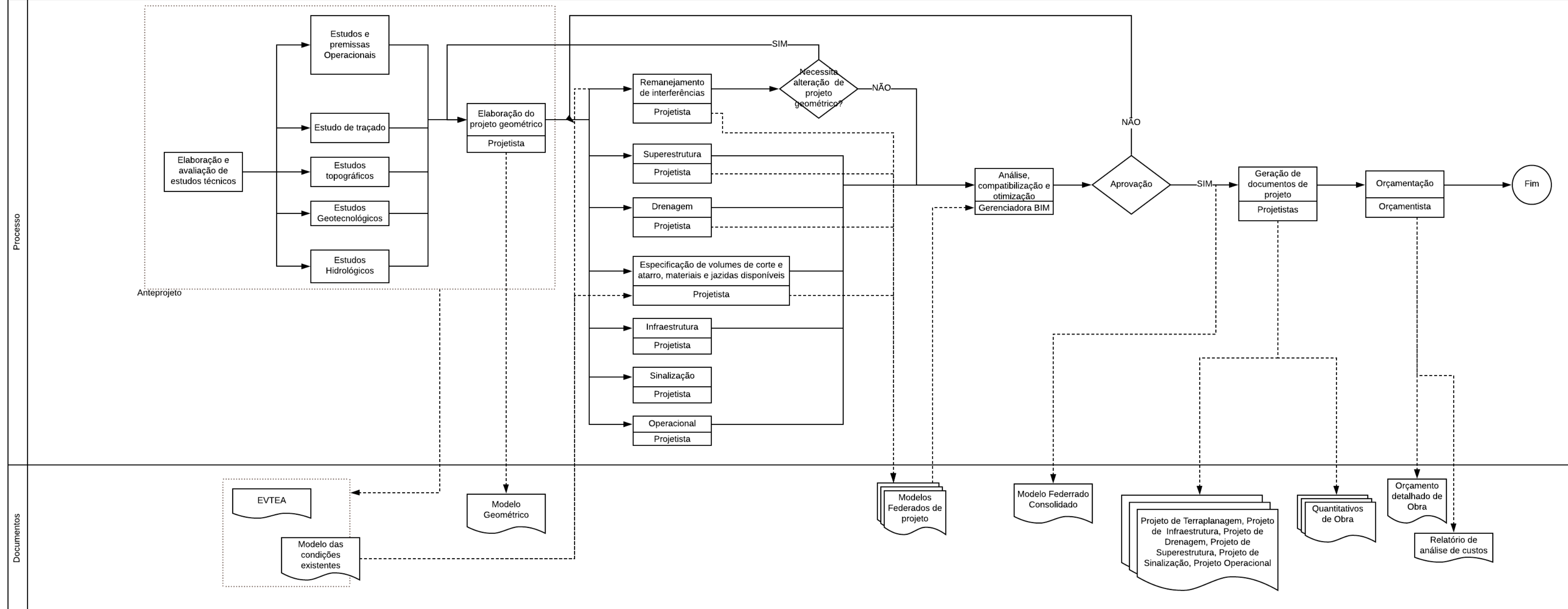
Nível 2: Modelagem BIM
Implementação de pátio ferroviário



