



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

WESLEY RODRIGUES DE SOUSA

**APLICAÇÕES DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA
PROJETO E PLANEJAMENTO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA**

RUSSAS
2025

WESLEY RODRIGUES DE SOUSA

APLICAÇÕES DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA
PROJETO E PLANEJAMENTO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Coordenação do curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Ceará, campus
de Russas, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Mylene de Melo
Viera

RUSSAS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S698a Sousa, Wesley Rodrigues de.

Aplicações da Modelagem da Informação da Construção para Projeto e Planejamento de
Obra de Infraestrutura Rodoviária / Wesley Rodrigues de Sousa. – 2026.
69 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus
de Russas, Curso de Engenharia Civil, Russas, 2026.

Orientação: Profa. Dra. Mylene de Melo Viera.

1. Simulação. 2. BIM. 3. Engenharia Rodoviária. I. Título.

CDD 620

WESLEY RODRIGUES DE SOUSA

APLICAÇÕES DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA
PROJETO E PLANEJAMENTO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Coordenação do curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Ceará, campus
de Russas, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

APROVADO EM: 16/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Mylene de Melo Vieira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M.Sc. Mateus do Nascimento Lira
Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Profa. Kéren Pereira Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a força espiritual que eu precisava, guiado, iluminado e colocado pessoas extremamente importantes na fase acadêmica, proporcionando sabedoria e resiliência para superar qualquer desafio.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Mylene de Melo Vieira, cuja índole ímpar, conhecimento e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Deixo meu reconhecimento aos membros da banca examinadora pela prontidão em participar, e pelos aportes e ideias que o tornaram mais robusto. O crivo técnico e a expertise demonstrada impulsionaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Estendo expressando profunda gratidão aos amigos e colegas que compartilharam esta trajetória. O apoio, as brincadeiras e a motivação mútua foram pilares dessa jornada. Dedico um agradecimento especial, carregado de saudade, ao meu eterno amigo Rhuan Gomes Cavalcante, que partiu, mas cuja presença e lembrança residem indelevelmente em minha alma.

À minha mãe, Joilma de Sousa Silva, por quem nutro o mais profundo respeito e admiração. Com sua imensurável garra, seu amor incondicional e a força de seu sentimento materno, ela me fez perseverar e jamais desistir deste sonho. Sua dedicação incansável foi o pilar que sustentou minha jornada acadêmica, e a ela dedico esta conquista.

Agradeço ao meu pai, à minha irmã e à minha namorada. Por estarem sempre presentes, o apoio e a motivação de cada um foram essenciais para que eu conseguisse finalizar esta etapa com sucesso.

E, por fim, à Universidade Federal do Ceará (UFC). Agradeço por oferecer um ambiente academicamente rico, que favoreceu meu desenvolvimento. A UFC não apenas transmitiu o conhecimento técnico, mas também cultivou valores essenciais que levarei como legado desta formação.

“Olha onde eu cheguei; Pra quem falou que eu não ia chegar; Só sabe o que eu passei quem ‘tava’ lá” (João Gomes, 2023)

RESUMO

Em obras de infraestrutura de transporte, como as rodoviárias, onde o planejamento de tempo e processos é uma etapa crucial, a organização dessas informações é indispensável. O BIM (Building Information Modeling) atua como um aliado fundamental, reduzindo falhas e tornando essa fase mais estratégica e eficiente, pois é uma metodologia que integra processos, diretrizes e ferramentas com o objetivo de gerenciar todas as informações de uma construção ao longo de todo o ciclo de vida da construção, desde a concepção do projeto até a sua operação e manutenção. Ao integrar variados projetos em um único modelo e realizar uma simulação 4D, o uso do BIM proporciona uma visão detalhada e precisa do processo construtivo de um empreendimento. Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação da metodologia BIM em projeto e planejamento de construção de infraestrutura rodoviária, utilizando o software Autodesk Navisworks Manage. Primeiramente, foi realizada a modelagem dos elementos que compõem o trecho escolhido da rodovia. Utilizou-se o Autodesk Civil 3D para a modelagem dos elementos essenciais da infraestrutura, enquanto o Autodesk Revit foi empregado para a modelagem da ponte, elemento inserido no respectivo trecho. A partir dessa modelagem, todos os componentes foram integrados em um único modelo, possibilitando posteriormente a realização de análises de processos, identificação de gargalos e ajustes no cronograma por meio da simulação 4D. Como resultado, foram identificados gargalos que comprometiam a funcionalidade parcial da rodovia durante a execução da obra, os quais puderam ser corrigidos de forma a garantir essa funcionalidade. Foram realizados ajustes tanto nos elementos que compõem a rodovia e na disposição dos canteiros de obras quanto no cronograma de execução. Concluindo que a utilização da metodologia BIM é um recurso estratégico e eficiente para o planejamento de obras de infraestrutura de transportes.

Palavras-chave: metodologia BIM; simulação 4D; infraestrutura de transportes; modelagem.

ABSTRACT

In transport infrastructure works, such as highways, where time and process planning is a crucial stage, the organization of this information is indispensable. BIM (Building Information Modeling) acts as a fundamental ally, reducing failures and making this phase more strategic and efficient, as it is a methodology that integrates processes, guidelines, and tools with the goal of managing all construction information throughout the entire construction lifecycle, from design conception to its operation and maintenance. By integrating various projects into a single model and performing a 4D simulation, the use of BIM provides a detailed and precise view of the construction process of an enterprise. This work aims to analyze the application of the BIM methodology in the design and construction planning of highway infrastructure, utilizing the Autodesk Navisworks Manage software. Firstly, the modeling of the elements composing the chosen highway stretch was performed. Autodesk Civil 3D was used for the modeling of the essential infrastructure elements, while Autodesk Revit was employed for the modeling of the bridge, an element inserted into the respective stretch. Based on this modeling, all components were integrated into a single model, subsequently enabling the execution of process analyses, identification of bottlenecks, and schedule adjustments through 4D simulation. As a result, bottlenecks that compromised the partial functionality of the highway during the execution of the work were identified, which could be corrected to ensure this functionality. Adjustments were made to both the elements comprising the highway and the layout of the construction sites, as well as to the execution schedule. Concluding that the utilization of the BIM methodology is a strategic and efficient resource for the planning of transport infrastructure works.

Keywords: BIM methodology; 4D simulation; transport infrastructure; modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estoque de Infraestrutura em % do PIB – Países selecionados	19
Figura 2 – Correlação entre Competividade econômica e desenvolvimento no setor da infraestrutura	21
Figura 3 - Evolução do Orçamento Autorizado (2014 a 2024)	22
Figura 4 – Ranking de desenvolvimento no setor da infraestrutura	23
Figura 5 – Posição do Brasil nos componentes de infraestrutura	24
Figura 6 – Ciclo de Vida do BIM.....	29
Figura 7 – Usos BIM ao Longo do Ciclo de Vida de uma Construção (organizado em ordem cronológica: do planejamento à operação)	30
Figura 8 – Curva de esforço (Patrick Macleamy curve).....	33
Figura 9 – Imagem da interface do Autodesk Infracore	34
Figura 10 – Fluxograma de trabalho	36
Figura 11 – Processo de importação dos arquivos no formato IFC.....	42
Figura 12 – Inserção dos arquivos no Autodesk Civil 3D	43
Figura 13 – Interface do Autodesk Navisworks Manage	44
Figura 14 – Inserção de datas na ferramenta <i>Timeliner</i>	47
Figura 15 – Indicações de pontos importantes do trecho modelado	48
Figura 16 – Modelagem	49
Figura 17 – Sequencialmente inicial (Subtrechos 3, 4, 5 e 6)	50
Figura 18 – Sequenciamento final (Subtrechos 3, 4, 5 e 6)	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características principais da Rodovia	37
Tabela 2 – Determinação dos Subtrechos	38
Tabela 3 – Novo estaqueamento adotado	39
Tabela 4 – Cronograma inicial.....	45
Tabela 5 – Cronograma final	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Elementos inseridos no trecho	40
Quadro 2 – Ações em Subtrechos Críticos	50
Quadro 3 – Diferença entre os cronogramas	54
Quadro 4 – Justificativas da localização	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM	<i>Building Information Modeling</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
PPP	Público-privadas
PIB	Produto Interno Bruto
DPP	Diretoria de Planejamento e Pesquisa
CGPLAN	Coordenação Geral de Planejamento
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CNI	Confederação Nacional de Infraestrutura da Indústria
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
PT	Plano de Trabalhos
VDC	<i>Virtual Design and Construction</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
PD	Plano de Desenvolvimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEP	Plano de Execução BIM
CDE	Ambiente Comum de Dados
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
BrIM	<i>Bridge Information Modelling</i>
MDT	Modelo Digital do Terreno
OAE	Obra de Arte Especial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS	17
2.2	Objetivo Geral	17
2.3	Objetivos Específicos.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Infraestrutura de Transportes.....	17
3.1.1	<i>Contexto Mundial.....</i>	18
3.1.2	<i>Cenário Nacional.....</i>	21
3.2	Planejamento de Obras Rodoviárias.....	25
3.2.1	<i>Complexidade e Natureza dos Empreendimentos Rodoviários</i>	25
3.2.2	<i>Requisitos Formais e a Contribuição do Planejamento</i>	26
3.3	Modelagem da Informação da Construção (BIM).....	28
3.3.1	<i>Aspectos conceituais e estruturais do BIM.....</i>	28
3.3.2	<i>Estratégia BIM BR</i>	31
3.3.3	<i>BIM aplicado a projeto e planejamento de construção rodoviária</i>	32
4	METODOLOGIA.....	36
4.1	Objeto de estudo.....	37
4.2	Modelagem	40
4.3	Simulação de processos e tempo de obra	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	Modelagem final	48
5.2	Análise do Sequenciamento Construtivo no Ambiente BIM.....	50
5.3	Avaliação da Variação no Tempo de Execução da Obra	52
5.4	Determinação da localização dos Canteiros de Obras	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6.1	Sugestões de trabalhos	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	APÊNDICE A	62

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura é conceitualmente definida como o arcabouço básico e organizacional indispensável para o pleno funcionamento de uma sociedade ou de um empreendimento (OXFFORD DICTIONARIES, 2018). Neste contexto, as obras de infraestrutura detêm importância crucial para a garantia do desempenho adequado das atividades sociais. Sob uma ótica econômica, a qualidade e a eficiência do sistema de infraestrutura são fatores diretamente correlacionados e indicadores de um elevado patamar de desenvolvimento em uma determinada região.

A indústria da construção civil é frequentemente caracterizada por processos produtivos sujeitos a erros, muitas vezes resultantes da falta de planejamento e comunicação entre disciplinas. Isso não é diferente quando se trata da área de infraestrutura de transportes, pois a imprecisão ou até mesmo a ausência de um planejamento podem gerar problemas técnicos, como a inadequação de estudos de viabilidade, integração modal mal planejada e falhas no planejamento de tempo e de orçamento (Costa; Gonçalves, 2023, p. 72).

Como a metodologia BIM (*Building Information Modeling*), cuja sigla traduzida para o português significa Modelagem da Informação da Construção, pode mitigar os problemas de planejamento e execução na infraestrutura de transportes? No contexto atual, marcado pela necessidade de modernização das obras públicas e pela busca por maior eficiência na utilização de recursos, o BIM surge como uma ferramenta capaz de otimizar processos, reduzir custos e aprimorar a transparência na execução de projetos rodoviários e de mobilidade urbana.

O BIM representa uma metodologia inovadora que tem se consolidado no mercado de engenharia, tanto nacional quanto internacional, especialmente em países desenvolvidos. Estudos recentes indicam que a adoção do BIM pode resultar em uma redução de até 20% nos custos totais do projeto, 5% nos prazos de execução e 30% de retrabalhos, devido à detecção de conflitos e ao planejamento pré-execução (TECHNICAL BIM, 2023).

A metodologia BIM ganhou espaço de maneira expressiva nas obras civis de infraestrutura de transportes. Embora em 2012 sua aplicação nesse segmento estivesse cerca de três anos atrasada em relação ao uso em edificações, esse cenário vem mudando rapidamente.

De acordo com Jones (2023):

Entre os anos de 2015 e 2017, a adesão do BIM em alto nível de detalhamento em países como Reino Unido, França, Estados Unidos e Alemanha cresceu de 20% para 52%, com projeções indicando que esse número alcançaria 61% em 2019. Dados mais atualizados demonstram que mais de 50% dos projetos públicos de infraestrutura em geral passaram a exigir aplicação do BIM, evidenciando a consolidação da metodologia como ferramenta estratégica dos empreendimentos.

Os investimentos em infraestrutura de transportes desempenham um papel estratégico na dinamização da economia de um país, o que torna esse setor altamente competitivo e dependente de um planejamento eficiente (Pereira, 2010, p. 58). Diante desse cenário, os setores de engenharia de transportes enfrentam constantes desafios a adotar soluções que aumentem sua rentabilidade por meio da inovação e da otimização de processos. Nesse contexto, o uso do BIM tem se destacado como uma ferramenta valiosa, oferecendo suporte gerencial que contribui diretamente para a melhoria do desempenho nos projetos (Sacks et al., 2021).

Um dos marcos legais para a implementação do BIM na infraestrutura no Brasil é o Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020, estabelece a utilização da Modelagem da Informação da Construção na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia efetuada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal (Brasil, 2020).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a aplicação da metodologia BIM em projeto e planejamento da construção de infraestrutura rodoviária, abrangendo novas ferramentas atreladas ao projeto e planejamento.

2 OBJETIVOS

Este tópico aborda o objetivo geral e os objetivos específicos.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a aplicação da metodologia BIM em projeto e planejamento da construção de infraestrutura rodoviária.

2.2 Objetivos Específicos

- (a) Desenvolver o modelo BIM do trecho rodoviário, convertendo os dados do projeto existente em formato CAD, utilizando os *softwares* Autodesk Civil 3D e Autodesk Revit;
- (b) Analisar o sequenciamento construtivo com uso da simulação 4D, utilizando o *software* Autodesk Navisworks Manage;
- (c) Comparar o tempo de execução de obra conforme os sequenciamentos do cronograma inicial e o sequenciamento construtivo otimizado;
- (d) Avaliar e Propor a localização estratégica dos canteiros de obra, em função do sequenciamento construtivo otimizado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse tópico aborda a revisão bibliográfica acerca do tema.

3.1 Infraestrutura de Transportes

Esse tópico aborda os sistemas e estruturas fundamentais para o deslocamento de pessoas e mercadorias, como rodovias, ferrovias, aeroportos e portos. Destaca-se também que o grau da organização e da qualidade da infraestrutura impactam, diretamente, na eficiência do transporte, no desenvolvimento econômico e na integração regional.

3.1.1 Contexto Mundial

A disponibilidade de infraestrutura é considerada uma condição essencial para o crescimento econômico de um país (Araújo, 2006). Obras de infraestrutura são fundamentais para o funcionamento de uma sociedade. Do ponto de vista econômico, em síntese associa-se um local desenvolvido economicamente com a qualidade do sistema de infraestrutura, seja ela de energia, de transporte ou de água.

De acordo com Yazbek (2006, p. 30) as obras de infraestrutura são obras de construção pesada, tais como aeroportos, portos, rodovias, obras de saneamento, usinas hidroelétricas e nucleares, obras de arte, entre outros.

Nota-se, também, que obras de infraestrutura de transportes são as principais interligações comerciais entre países. Não só essas obras contribuem para que qualquer nação tenha um desenvolvimento econômico próspero com mobilidade de cargas e pessoas, como também, a complexidade dessas construções trazem retornos significantes para sociedade, falando do ponto de vista de empregabilidade.

Como destaca Fleury *apud* Hermann (2012, p. 17):

O investimento em infraestrutura deve ser compreendido como uma estratégia de longo prazo, pois, assim como a educação fortalece a produtividade do cidadão ao longo do tempo, a melhoria das condições de transporte e logística cria oportunidades para o desenvolvimento regional.

É possível perceber, então, que esse tipo de investimento é essencial para superar a limitação imposta pela dificuldade de transportar a produção e as riquezas naturais desde os pontos de origem até os centros consumidores. Um país com uma grande capacidade de produção, porém desprovido de um sistema de transporte eficiente para o escoamento dessa produção, provavelmente, não terá condições de exportar tudo que produzir, tanto internamente para regiões, estados ou cidades, como externamente para continentes e países.

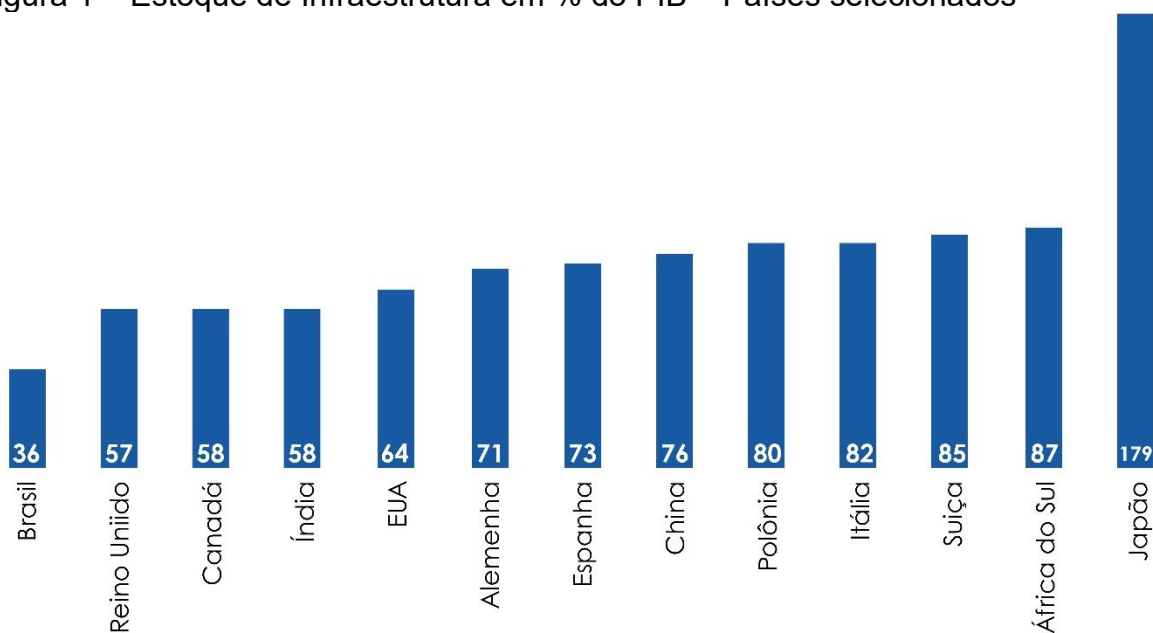
Outro ponto a se destacar que se difere de obras de infraestruturas de transportes e obras de edificações comuns está na forma jurídica de contratação. Obras de infraestrutura, em sua maioria, são construídas para sociedade, onde o principal responsável pela promoção das mesmas é o governo. Por isso possuem diferentes sistemas de contrato, como, por exemplo, licitações públicas, parcerias público-privadas (PPP) e contratações diretas (Costin, 2018).

Na etapa de execução, essas construções mais horizontais são caracterizadas pelo uso de equipamentos, máquinas e instrumentos pesados, bem como o excesso desses. Já nas obras verticais, o trabalho é, em grande maioria, manual.

Embasado a tudo relatado, verifica-se a importância da infraestrutura de transporte em diferentes vertentes de um país, pois investir em infraestrutura de transporte é mais do que apenas construir estradas ou pontes, é investir na competitividade, no desenvolvimento econômico e na coesão social de uma nação (Atkinson, 2017).

A infraestrutura de transporte é um dos principais motores do crescimento econômico. Sem ela, as economias ficam isoladas, incapazes de se conectar de forma eficiente (Krugman, 1991). A Figura 1 exibe essa relação entre desenvolvimento econômico e qualidade da infraestrutura.

Figura 1 – Estoque de Infraestrutura em % do PIB – Países selecionados



Fonte: ABDIB e Inter. B.

É possível ver na Figura 1 que países como, por exemplo, Japão, África do Sul e Suíça, apresentam índices de porcentagem do PIB maiores e isso pode ser consequência, possivelmente, de apresentarem uma qualidade considerável no sistema de infraestrutura, não só de transporte, mas de outros subsistemas. Como já relatado, a boa qualidade desse sistema é um dos requisitos para o crescimento de um país em um mundo já tão competitivo.

Segundo Joshi (2010), para atingir esse crescimento econômico e essa estimulação de investimentos na infraestrutura baseados em projetos de viabilidade econômica, os quais são coordenados através de boas práticas comerciais. Ou seja, que para uma nação crescer, economicamente falando, é preciso que essas construções relacionadas a infraestrutura sejam planejadas como negócios viáveis e transparentes.

Para Costin (2018):

Investir em infraestrutura de transporte é essencial para o crescimento econômico sustentável. As infraestruturas não são apenas um meio de melhorar o comércio e a mobilidade, mas também uma forma de reduzir desigualdades e promover o desenvolvimento social.

A literatura, tanto nacional quanto internacional, destaca que, além dos efeitos diretos sobre a economia e o emprego, os investimentos em infraestrutura geram significativas externalidades positivas. De acordo com Calderón, Moral-Benito e Servén (2014), esses investimentos têm um impacto mais expressivo no crescimento econômico do que outras formas de investimento, devido aos benefícios que proporcionam para toda a economia.

O Fórum Econômico Mundial publica anualmente uma série de relatórios que examinam sucintamente aspectos relacionados ao desenvolvimento econômico. Esses aspectos são fracionados em 12 pilares e o pilar 2 representa o desenvolvimento da infraestrutura que compõem o desenvolvimento e competitividade econômica de uma nação. (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

A Figura 2 ilustra essa correlação, apresentando os dez melhores países no índice de competitividade global e os dez melhores países quando relacionado à qualidade da infraestrutura.

Figura 2 – Correlação entre Competitividade econômica e desenvolvimento no setor da infraestrutura

(a) Competitividade econômica

Posição	Países	Pontuação	
01	Suíça	100.00	↗ 1
02	Singapura	99.44	↘ 1
03	Hong Kong	99.22	↗ 2
04	Dinamarca	97.51	↘ 1
05	Estados Unidos	96.09	↗ 2
06	Taiwan	93.71	↗ 2
07	Irlanda	91.31	↘ 3
08	Suécia	90.20	↘ 2
09	Qatar	89.93	↗ 2
10	Países Baixos	89.75	↘ 1

(b) Desenvolvimento no setor da infraestrutura

Posição	Países	Pontuação	
01	Suíça	94.76	-
02	Dinamarca	88.35	-
03	Suécia	85.96	-
04	Finlândia	85.02	↗ 2
05	Canadá	81.37	↗ 11
06	Singapura	81.03	↘ 2
07	Hong Kong	80.74	↗ 2
08	Noruega	80.59	↘ 3
09	Países Baixos	80.45	↘ 1
10	Taiwan	79.08	-

Fonte: World Competitiveness Center, 2025.

Observa-se que dentre os 10 primeiros de competitividade econômica, apenas Estados Unidos, Irlanda e Qatar não se apresentam no ranking de desenvolvimento no setor da infraestrutura, embasando a teoria que existe na relação infraestrutura e economia.

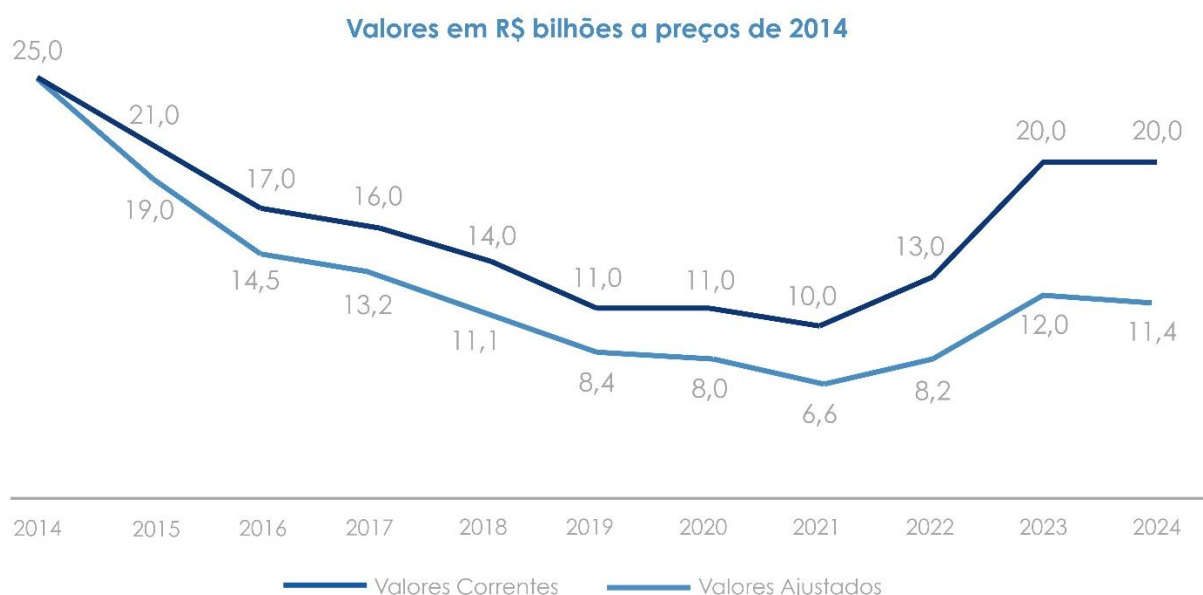
3.1.2 Cenário Nacional

No panorama brasileiro, entre os órgãos superiores, o Ministério dos Transportes deteve o maior orçamento de investimento com cerca de R\$14 bilhões, o que representou 18% da dotação total e, aproximadamente, 78% desse investimento foi destinado ao setor rodoviário (CNI, 2025). Essa informação contribui para entender

que o Brasil continua priorizando rodovias como principal meio de transporte, e o governo federal mostra isso ao investir grande parte do orçamento em infraestrutura rodoviária, por meio do Ministério dos Transportes.

Porém, em outras análises feitas pelo DNIT, no quesito evolução do orçamento autorizado pelo mesmo entre os anos de 2014 e 2024, destacou as grandes oscilações e uma queda expressiva entre os anos de 2014 e 2021. É como mostra a Figura 3, que em valores correntes, o orçamento caiu de R\$25 bilhões para R\$ 10 bilhões em um intervalo de 7 anos.