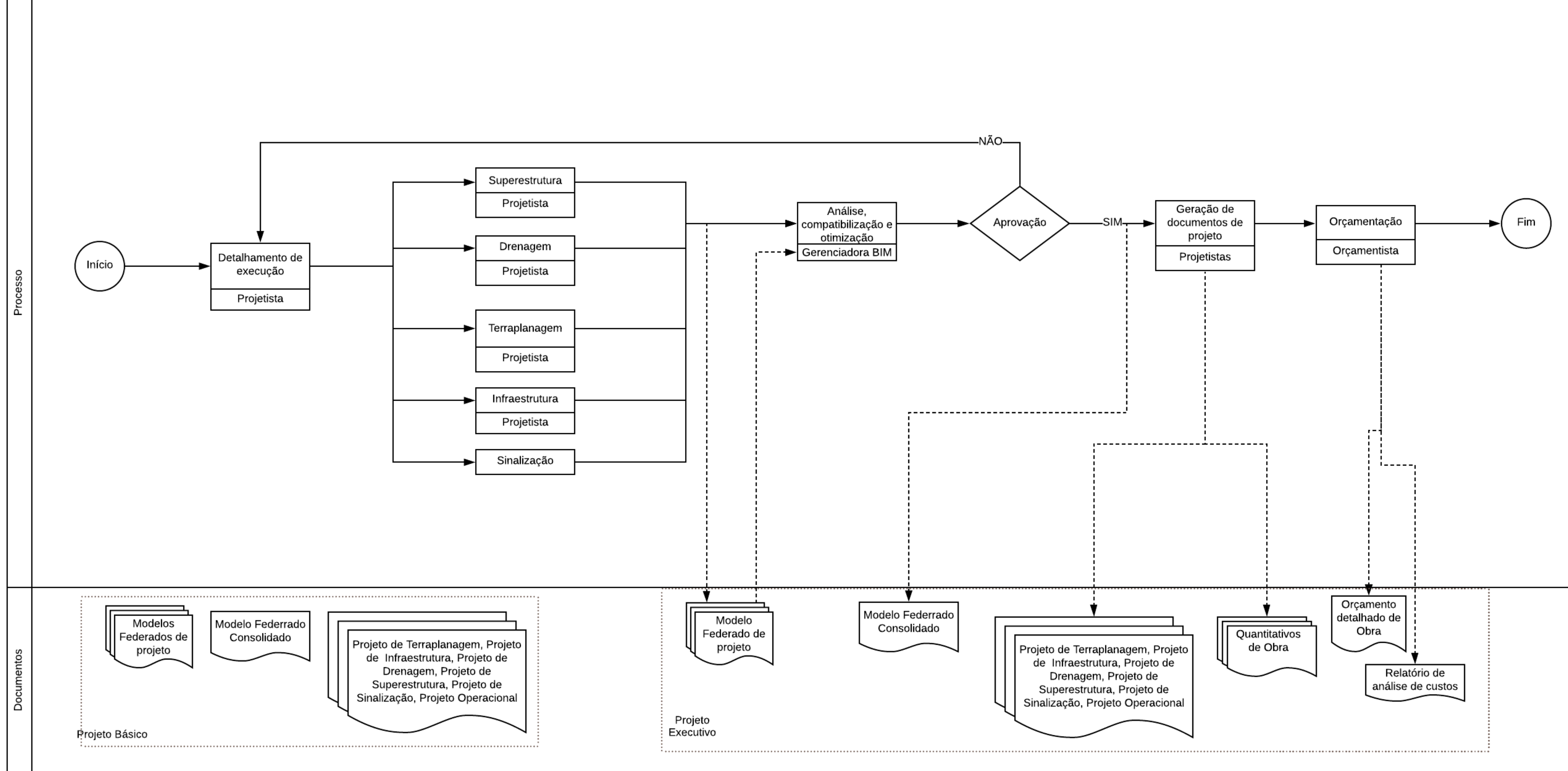
Nível 2: Modelagem 4D
 Implementação de pátio ferroviário



Nível 2: Modelagem 4D
Implementação de pátio ferroviário



Nível 2: Modelagem 4D
Implementação de pátio ferroviário



9 APENDICE 2 – PROJEÇÃO DE PONTOS DO ALINHAMENTO VERTICAL NO GRÁFICO DE SEÇÃO

Estaca do Pátio	Cotas	km do Eixo Existente	E	N
-	494.000	354.253,94	567.210,25	7.759.367,39
0	494.415	354.253,94	567.210,25	7.759.370,71
1	494.434	354.273,94	567.230,25	7.759.370,86
2	494.481	354.293,94	567.250,25	7.759.371,23
3	494.565	354.313,94	567.270,25	7.759.371,91
4	494.657	354.333,94	567.290,25	7.759.372,64
5	494.748	354.353,94	567.310,25	7.759.373,37
6	494.839	354.373,94	567.330,25	7.759.374,10
7	494.930	354.393,94	567.350,25	7.759.374,83
8	495.021	354.413,94	567.370,25	7.759.375,55
9	495.113	354.433,94	567.390,25	7.759.376,29
10	495.203	354.453,94	567.410,25	7.759.377,01
11	495.295	354.473,94	567.430,25	7.759.377,75
12	495.386	354.493,94	567.450,25	7.759.378,47
13	495.477	354.513,94	567.470,25	7.759.379,20
14	495.568	354.533,94	567.490,25	7.759.379,93
15	495.678	354.553,94	567.510,25	7.759.380,81
16	495.809	354.573,94	567.530,25	7.759.381,86
17	495.936	354.593,94	567.550,25	7.759.382,87
18	496.063	354.613,94	567.570,25	7.759.383,89
19	496.190	354.633,94	567.590,25	7.759.384,91
20	496.317	354.653,94	567.610,25	7.759.385,92
21	496.439	354.673,94	567.630,25	7.759.386,90
22	496.561	354.693,94	567.650,25	7.759.387,87
23	496.682	354.713,94	567.670,25	7.759.388,84
24	496.804	354.733,94	567.690,25	7.759.389,82
25	496.926	354.753,94	567.710,25	7.759.390,79
26	497.025	354.773,94	567.730,25	7.759.391,59
27	497.110	354.793,94	567.750,25	7.759.392,27
28	497.131	354.813,94	567.770,25	7.759.392,43
29	497.232	354.833,94	567.790,25	7.759.393,24
30	497.334	354.853,94	567.810,25	7.759.394,06
31	497.435	354.873,94	567.830,25	7.759.394,87
32	497.523	354.893,94	567.850,25	7.759.395,57
33	497.578	354.913,94	567.870,25	7.759.396,01
34	497.629	354.933,94	567.890,25	7.759.396,42
35	497.679	354.953,94	567.910,25	7.759.396,82
36	497.730	354.973,94	567.930,25	7.759.397,23
37	497.758	354.993,94	567.950,25	7.759.397,45
38	497.746	355.013,94	567.970,25	7.759.397,35