Figura 3 - Evolução do Orçamento Autorizado (2014 a 2024)



Fonte: DNIT/Diretoria de Planejamento e Pesquisa (DPP)/Coordenação Geral de Planejamento (CGPLAN).

Os valores ajustados, representados no azul mais claro, correspondem aos valores ajustados conforme a inflação comparada ao ano de 2014.

É possível observar que em 2023, houve uma recuperação considerável, no entanto, os valores ajustados mostram que, no ano seguinte, o orçamento real ainda representa apenas 45,6% do valor do ano comparativo de 2014, notando-se uma perda acumulada ao longo da série histórica analisada. É importante frisar que 2014 foi um ano em que o Brasil esteve em evidência no cenário internacional, o que ajudou a impulsionar os investimentos naquele período. No entanto, esse fator pontual não justifica a expressiva redução nos aportes nos anos seguintes, revelando uma falta de continuidade nas políticas de investimento em infraestrutura.











Quando analisada a malha rodoviária do país, como forma de impulsar os investimentos nesse setor, o sucesso das concessões permanece em evidência. De acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2023, 66,1% das rodovias concedidas foram avaliadas como em bom ou ótimo estado geral, enquanto apenas 34,4% das rodovias públicas federais alcançaram a mesma classificação. Esses dados evidenciam que, mesmo com oscilações ao longo dos anos, as rodovias sob gestão privada tendem a manter um padrão superior de conservação e desempenho, (CNT, 2023).

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI), há uma série de oportunidades para aumentar essa participação privada em infraestruturas, entre elas, encontramos iniciativas como:

- (a) A promoção da privatização ou concessão de empreendimentos em infraestrutura;
- (b) Aperfeiçoamento das normas e procedimentos de privatização e concessão;
- (c) Viabilização de novas concessões e PPPs municipais para a infraestrutura urbana.

Para aumentar a eficiência dos diferentes modais e adequar sua integração é necessário investir em duplicação, adequação, pavimentação, sinalização, segurança, restauração e conservação da rede viária. A Figura 4 mostra o ranking de desenvolvimento no setor da infraestrutura.

Figura 4 – Ranking de desenvolvimento no setor da infraestrutura

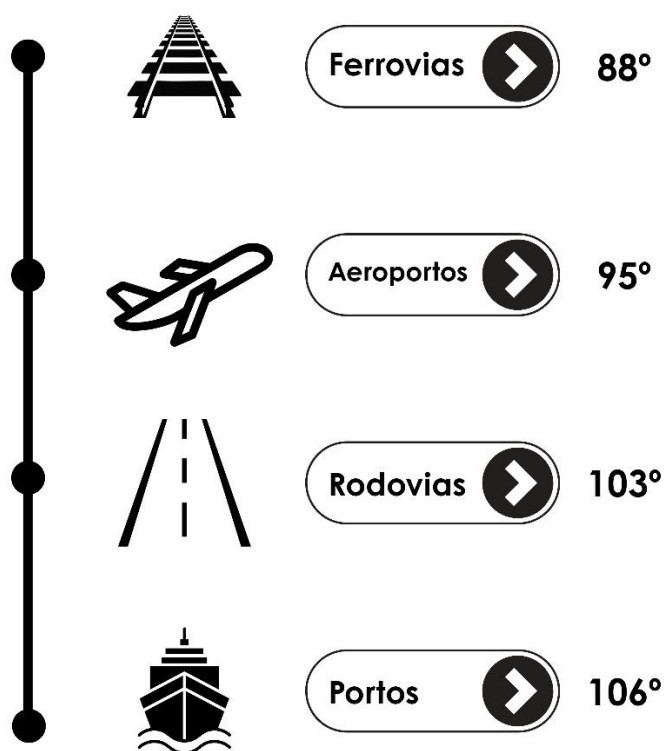
Posição	Países		Pontuação	
50	Eslováquia		38.27	-
51	Índia		36.38	↗ 2
52	Jordânia		34.45	↗ 3
53	Bulgária		33.37	↗ 6
54	Argentina		32.23	↗ 2
55	Turquia		31.30	↘ 8
56	Colômbia		30.97	↘ 2
57	Indonésia		30.18	↘ 5
58	Brasil		29.75	-
59	Botswana		28.27	↘ 2

Fonte: World Competitiveness Center, 2025.

Observando a posição do Brasil, em 58º lugar, fica clara a necessidade de um investimento nesse setor, para que atinja um nível almejado por países emergentes.

Para elevar a eficiência dos diferentes modais de transporte e adequar sua integração, a CNI (2018) aponta a necessidade de investimentos em duplicação, adequação, pavimentação, restauração e conservação da malha rodoviária. Adicionalmente, ressalta-se a importância de aprimorar os serviços de sinalização, controle de peso e velocidade nas rodovias, e o aumento da velocidade dos trens em circulação nas ferrovias. A Figura 5 ilustra, em um ranking mundial de 137 países, a posição do Brasil em quatro componentes cruciais de infraestrutura.

Figura 5 – Posição do Brasil nos componentes de infraestrutura



Fonte: CNI, 2018.

A análise dos dados apresentados reitera a urgência de o Brasil investir no setor de infraestrutura, com vistas a alcançar o nível de competitividade almejado por outras economias emergentes. O país demonstra uma colocação desfavorável no ranking global, o que sugere um cenário de investimentos insuficientes e pode comprometer o desenvolvimento do setor industrial.

Além do baixo investimento público, a manutenção dessa infraestrutura, vem sendo um problema não só nacional, como mundial. Por exemplo, os Estados Unidos,

57% do gasto total em infraestrutura em 2014 foi destinado a operação, planejamento e manutenção de infraestrutura existente (Parlikad, 2016).

Isso mostra que um dos principais desafios enfrentados nesse setor da infraestrutura passam não só pela concepção de novas obras, mas também na manutenção preventiva e até mesmo corretivas (ampliação da capacidade) dessas infraestruturas, o que torna necessário a conexão entre projetos e a existência de um pré-execução de tarefas e processos.

Obras de infraestrutura, pela sua natureza complexa, exigem o atendimento a múltiplos requisitos e a contemplação de diversas disciplinas de engenharia, conforme apontado por autores que tratam da natureza multidisciplinar e da alta complexidade inerente a grandes projetos (Clough; Sears, 1994). A compatibilização eficiente desses múltiplos projetos é um desafio central para garantir que todos os requisitos impostos sejam respeitados na fase de concepção.

Nesse cenário, o gerenciamento, de qualquer que seja a obra (rodoviária, ferroviária ou aeroportuária), passa a ter um papel fundamental para que obras de infraestrutura cumpram sua função de forma eficiente e sustentável. Mais do que coordenar prazos e custos, a gestão atua como um elo entre as diversas áreas envolvidas, garantindo que projetos distintos, como, por exemplo, o projeto geométrico, o de drenagem ou o de sinalização de certa rodovia, conversem entre si e atendam aos requisitos previamente estabelecidos.

3.2 Planejamento de Obras Rodoviárias

Este tópico apresenta o arcabouço conceitual e operacional de projeto e planejamento da engenharia rodoviária.

3.2.1 Complexidade e Natureza dos Empreendimentos Rodoviários

Um projeto de uma rodovia não envolve apenas a definição de prazos e custos, mas também a análise de demandas de tráfego, estudos ambientais, logística de execução e a compatibilização entre os diversos projetos envolvidos, como geométrico, de drenagem, de pavimentação e de sinalização (DNIT, 2020). Ou seja, visto a complexidade e quantidade de análises de diferentes projetos que contemplam

o projeto de uma rodovia é necessário, de fato, um planejamento dessas obras e se torna uma etapa fundamental para garantir que os empreendimentos atendam aos requisitos técnicos, econômicos e ambientais estabelecidos.

Segundo DER/PR, em seu Manual de Gerenciamento de Obras Rodoviárias, publicado em 2024, os principais tipos de obras rodoviárias podem estar ligados a construção de rodovias, restauração de rodovias e melhoramentos em rodovias, os que englobam duplicações, construção de faixas adicionais, melhorias na segurança, melhorias em interseções.

Para viabilizar a execução de obras rodoviárias, os Órgãos Rodoviários competentes, em conformidade com a Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021 (Nova Lei de Licitações e Contratos), promovem licitações públicas (Brasil, 2021). O objetivo é selecionar empresas qualificadas, utilizando as modalidades mais usuais de concorrência: preço unitário, preço global e contratação integrada (Turn-Key), além da modalidade de Concorrência Integrada prevista na própria Lei nº 14.133.

Uma vez formalizada a relação contratual entre a empresa executora e o órgão rodoviário, a conexão harmônica entre os diversos elementos do projeto torna-se essencial. Nesse contexto pós-contratação, o planejamento estruturado assume um papel de importância crucial, servindo como a espinha dorsal que alinha os projetos técnicos, o cronograma estabelecido e as propostas orçamentárias. Somente com essa estrutura sólida é possível garantir a coesão e o alinhamento total com as exigências contratuais e assegurar o andamento robusto e eficiente do empreendimento.

3.2.2 Requisitos Formais e a Contribuição do Planejamento

Um planejamento bem estruturado contribui para a redução de retrabalhos e atrasos, promove maior segurança no canteiro de obras e otimiza a aplicação dos recursos disponíveis (Mattos, 2010; Mello, 2012). Além disso, possibilita a antecipação de riscos e a adoção de medidas de mitigação, aumentando a confiabilidade do empreendimento.

O início formal de uma obra rodoviária, conforme as normas do DER/PR, exige que a empresa contratada elabore um Plano de Trabalhos (PT) em um prazo de quinze (15) dias corridos após a Ordem de Serviço. A complexidade do PT se

evidencia pela obrigatoriedade de incorporar dados externos, como registros climáticos e hidrológicos, e de receber informações claras sobre o status das desapropriações e a situação das interferências com infraestruturas públicas.

O Plano de Trabalhos deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Plano de Ataque;
- b) Mapa de Localização;
- c) Localização das Instalações;
- d) Descrição de Execução dos Serviços;
- e) Quadros de Quantidades;
- f) Cronograma Físico;
- g) Dimensionamento das Equipes de Produção;
- h) Aspectos Climáticos;
- i) Cronograma Físico/Financeiro;
- j) Plano de Qualidade e Controle Interno da Executante;
- k) Plano de Segurança e Sinalização Provisória;
- l) Administração da Obra;
- m) Anotação de Responsabilidade Técnica e Licenças Ambientais.

A notória abrangência e o volume de informações requeridas no PT demonstram o aspecto global do projeto e, mais importante, revelam a alta suscetibilidade a erros decorrente dos processos de compatibilização e da falta de ligação assertiva entre dados, que frequentemente são tratados de forma manual. Tal cenário reforça a urgência de métodos que garantam a análise coesa para as situações de canteiro.

Nos últimos anos, ferramentas de gestão modernas, como a metodologia BIM, já mencionada, vêm sendo aplicadas também no setor rodoviário. O BIM permite a integração de diferentes disciplinas em um modelo digital único, favorecendo a visualização, a compatibilização e a análise de cenários alternativos (Eastman et al., 2011; Succar, 2009). Essa abordagem contribui para uma gestão mais colaborativa e para o aumento da previsibilidade em relação a prazos, custo, interferências e sequenciamentos.

Portanto, o planejamento deve ser entendido como um processo contínuo, que acompanha todo o ciclo de vida da infraestrutura, desde a concepção e execução até a fase de operação e manutenção, aspectos cada vez mais relevantes diante da

crescente demanda por eficiência e sustentabilidade na gestão da malha rodoviária (Parlikad; McArthur, 2016). Aliado a isso, a tecnologia BIM atua como facilitadora desse processo, entrelaçando todo o ciclo de vida da infraestrutura e concentrando informações valiosas em um único modelo.

3.3 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Este tópico propõe uma abordagem aprofundada sobre a metodologia BIM.

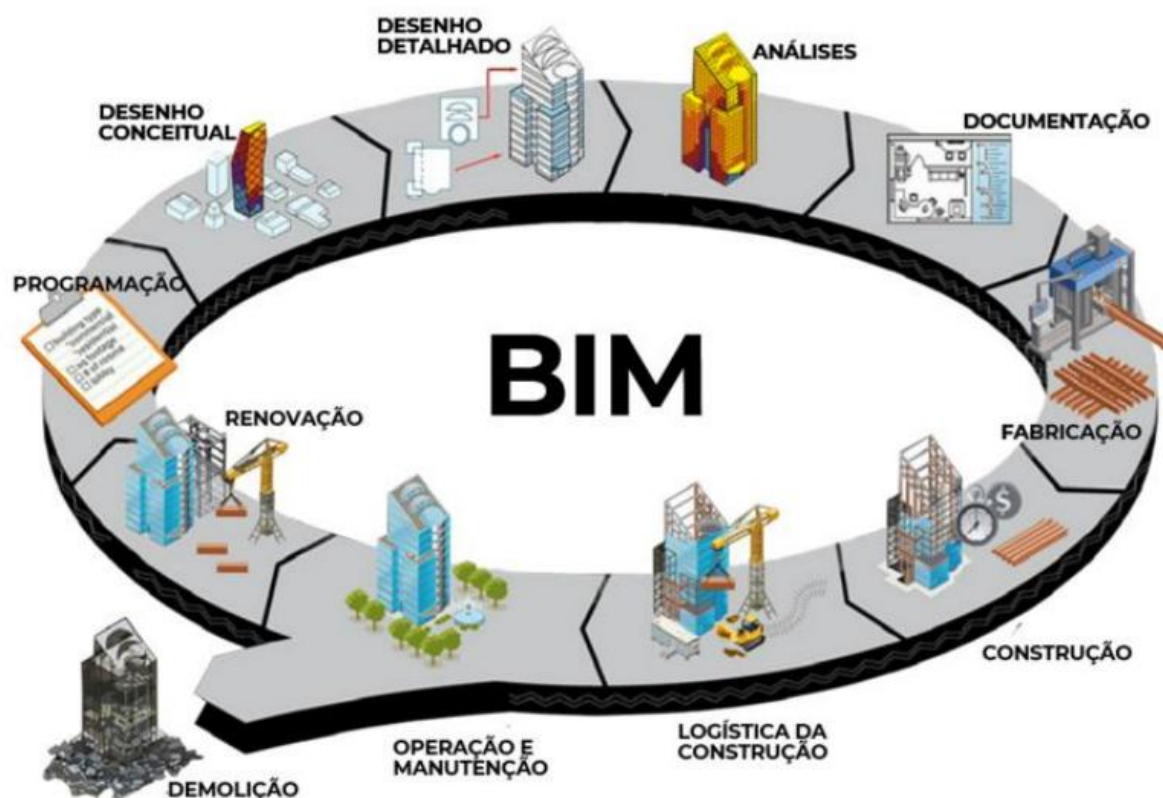
3.3.1 Aspectos conceituais e estruturais do BIM

Segundo Eastman *et al.* (2014), a metodologia (BIM), traduzida como Modelagem da Informação da Construção, constitui um conceito que envolve o uso articulado de políticas, processos e tecnologias voltados à gestão integrada do ciclo de vida de edificações e infraestruturas, desde a concepção do projeto até a operação e manutenção do ativo. O BIM, ao se basear em modelos digitais tridimensionais orientados a objetos virtuais, possibilita não apenas a elaboração precisa do projeto, mas também a simulação do desempenho da construção, a análise de interferências e o gerenciamento centralizado de informações e dados técnicos de maneira colaborativa.

A modelagem da informação da construção permite a realização de todo o projeto em um modelo virtual, denominado VDC (*Virtual Design and Construction*), o que garante a tomada de decisões críticas de forma antecipada. Evitando surpresas durante a fase de construção, momento no qual uma alteração pode gerar grandes prejuízos temporais e financeiros.

Ao criar o modelo virtual do projeto antecipadamente à fase de construção, torna-se possível não apenas incorporar grandes volumes de informação diretamente no modelo 3D, mas também utilizá-lo em todas as fases do ciclo de vida do ativo. Este procedimento é crucial para prever e corrigir proativamente os erros de projeto e os conflitos de compatibilização antes que se manifestem na execução física. A Figura 6 enfatiza justamente esta lógica, ao destacar claramente a existência e a relevância de uma etapa de programação (planejamento) no fluxo de trabalho, garantindo um processo mais coerente e com margens de erro minimizadas.

Figura 6 – Ciclo de Vida do BIM



Fonte: CRASA Infraestrutura (2020).

É possível perceber a partir da Figura 6 que a interoperabilidade é fundamental para a metodologia, que reside na necessidade de transferência fluida de dados entre diferentes aplicações e sistemas. A interoperabilidade assegura que múltiplos especialistas e softwares possam contribuir para o trabalho em questão (EASTMAN *et al.*, 2014), otimizando o fluxo de trabalho e, crucialmente, eliminando a replicação desnecessária de dados de entrada gerados em etapas anteriores do projeto.

Para possibilitar a comunicação entre diferentes *softwares* utilizados no processo BIM, são empregados diversos formatos de intercâmbio de dados. Entre eles, destaca-se o *Industry Foundation Classes* (IFC), reconhecido como o principal formato aberto e padronizado para representação de modelos da construção. Esse padrão, adotado por governos e instituições em escala global, foi desenvolvido com o propósito de abranger todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento, desde a concepção e análise de viabilidade, passando pelo planejamento, projeto e execução, até as fases de operação e manutenção (Succar, 2009).

Mesmo diante das limitações existentes, o formato IFC tem sido amplamente adotado como referência para a troca de informações em ambientes BIM, tanto no

setor público quanto no privado. Trata-se de um padrão em constante processo de atualização, com novas versões publicadas periodicamente e disponibilizadas às empresas desenvolvedoras de softwares, que implementam tradutores certificados conforme as novas extensões. Assim, espera-se que as restrições atuais sejam progressivamente superadas, à medida que o formato evolui e novas versões são aplicadas. A ideia é que, com o investimento do setor público, o desenvolvimento dessas ferramentas alcance índices mais elevados de aprimoramento e consolidação tecnológica (Costin, 2018).

Existem muitas tarefas diferentes que podem se beneficiar da incorporação do BIM, esses benefícios são documentados como Usos BIM (ou BIM Uses), e existe um guia que inclui vinte e cinco usos para consideração em um projeto (PENN STATE UNIVERSITY, 2010). A Figura 7 mostra esse guia.

Figura 7 - Usos BIM ao Longo do Ciclo de Vida de uma Construção (organizado em ordem cronológica: do planejamento à operação)

PLANEJAR	PROJETAR	CONSTRUIR	OPERAR
Modelagem das Condições Existentes			
Estimativa de Custos			
Planejamento de Fases			
Programação			
Análise do Local			
Revisões de Projeto			
Autoria de Projeto			
Análise Energética			
Análise Estrutural			
Análise de Iluminação			
Análise Mecânica			
Outras Análises de Eng.			
Avaliação LEED			
Validação de Normas			
Coordenação 3D			
Planejamento da Utilização do Canteiro			
Projeto de Sistemas Construtivos			
Fabricação Digital			
Controle e Planejamento 3D			
Modelo de Registro (As-Built)			
Cronograma de Manutenção			
Análise dos Sistemas Prediais			
Gestão de Ativos			
Gestão de Espaço/Rastreamento			
Planejamento de Desastres			

Usos Primários do BIM
 Usos Secundários do BIM

Fonte: Adaptado de PennState University (2010).

É possível perceber que tais usos são organizados em uma sequência lógica, abrangendo todo o Ciclo de Vida do Ativo, iniciando-se nas fases de planejamento e concepção, estendendo-se pelo projeto e execução, e culminando na operação e manutenção. Essa abordagem cronológica garante que o potencial máximo do BIM

seja explorado em cada etapa, desde a análise de viabilidade inicial até a gestão do ativo construído, otimizando processos e resultados em todo o empreendimento.

3.3.2 Estratégia BIM BR

De acordo com Justi (2020), a metodologia BIM inicia a sua introdução no Brasil no início dos anos 2000, ainda sem regras e padronizações específicas para sua implementação nacionalmente. Por outro lado, internacionalmente a metodologia já estava sendo difundida por se tratar de método que apresentava grande potencial. Mesmo com a grande atenção política, a metodologia avançou para algumas áreas da engenharia civil, principalmente na construção civil.

A trajetória de implementação do BIM no país teve seu início político em 2018, culminando na criação da Estratégia BIM BR e na promulgação do Decreto nº 9.377 (Brasil, 2020). Este ato normativo foi fundamental para formalizar a maturidade da tecnologia e estabelecer as primeiras regras para o debate e o uso do BIM no setor público. O ano de 2019 representou um marco prático, marcado pela consolidação de iniciativas como a Plataforma BIM BR, a qual emergiu como a maior biblioteca pública da metodologia no cenário global, demonstrando o firme propósito do Brasil em alavancar a adoção e o conhecimento sobre essa tecnologia.

A Estratégia BIM BR foi estruturada em três etapas de implementação gradual do BIM no contexto nacional (Brasil, 2020). A primeira fase, iniciada em 2021, prevê o uso obrigatório do BIM na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia nas contratações públicas, priorizando a criação de modelos informacionais integrados e a compatibilização entre disciplinas técnicas. A segunda etapa, em vigor a partir de 2024, amplia o escopo de aplicação do BIM para a execução de obras públicas, permitindo o acompanhamento digital do canteiro, bem como o controle de prazos e custos de forma mais eficiente. Já a terceira fase, programada para 2028, busca a integração plena da metodologia BIM em todas as etapas do ciclo de vida dos empreendimentos públicos, abrangendo desde o planejamento e projeto até a operação e manutenção, com o intuito de consolidar a transformação digital da construção civil brasileira (BRASIL, 2020).

No âmbito da infraestrutura rodoviária federal, o compromisso com a modernização tecnológica foi reforçado pela Agência Nacional de Transportes

Terrestres (ANTT) em 2025, ao tornar obrigatória a utilização do BIM em todos os projetos, obras e serviços de engenharia nas concessões. A Decisão Surod nº 737 (2025) estabeleceu diretrizes para a elaboração do Plano de Desenvolvimento BIM (PD-BIM), um mecanismo que integra projetos em ambientes virtuais para aumentar a precisão no planejamento e execução. Tal medida posiciona as concessões rodoviárias brasileiras em sintonia com os padrões globais, garantindo maior transparência, segurança e qualidade aos usuários (ANTT, 2025).

A decisão da ANTT detalha um cronograma dividido em etapas para garantir a implementação gradual e efetiva do BIM. Entre os principais compromissos estão:

- (a) Desenvolvimento do Plano de Execução BIM (BEP) em até 6 meses;
- (b) Definição de requisitos técnicos conforme padrões internacionais (ISO 19650) em até 12 meses;
- (c) Criação de um Ambiente Comum de Dados (CDE) para gerenciamento das informações em até 18 meses;
- (d) Utilização do BIM nas fases de projeto, execução e operação das rodovias em prazos que variam de 18 a 72 meses, dependendo da complexidade da etapa.

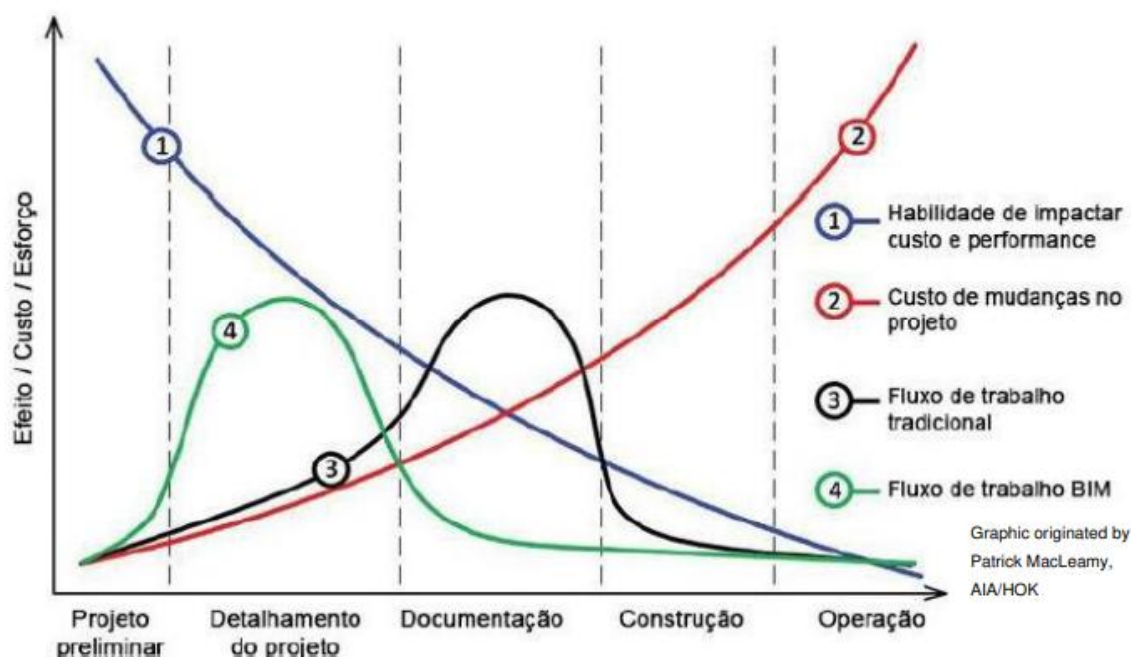
Essa determinação de implementação gradual e efetiva do BIM dada pela Agência mostra o avanço exponencial da ferramenta, visto a versatilidade e qualidade, e o quanto ela ganhou visibilidade pública até para projetos rodoviários federais.

3.3.3 BIM aplicado a projeto e planejamento de construção rodoviária

No contexto atual da modelagem de projetos, a plataforma BIM se distingue por ir além do modelo tridimensional (3D) originário da tecnologia CAD. O BIM atua como um sistema que armazena e expande todas as informações e propriedades do projeto. O modelo abrange, de forma integrada, dados cruciais para a gestão e execução, tais como desenhos e plantas, informações de produtos, simulações, cronogramas, prazos e o sequenciamento de operações, entre outras dimensões relevantes (Manziona, 2013).

A eficácia do BIM na otimização e planejamento de custos e recursos é notoriamente ilustrada pela Curva de Carga de Trabalho de Patrick MacLeamy (Macleamy, 2004), conforme detalhado na Figura 8.