Estaca do Pátio	Cotas	km do Eixo Existente	E	N
39	497.710	355.033,94	567.990,25	7.759.397,07
40	497.673	355.053,94	568.010,25	7.759.396,77
41	497.637	355.073,94	568.030,25	7.759.396,48
42	497.600	355.093,94	568.050,25	7.759.396,19
43	497.564	355.113,94	568.070,25	7.759.395,90
44	497.525	355.133,94	568.090,25	7.759.395,59
45	497.456	355.153,94	568.110,25	7.759.395,03
46	497.346	355.173,94	568.130,25	7.759.394,15
47	497.216	355.193,94	568.150,25	7.759.393,11
48	497.085	355.213,94	568.170,25	7.759.392,07
49	496.954	355.233,94	568.190,25	7.759.391,02
50	496.823	355.253,94	568.210,25	7.759.389,97
51	496.692	355.273,94	568.230,25	7.759.388,92
52	496.566	355.293,94	568.250,25	7.759.387,91
53	496.473	355.313,94	568.270,25	7.759.387,17
54	496.418	355.333,94	568.290,25	7.759.386,73
55	496.369	355.353,94	568.310,25	7.759.386,34
56	496.319	355.373,94	568.330,25	7.759.385,94
57	496.269	355.393,94	568.350,25	7.759.385,54
58	496.220	355.413,94	568.370,25	7.759.385,15
59	496.164	355.433,94	568.390,25	7.759.384,70
60	496.072	355.453,94	568.410,25	7.759.383,96
61	495.951	355.473,94	568.430,25	7.759.382,99
62	495.828	355.493,94	568.450,25	7.759.382,01
63	495.705	355.513,94	568.470,25	7.759.381,03
64	495.581	355.533,94	568.490,25	7.759.380,03
65	495.458	355.553,94	568.510,25	7.759.379,05
66	495.335	355.573,94	568.530,25	7.759.378,07
67	495.212	355.593,94	568.550,25	7.759.377,08
68	495.089	355.613,94	568.570,25	7.759.376,10
69	494.966	355.633,94	568.590,25	7.759.375,11
70	494.844	355.653,94	568.610,25	7.759.374,14
71	494.721	355.673,94	568.630,25	7.759.373,15
72	494.598	355.693,94	568.650,25	7.759.372,17
73	494.475	355.713,94	568.670,25	7.759.371,19
74	494.352	355.733,94	568.690,25	7.759.370,20
75	494.229	355.753,94	568.710,25	7.759.369,22
76	494.120	355.773,94	568.730,25	7.759.368,35
77	494.045	355.793,94	568.750,25	7.759.367,75
78	493.974	355.813,94	568.770,25	7.759.367,18
79	493.902	355.833,94	568.790,25	7.759.366,60
80	493.831	355.853,94	568.810,25	7.759.366,03
81	493.760	355.873,94	568.830,25	7.759.365,47
82	493.689	355.893,94	568.850,25	7.759.364,90
83	493.618	355.913,94	568.870,25	7.759.364,33
84	493.552	355.933,94	568.890,25	7.759.363,80

Estaca do Pátio	Cotas	km do Eixo Existente	E	N
84+16.61	493.499	355.950,54	568.906,85	7.759.363,38