Figura 8 – Curva de esforço (Patrick Macleamy curve)



Fonte: Macleamy (2004).

Este modelo demonstra que a tecnologia BIM permite a antecipação da carga de trabalho para as fases iniciais do projeto. Ao viabilizar que modificações, aprimoramentos e a identificação de falhas ocorram nas etapas preliminares, o BIM reduz drasticamente despesas e retrabalhos nas fases posteriores que são rotineiras em um projeto rodoviário.

Antes da adoção da metodologia BIM na infraestrutura de transportes, o setor já utilizava ferramentas e métodos computacionais desenvolvidos para a entrega de projetos digitais. A aplicação do BIM neste campo, inclusive, remonta ao desenvolvimento de um sistema eletrônico para microcomputadores voltado ao gerenciamento de pontes. Tradicionalmente, o fluxo de trabalho dependia da modelagem e representação gráfica em papel, o advento do fluxo de trabalho eletrônico e computacional, contudo, pavimentou o caminho para o surgimento do *Bridge Information Modelling* (BrIM). O BrIM é considerado uma extensão do BIM, porém com foco exclusivo em pontes (Costin, 2018).

A distinção entre os modelos BrIM e BIM é necessária devido às características técnicas específicas das pontes rodoviárias. Por serem estruturas singulares inseridas no contexto de um projeto rodoviário, elas possuem requisitos específicos para projeto, construção e manutenção, como o alinhamento dos eixos de referência e as

curvaturas das vigas. Essas particularidades demandam uma concepção projetual e tratamento diferenciado das peças estruturais, sendo o maior emprego de recursos concentrado na fase de Operação e Manutenção (O & M) das pontes. Isso se contrapõe às edificações, onde o enfoque dos recursos durante o ciclo de vida recai, geralmente, sobre as etapas que antecedem a fase de operação (COSTIN, 2018).

O desenvolvimento de um projeto rodoviário exige a integração de diversas tecnologias, sendo o Modelo Digital do Terreno (MDT) a base para análises de declividade e traçado. Essas etapas iniciais são cruciais para a definição do Projeto Geométrico (Paixão, 2024).

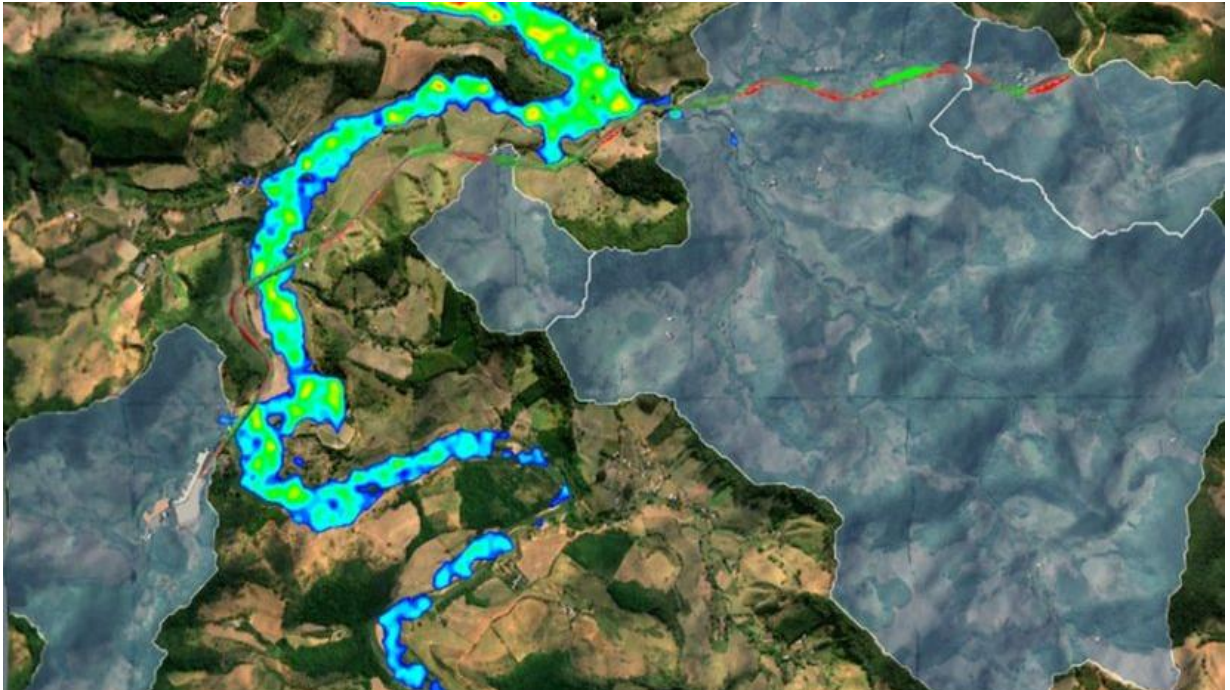
Paixão (2024) ainda fala que MDT subsidia o Estudo de Alternativas e a definição do traçado (com auxílio de ferramentas como o Autodesk Infraworks), posteriormente a essa etapa, o Estudo Hidrológico é realizado para delimitar as bacias de contribuição e dimensionar os dispositivos no Autodesk Civil 3D. A Figura 9 mostra o Estudo de Alternativas e o Estudo de Drenagem utilizando o Autodesk Infraworks.

Figura 9 – Imagem da interface do Autodesk Infraworks

(a) Estudo de Alternativas



(b) Estudo de Drenagem



Fonte: PAIXÃO (2024).

Outras possibilidades que softwares BIM proporcionam é Planejamento 4D, onde cronogramas são vinculados ao modelo federado no Autodesk Navisworks. Essa integração permite a simulação da execução e a crucial análise de interferências entre as estruturas e Orçamento 5D, onde *softwares* como, por exemplo, o AltoQI Visus integram os arquivos IFC de cada disciplina com a planilha de custos. Essa associação paramétrica e automatizada garante que o orçamento seja mais rastreável e confiável, associando cada item de custo a um elemento modelado (Paixão, 2024).

Isso mostra a gama, versatilidade e interação de diferentes disciplinas em um único modelo federado de obra rodoviária proporcionadas pela metodologia BIM.

4 METODOLOGIA

Para garantir a coerência e a rigidez científica dos procedimentos adotados, todas as etapas do trabalho foram previamente planejadas e sequenciadas. Esta fase metodológica, que incluiu a conversão de dados, a modelagem geométrica, a simulação 4D e a análise comparativa, foi conduzida conforme um fluxo de trabalho rigorosamente definido. A clareza dessa sequência foi fundamental para que cada atividade fosse realizada de forma interligada e dependente da fase anterior, assegurando que a modelagem final e os resultados fossem precisos e confiáveis. O detalhamento do fluxograma que guiou a execução deste trabalho está apresentado a seguir na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Primeiramente foram mapeados projetos que pudessem ser aplicados ao estudo. Após a seleção do projeto mais adequado, procedeu-se à análise da dimensionalidade passível de modelagem, buscando equilibrar a escolha de um trecho reduzido de rodovia, que facilitasse o detalhamento, com a presença de elementos suficientes para possibilitar uma simulação completa e representativa do sistema viário. Em seguida foram definidos os softwares que auxiliariam na concepção do trabalho e foram exploradas suas funcionalidades.

Após isso, a metodologia envolveu a modelagem de um trecho de rodovia contemplando todas as camadas de pavimentação, canteiros centrais e marginais e sistemas de drenagem, utilizando o *software* Autodesk Civil 3D, que adota a metodologia BIM. Integrada a esse trecho, foi desenvolvida a modelagem de uma ponte no *software* Autodesk Revit, devidamente coordenada para garantir o alinhamento com a rodovia. A partir dessas modelagens, os arquivos foram exportados em formato IFC para o Autodesk Navisworks Manage, ambiente no qual se deu o início efetivo da etapa de planejamento e análise do estudo.

4.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho consiste em um projeto de infraestrutura rodoviária, originalmente em formato CAD, referente à restauração/duplicação (aumento de capacidade e plataforma) de uma rodovia estadual localizada no estado do Ceará. A rodovia selecionada para a aplicação da metodologia BIM possui as seguintes características, detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características principais da Rodovia

Extensão (km)	Velocidade da via (km/h)	Largura da Faixa de Tráfego (m)	Largura dos Acostamentos (m)
33,94	80	3,30	1,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para garantir a viabilidade da modelagem e o nível de detalhamento requerido pelo estudo, foi essencial delimitar a extensão do projeto. Buscando o equilíbrio ideal entre a dimensionalidade passível de aplicação da metodologia e a profundidade da análise, optou-se por selecionar um trecho da rodovia com aproximadamente quatro

quilômetros (4 km) de extensão. Essa escolha permitiu a aplicação integral do fluxo de trabalho BIM, desde a modelagem até a simulação 4D, sem comprometer a qualidade do detalhamento.

O trecho selecionado foi subdividido em subtrechos, considerando que, na prática, a construção de rodovias geralmente ocorre por etapas parciais até a conclusão total da obra. Dessa forma, o planejamento da execução é realizado a partir de subtrechos, e a modelagem foi organizada seguindo essa mesma perspectiva, possibilitando uma representação mais realista do processo construtivo.

Considerando que o trecho selecionado possuía aproximadamente 4 km de extensão, definiu-se que ele seria subdividido em 8 (oito) subtrechos, cada um com cerca de 500 metros (25 estacas), tornando os subtrechos todos iguais em extensão. Essa subdivisão foi fundamental para determinar a localização exata da ponte dentro do projeto, garantindo o alinhamento correto entre os elementos estruturais e o traçado da rodovia. A Tabela 2 apresenta todos os subtrechos e os respectivos elementos inseridos em cada um deles.

Tabela 2 – Determinação dos Subtrechos

(a) Subtrechos 1, 2, 3 e 4

N	Subtrecho (estaqueamento)	Elementos
1	Início: EST. 1300 + 0,00 m Fim: EST. 1325 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais
2	Início: EST. 1325 + 0,00 m Fim: EST. 1350 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais
3	Início: EST. 1350 + 0,00 m Fim: EST. 1375 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais
4	Início: EST. 1375 + 0,00 m Fim: EST. 1400 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais

(b) Subtrechos 5, 6, 7 e 8

N	Subtrecho (estaqueamento)	Elementos
5	Início: EST. 1400 + 0,00 m Fim: EST. 1425 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais *OAE - Ponte
6	Início: EST. 1425 + 0,00 m Fim: EST. 1450 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais
7	Início: EST. 1450 + 0,00 m Fim: EST. 1475 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais
8	Início: EST. 14750 + 0,00 m Fim: EST. 1500 + 0,00 m	Todas as camadas da superestrutura Elementos de drenagem Sinalização horizontal Canteiros centrais e marginais

Autor: Elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 3 apresenta o novo estaqueamento para a modelagem com intuito mais organizacional.

Tabela 3 – Novo estaqueamento adotado

N	Início	Fim
1	EST. 000 + 0,00 m	EST. 025 + 0,00 m
2	EST. 025 + 0,00 m	EST. 050 + 0,00 m
3	EST. 050 + 0,00 m	EST. 075 + 0,00 m
4	EST. 075 + 0,00 m	EST. 100 + 0,00 m
5	EST. 100 + 0,00 m	EST. 125 + 0,00 m
6	EST. 125 + 0,00 m	EST. 150 + 0,00 m
7	EST. 150 + 0,00 m	EST. 175 + 0,00 m
8	EST. 175 + 0,00 m	EST. 200 + 0,00 m

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.2 Modelagem

Para viabilizar a modelagem BIM do trecho rodoviário e garantir o uso otimizado das ferramentas, foi estabelecida uma divisão clara dos elementos a serem desenvolvidos em cada *software*. O Quadro 1 apresenta o mapeamento completo dos componentes identificados no trecho selecionado, indicando, de forma sistemática, aqueles que foram modelados no Autodesk Civil 3D (elementos de infraestrutura linear) e os que foram desenvolvidos no Autodesk Revit (elementos de obras de arte especiais).

Quadro 1 – Elementos inseridos no trecho

Elemento	Software	Observações
Base	Civil 3D	*
Sub-base	Civil 3D	*
Imprimação	Civil 3D	*
Revestimento asfáltico	Civil 3D	-
Canteiros centrais e marginais	Civil 3D	-
Sistema de drenagem	Civil 3D	-
OAE - Ponte	Revit	** Início: EST. 1412 + 9,00 m Fim: EST. 1414 + 9,00 m
* Elementos inseridos pelo autor em razão de sua presença recorrente em projetos rodoviários, com o intuito de ampliar o número de componentes do objeto de estudo. ** Estaqueamento considerado todo o projeto, não somente o trecho escolhido.		

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a divisão dos componentes conforme o mapeamento definido, iniciou-se o processo de modelagem, partindo do Autodesk Civil 3D. Nesta fase, a geometria dos elementos da seção transversal rodoviária foi estabelecida.

Paralelamente, a modelagem da OAE foi realizada no Autodesk Revit, com o objetivo de criar uma representação geométrica dos elementos estruturais da ponte, uma vez que o projeto base não incluía essas informações. Por meio de ferramentas de extrusão, foram modelados os principais componentes da ponte, incluindo pilares,

vigas, tabuleiro, sapatas de fundação, dispositivos de apoio e guarda-corpos, garantindo que a estrutura estivesse adequadamente representada para posterior integração com o modelo da rodovia.

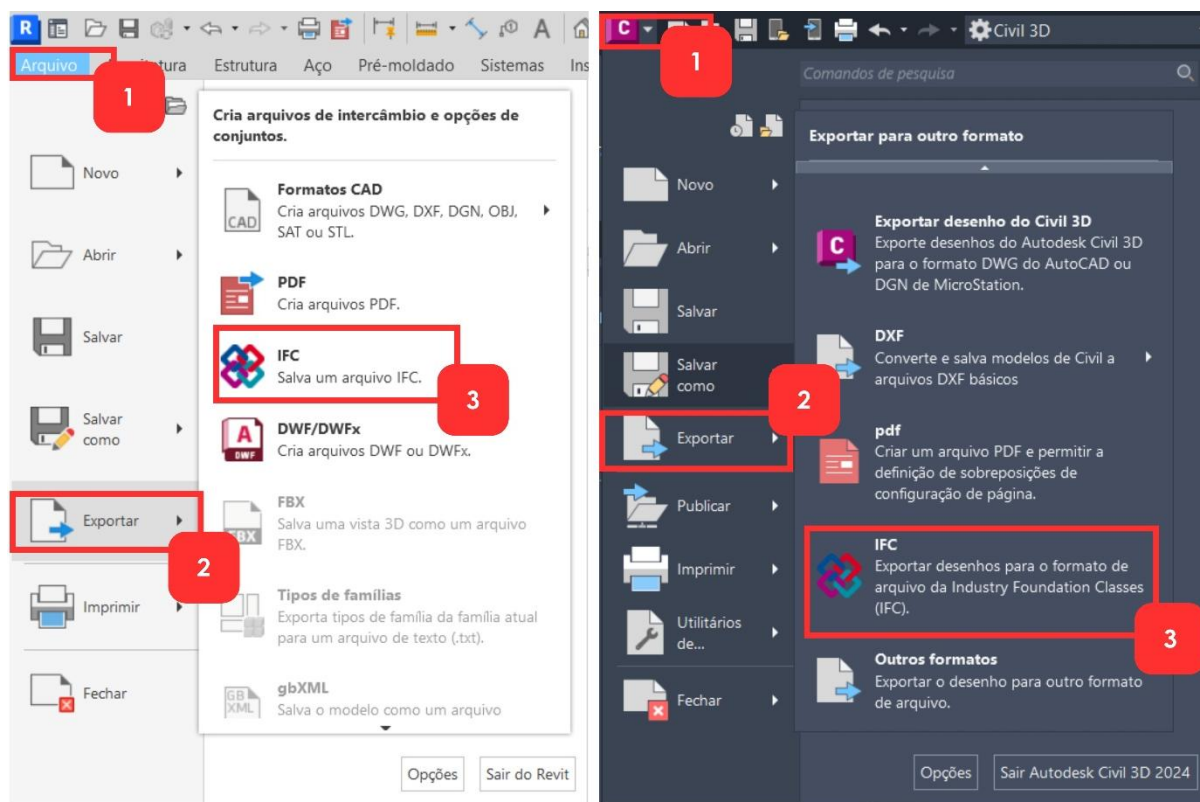
Para viabilizar a integração do modelo gerado no Autodesk Civil 3D com o Autodesk Navisworks Manage, foi necessário converter as entidades lineares em elementos tridimensionais. As linhas que representavam eixos, faixas de rolamento, canteiros e limites da rodovia foram transformadas em *Feature Lines* com elevações atribuídas, possibilitando a geração de uma geometria tridimensional coerente com o projeto. Em seguida, as superfícies e os elementos modelados foram exportados no formato IFC, assegurando a interoperabilidade entre os softwares e a preservação das propriedades geométricas e hierárquicas do modelo. Essa exportação permitiu que o Navisworks Manage reconhecesse corretamente os volumes e planos da rodovia, possibilitando a análise visual e o planejamento das etapas construtivas.

Já durante o processo de exportação dos arquivos para o *software* Autodesk Navisworks Manage, foi necessário adotar alguns cuidados específicos para garantir a correta integração entre os modelos. Antes mesmo do início da modelagem, definiu-se a importância de alinhar os dois projetos distintos (rodovia e ponte) de modo que compartilhassem o mesmo sistema de coordenadas e referência espacial.

Para assegurar esse alinhamento, adotou-se o sistema de coordenadas do modelo viário, desenvolvido no Autodesk Civil 3D, como referência principal. O eixo e a superfície da rodovia foram modelados e exportados no formato IFC, preservando as informações de georreferenciamento e elevação.

No Autodesk Revit, o arquivo IFC correspondente à rodovia foi importado para servir de base na modelagem da OAE. A partir dessa referência, os elementos estruturais da ponte foram posicionados de forma a garantir a compatibilidade geométrica e altimétrica com o eixo viário. Essa padronização assegurou a integração precisa dos modelos no Autodesk Navisworks Manage, permitindo a correta sobreposição espacial e possibilitando as análises de planejamento, detecção de interferências e compatibilização previstas neste estudo. A Figura 11 apresenta o processo de exportação dos arquivos no formato IFC dos softwares Autodesk Revit e Autodesk Civil 3D, respectivamente.

Figura 11 – Processo de importação dos arquivos no formato IFC

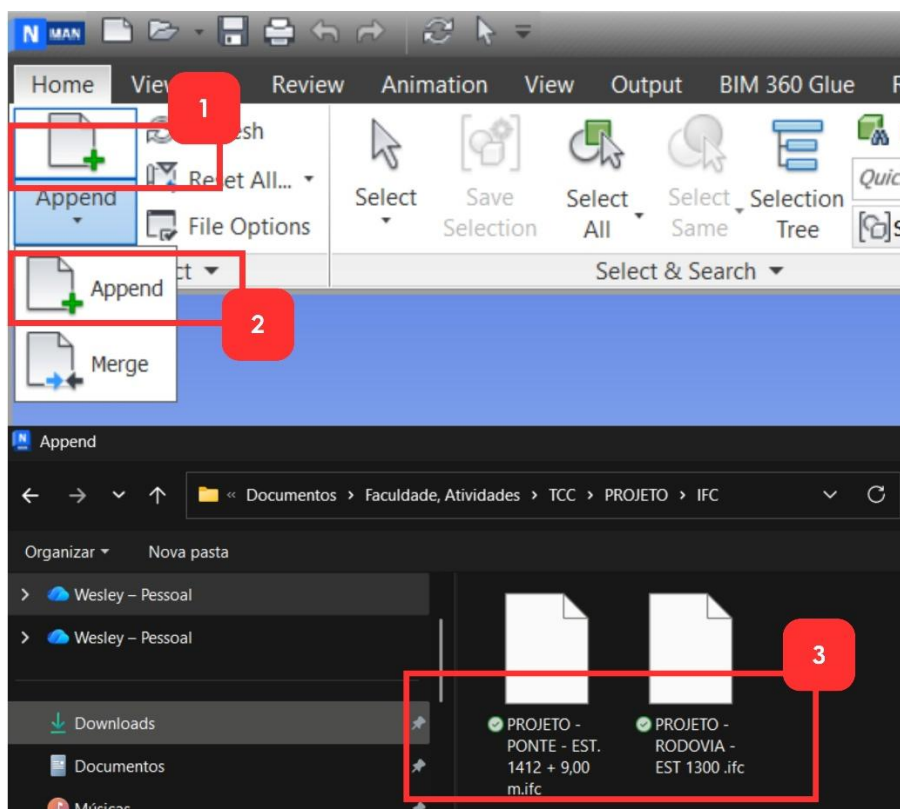


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.3 Simulação de processos e de tempo de obra

Para dar início às simulações 4D no Autodesk Navisworks Manage, a primeira etapa crucial foi o processo de integração de todos os modelos. Esta fase envolveu a unificação do modelo geométrico 3D (proveniente do Civil 3D e Revit) com o cronograma de execução da obra, estabelecendo, assim, a base de dados necessária para a associação entre tempo e objeto. O resultado da inserção e unificação desses modelos no ambiente do *software* é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Inserção dos arquivos no Autodesk Civil 3D

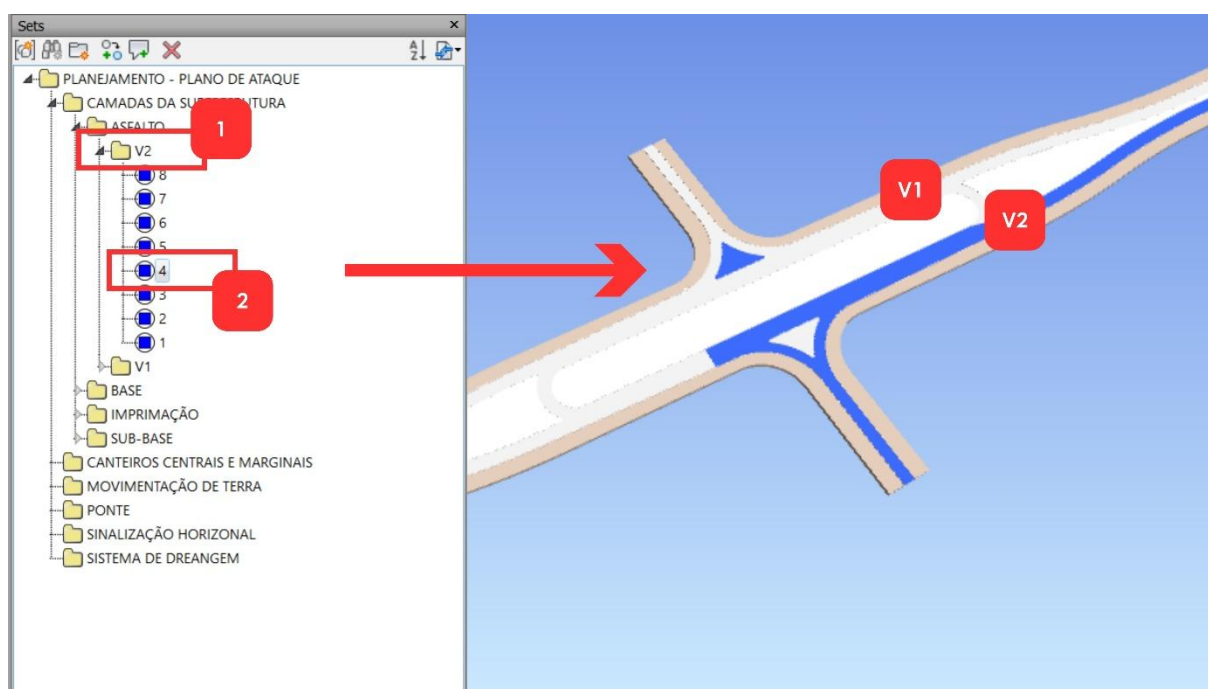


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para otimizar a visualização e garantir a rastreabilidade dos componentes durante a simulação 4D, foi imprescindível estabelecer uma estrutura de organização robusta dos elementos no ambiente do Autodesk Navisworks Manage. Com esse objetivo, foram empregadas as ferramentas *Selection Tree* e *Sets*. O uso dessas funcionalidades permitiu a categorização hierárquica do modelo, na qual pastas foram criadas para agrupar elementos por tipo (como pavimento, drenagem e OAE), enquanto a criação de Sets facilitou a seleção rápida e a aplicação de filtros em grupos específicos de componentes durante a análise.

A lógica de subdivisão da estrutura hierárquica acompanhou a estratégia de planejamento do projeto. Dentro das pastas de elementos, foram criadas subpastas que representam os trechos de execução da rodovia. A nomenclatura dessas subpastas (V1 e V2) corresponde à denominação adotada para o Plano de Ataque da obra, considerando que a rodovia em estudo será duplicada. Essa estrutura de organização detalhada dos modelos no Autodesk Navisworks Manage é apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Interface do Autodesk Navisworks Manage



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com toda a estrutura de pastas e subpastas devidamente organizada, contendo os elementos provenientes dos *softwares* de modelagem, foi necessário atribuir datas de início e término a cada componente do projeto. Esses valores não foram baseados em um cronograma real de execução, mas definidos exclusivamente para fins de pesquisa, com o propósito de demonstrar o potencial do Autodesk Navisworks Manage como ferramenta de apoio à simulação e ao planejamento de obras de infraestrutura.

A etapa subsequente a organização dos modelos foi a inserção dos dados temporais. A Tabela 5 resume os valores de duração estabelecidos e adotados para cada elemento construtivo do projeto, os quais foram determinados com base nas estimativas de produtividade para obras rodoviárias na região em estudo. Para a efetiva realização da Simulação 4D, o recurso *Timeliner* do Autodesk Navisworks Manage foi empregado. Esta ferramenta possibilitou a associação direta dos valores de início e término das atividades, provenientes da Tabela 4, com os objetos geométricos correspondentes no modelo 3D.

Tabela 4 – Cronograma inicial

(a) Subtrechos 1, 2, 3 e 4

N	Elementos	Data Inicial	Data final	Duração (dias)
1	TERRAPLANAGEM – TRECHO 1	01/03/2026	15/04/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 1	01/03/2026	15/04/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 1	01/03/2026	30/03/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 1	16/04/2026	19/05/2026	
	BASE – TRECHO 1	16/04/2026	19/05/2026	34
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 1	16/04/2026	19/05/2026	
	ASFALTO – TRECHO 1	16/04/2026	19/05/2026	
2	TERRAPLANAGEM – TRECHO 2	16/04/2026	30/05/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 2	16/04/2026	30/05/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 2	16/04/2026	15/05/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 2	31/05/2026	30/06/2026	
	BASE – TRECHO 2	31/05/2026	30/06/2026	30
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 2	31/05/2026	30/06/2026	
	ASFALTO – TRECHO 2	31/05/2026	30/06/2026	
3	TERRAPLANAGEM – TRECHO 3	01/05/2026	15/06/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 3	01/05/2026	15/06/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 3	01/05/2026	30/05/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 3	16/06/2026	16/07/2026	
	BASE – TRECHO 3	16/06/2026	16/07/2026	30
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 3	16/06/2026	16/07/2026	
	ASFALTO – TRECHO 3	16/06/2026	16/07/2026	
4	TERRAPLANAGEM – TRECHO 4	01/06/2026	15/07/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 4	01/06/2026	15/07/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 4	01/06/2026	30/06/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 4	16/07/2026	16/08/2026	
	BASE – TRECHO 4	16/07/2026	16/08/2026	30
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 4	16/07/2026	16/08/2026	
	ASFALTO – TRECHO 4	16/07/2026	16/08/2026	

(b) Subtrechos 5, 6, 7 e 8

N	Elementos	Data Inicial	Data final	Duração (Dias)
5	TERRAPLANAGEM – TRECHO 5	01/03/2026	15/05/2026	75
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 5	01/03/2026	15/05/2026	75
	CANTEIROS – TRECHO 5	01/03/2026	30/03/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 5	01/09/2026	30/10/2026	
	BASE – TRECHO 5	01/09/2026	30/10/2026	60
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 5	01/09/2026	30/10/2026	
	ASFALTO – TRECHO 5	01/09/2026	30/10/2026	
	*OAE - PONTE	01/04/2026	31/08/2026	150
6	TERRAPLANAGEM – TRECHO 6	17/08/2026	30/09/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 6	17/08/2026	30/09/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 6	17/08/2026	15/09/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 6	01/10/2026	30/10/2026	
	BASE – TRECHO 6	01/10/2026	30/10/2026	30
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 6	01/10/2026	30/10/2026	
	ASFALTO – TRECHO 6	01/10/2026	30/10/2026	
7	TERRAPLANAGEM – TRECHO 7	01/09/2026	15/10/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 7	01/09/2026	15/10/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 7	01/09/2026	30/09/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 7	16/10/2026	15/11/2026	
	BASE – TRECHO 7	16/10/2026	15/11/2026	30
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 7	16/10/2026	15/11/2026	
	ASFALTO – TRECHO 7	16/10/2026	15/11/2026	
8	TERRAPLANAGEM – TRECHO 8	01/10/2026	15/11/2026	45
	ELEMENTOS DE DRENAGEM – TRECHO 8	01/10/2026	15/11/2026	45
	CANTEIROS – TRECHO 8	01/10/2026	30/10/2026	30
	SUB-BASE – TRECHO 8	16/11/2026	15/12/2026	
	BASE – TRECHO 8	16/11/2026	15/12/2026	30
	IMPRIMAÇÃO – TRECHO 8	16/11/2026	15/12/2026	
	ASFALTO – TRECHO 8	16/11/2026	15/12/2026	
*Os elementos que compõem: pilares, vigas, tabuleiro, sapatas de fundação, estacas, dispositivos de apoio e guarda-corpos.				

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Finalizada essa vinculação no *software*, foi possível iniciar a análise das possíveis interferências de tempo entre os subtrechos, permitindo uma avaliação mais precisa da sequência construtiva. A Figura 14 ilustra o processo de inserção dessas datas no Autodesk Navisworks Manage.

Figura 14 – Inserção de datas na ferramenta *Timeliner*

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type
<input checked="" type="checkbox"/>	ASFALTO - T2 - V2		31/05/2026	30/06/2026	31/05/2026	30/06/2026	Sets->PLANEJAM
<input checked="" type="checkbox"/>	ASFALTO - T2 - V1		31/05/2026	30/06/2026	31/05/2026	30/06/2026	Sets->PLANEJAM
<input checked="" type="checkbox"/>	ASFALTO - T1 - V2		16/04/2026	19/05/2026	16/04/2026	19/05/2026	Sets->PLANEJAM
<input checked="" type="checkbox"/>	ASFALTO - T1 - V1		16/04/2026	19/05/2026	01/03/2026	15/04/2026	Sets->PLANEJAM

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

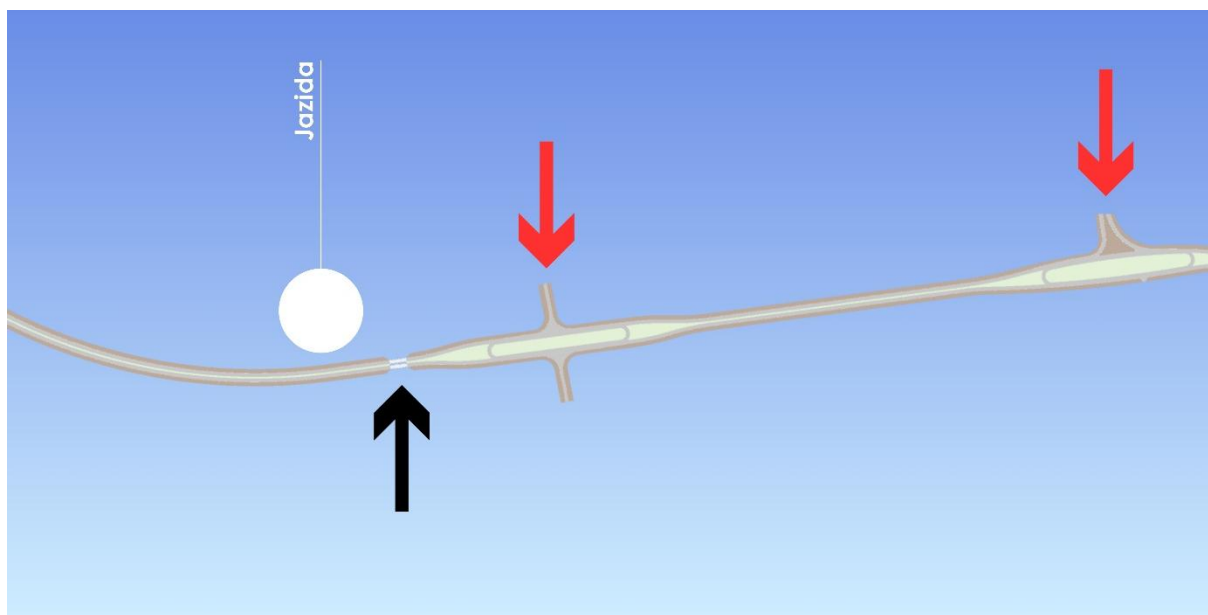
Com a simulação 4D realizada foi possível analisar quais pontos podiam ser alterados para garantir a continuidade entre as etapas construtivas. Outra análise realizada, a partir da finalização da anterior, consistiu em um planejamento visual do Plano de Ataque. O objetivo dessa simulação foi garantir que a rodovia apresentasse condições mínimas de operação antes da data final de entrega. Por se tratar de uma via duplicada, com acessos e uma ponte, o planejamento virtual buscou representar a execução das etapas construtivas de forma otimizada, visando alcançar o menor tempo possível de conclusão e assegurar a funcionalidade da rodovia durante o processo de obra.

Por fim, foi realizada uma análise considerando a proximidade de uma jazida de areia pedregulhosa siltosa, material ideal para a composição da sub-base, elemento presente no projeto, considerando que essa proximidade tanto da jazida quanto da OAE são detalhes importantes quando relacionados a transporte de operários e materiais. Essa análise teve como objetivo identificar o local mais estratégico para a instalação do canteiro central e dos canteiros satélites, visando otimizar a logística de transporte de materiais e reduzir o tempo de execução das atividades. A partir dessa simulação, foi possível realizar essas identificações de forma visual e dinâmica, evidenciando a contribuição do Autodesk Navisworks Manage para o planejamento e a tomada de decisão.

A Figura 15 apresenta os principais pontos críticos identificados ao longo do trecho analisado. A seta em preto indica a ponte, que, por se tratar de uma OAE, demanda maior tempo de execução e representa um ponto de interrupção temporária da continuidade da rodovia, uma vez que, sem sua conclusão, o deslocamento total pela via torna-se inviável. As setas em vermelho destacam os acessos e entroncamentos, elementos estratégicos tanto para o tráfego operacional da rodovia

quanto para o escoamento de materiais e movimentação de caminhões durante a obra. Por fim, o ponto em branco indica a jazida de areia pedregulhosa siltosa, considerada essencial no planejamento por fornecer material adequado à composição da sub-base, além de influenciar diretamente na logística de transporte e tempo de execução.

Figura 15 – Indicações de pontos importantes do trecho modelado



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

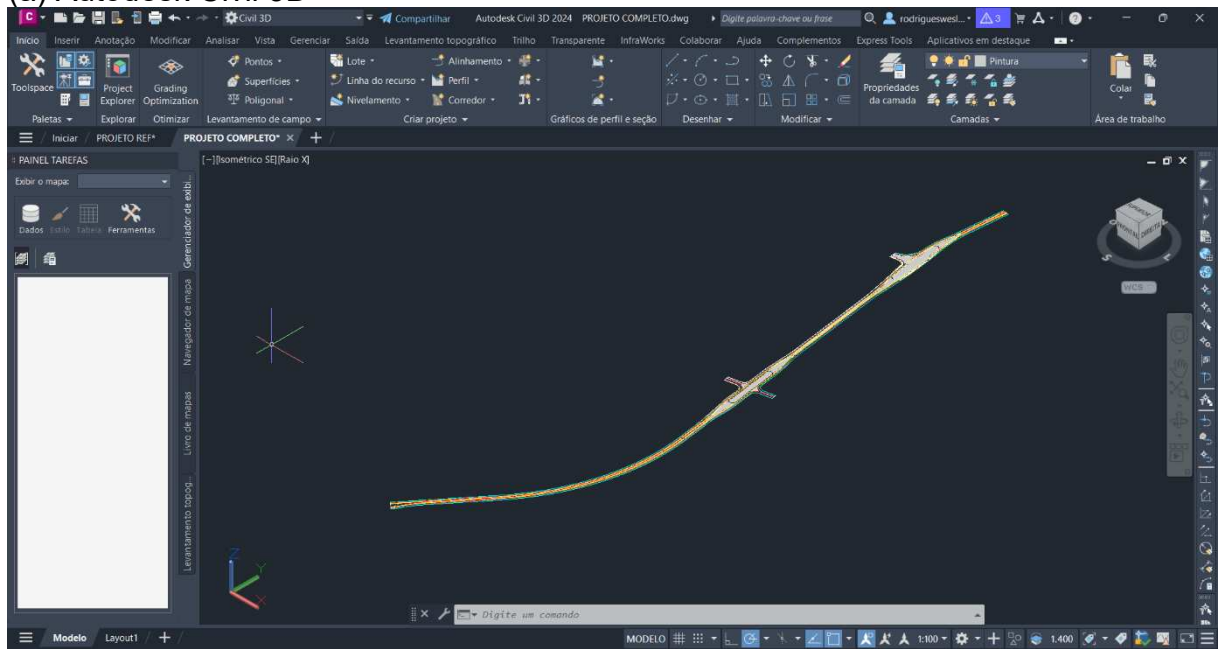
Neste tópico, são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, com foco na aplicação da metodologia BIM nas análises e possibilidades para o trecho de rodovia duplicada de aproximadamente 4 km. São explorados os avanços alcançados por meio dos *softwares* de modelagem e simulação da construção.

5.1 Modelagem Final

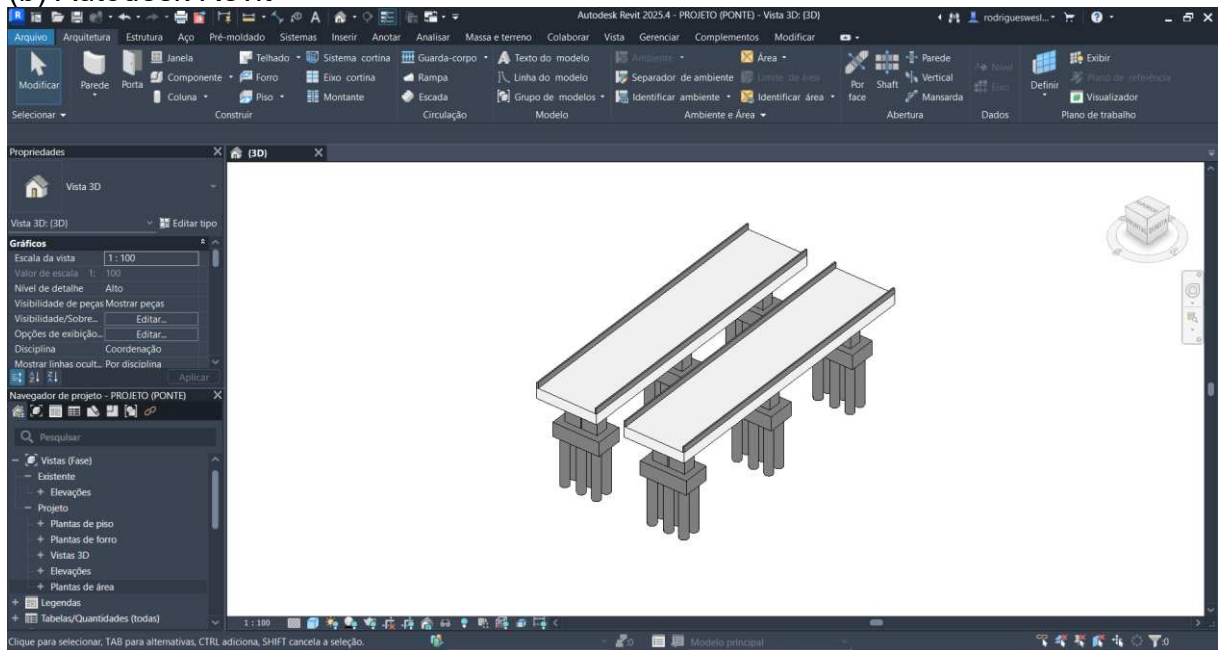
Com a conclusão do processo de modelagem, foi obtida a representação geométrica completa do trecho rodoviário, elemento fundamental para as análises subsequentes. A Figura 16 apresenta a modelagem finalizada nos respectivos *softwares*, evidenciando a representação completa do trecho de rodovia no Autodesk

Civil 3D e da Obra de Arte Especial (OAE) no Autodesk Revit. Essa modelagem detalhada permitiu a consolidação de todos os elementos relevantes do projeto em um único modelo, servindo como base de dados tridimensional para a integração final e o início das simulações 4D no Autodesk Navisworks Manage.

Figura 16 – Modelagem
(a) Autodesk Civil 3D



(b) Autodesk Revit



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5.2 Análise do Sequenciamento Construtivo no Ambiente BIM

Com as datas definidas e devidamente atribuídas aos elementos que compõem o trecho modelado, iniciou-se uma análise visual a partir da simulação em tempo real da execução da obra no Autodesk Navisworks Manage. Durante essa etapa, observou-se que alguns subtrechos não apresentavam continuidade entre as etapas construtivas, resultando em desalinhamentos no cronograma de execução. Com a adoção das datas iniciais, verificou-se que determinados elementos, como a ponte, iniciaram suas atividades logo no começo da simulação e foram concluídos dentro do prazo previsto. Entretanto, apesar do avanço dessa estrutura, a rodovia ainda permanecia parcialmente inoperante, uma vez que alguns subtrechos não haviam concluído as camadas da superestrutura, impossibilitando a liberação do tráfego.

O Quadro 2 apresenta os subtrechos considerados críticos, ou seja, aqueles que efetivamente garantem a continuidade entre as etapas construtivas da rodovia. Essa identificação foi realizada a partir de uma análise visual detalhada do trecho completo, possibilitada pela simulação sequencial das etapas de construção.

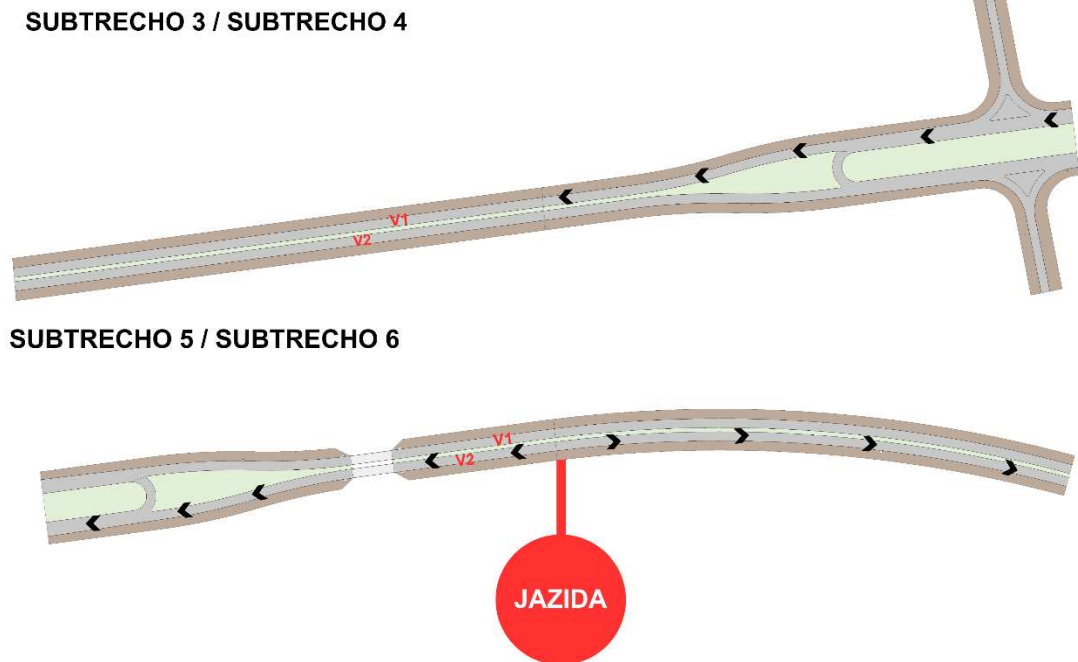
Quadro 2 – Ações em Subtrechos Críticos

N	Elemento Crítico	Prioridade de Ataque	Justificativa
5	OAE Jazida	OAE V1 e V2	A OAE deve ser concluída antes que qualquer tráfego possa ser desviado sobre ela. As frentes de terraplanagem se concentram em V1 e V2 simultaneamente, partindo da jazida.
4	V1 e V2	V2	Priorizar a V2 para aliviar o fluxo e depois transferir o tráfego para a nova V2, liberando a V1 para construção.
2	V1 e V2	V2	Priorizar a V2 para aliviar o fluxo e depois transferir o tráfego para a nova V2, liberando a V1 para construção.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base na análise dos elementos críticos detalhada na Tabela 6, foi possível consolidar o cronograma de referência para a simulação 4D. A Figura 17 apresenta o sequenciamento construtivo inicial dos subtrechos 3, 4, 5 e 6.

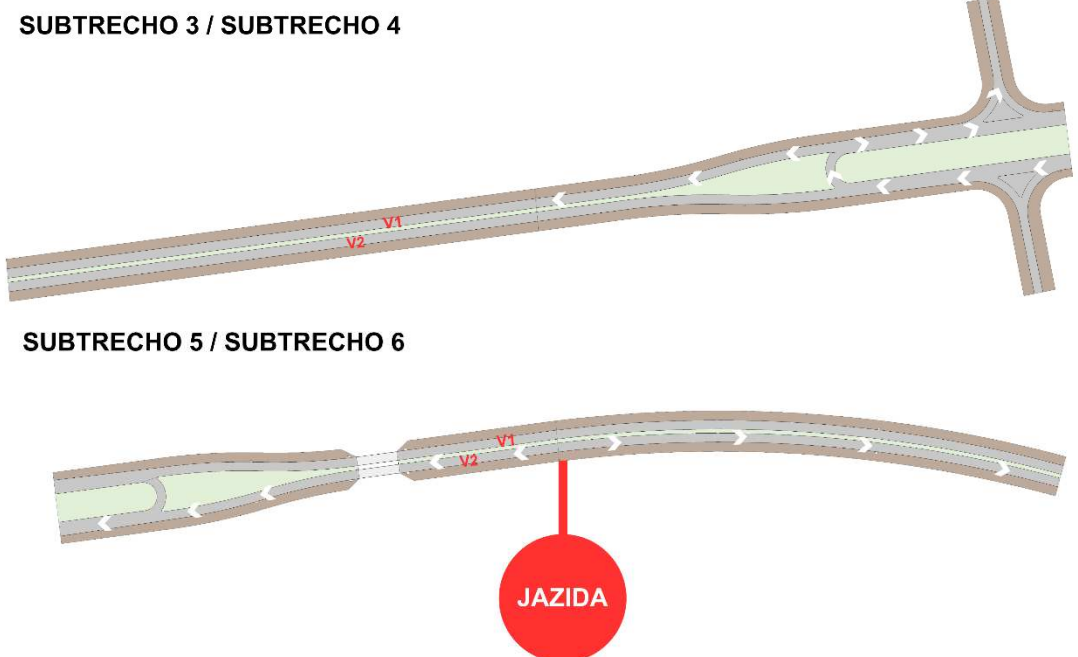
Figura 17 – Sequencialmente inicial (Subtrechos 3, 4, 5 e 6)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 18 mostra o sequenciamento final após a análise visual da simulação, adotado para liberação do tráfego, tendo em vista que, inicialmente, foi considerada a construção simultânea das duas plataformas (vias), tornando inviável a trafegabilidade da rodovia durante sua construção.

Figura 18 – Sequenciamento final (Subtrechos 3, 4, 5 e 6)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

É possível observar que, caso o subtrecho 4 - via V1 seja executado primeiramente, conforme as datas preestabelecidas e indicadas pelas setas na cor preta, seguindo o sentido da jazida em direção aos subtrechos 1, 2, 3, 4 e 5, a continuidade do fluxo de tráfego não será garantida. Essa sequência de execução resulta em desconexões temporárias entre os trechos, comprometendo a funcionalidade parcial da rodovia durante o andamento da obra e dificultando o acesso logístico de equipamentos e materiais necessários às etapas subsequentes.

Com uma simples alteração na sequência construtiva (indicadas pelas setas na cor branca), identificada apenas por meio da simulação de execução da obra no *software*, foi possível otimizar o planejamento, garantindo não apenas a liberação antecipada de um subtrecho da rodovia, mas também a acessibilidade simultânea aos dois acessos do entroncamento. O *software* não indicou diretamente as mudanças que deveriam ser realizadas, contudo, a simulação 4D permitiu identificar visualmente os gargalos potenciais que poderiam ocorrer caso o Plano de Ataque fosse mantido sem ajustes. O Apêndice A apresenta de forma detalhada todos os subtrechos analisados, bem como as modificações implementadas a partir dos resultados obtidos na simulação 4D.

5.3 Avaliação da Variação no Tempo de Execução da Obra

A partir das modificações realizadas no tópico anterior, foi possível redefinir as datas e as previsões de execução de cada subtrecho, de modo a assegurar a funcionalidade do tráfego e o acesso adequado aos entroncamentos.

Essa reprogramação teve como base as observações obtidas na simulação 4D, que evidenciou a necessidade de ajustes na sequência construtiva. A Tabela 5 apresenta o cronograma final, refletindo as alterações implementadas a partir das análises realizadas com o apoio do Autodesk Navisworks Manage.

Tabela 5 – Cronograma final

N	Elementos	Via	Data Inicial	Data final	Duração (dias)
1	T/D e CANTEIROS – TRECHO 1	V2	01/08/2026	31/10/2026	92
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 1	V2	01/11/2026	31/10/2027	92
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 1	V1	01/02/2027	30/04/2027	90
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 1	V1	01/05/2026	31/07/2027	92
2	T/D e CANTEIROS – TRECHO 2	V1/V2	01/07/2026	30/09/2026	90
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 2	V2	01/10/2026	31/12/2026	92
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 2	V1	01/01/2027	31/03/2027	90
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 2	V1	01/04/2027	30/06/2027	90
3	T/D e CANTEIROS – TRECHO 3	V2	01/08/2026	31/10/2026	92
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 3	V2	01/11/2026	31/01/2027	92
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 3	V1	01/02/2027	30/04/2027	90
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 3	V1	01/05/2027	31/07/2027	92
4	T/D e CANTEIROS – TRECHO 4	V1/V2	01/03/2026	30/04/2026	60
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 4	V2	01/05/2026	30/06/2026	60
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 4	V1	01/07/2026	30/09/2026	90
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 4	V1	01/10/2026	31/01/2027	120
5	CANTEIROS – TRECHO 5	V1/V2	01/03/2026	30/03/2026	30
	T/D – TRECHO 5	V2	01/03/2026	30/05/2026	30
	OAE - PONTE	V1/V2	01/04/2026	30/11/2026	244
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 5	V2	01/06/2026	30/07/2026	60
	T/D – TRECHO 5	V1	01/10/2026	31/11/2026	60
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 5	V1	01/04/2027	31/05/2027	60
6	T/D e CANTEIROS – TRECHO 6	V2	01/05/2026	30/06/2026	60
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 6	V2	01/07/2026	31/08/2026	62
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 6	V1	01/09/2026	30/11/2026	91
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 6	V1	01/12/2026	30/03/2027	120
7	T/D e CANTEIROS – TRECHO 7	V2	01/09/2026	30/11/2026	91
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 7	V2	01/12/2026	28/02/2027	90
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 7	V1	01/03/2027	31/05/2027	92
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 7	V1	01/06/2027	30/08/2027	91
8	T/D e CANTEIROS – TRECHO 8	V2	01/11/2026	31/01/2026	92
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 8	V2	01/02/2027	30/04/2027	90
	T/D e CANTEIROS – TRECHO 8	V1	01/05/2027	31/07/2027	92
	CAMADAS DA SUPERESTRUTURA – TRECHO 8	V1	01/08/2027	30/10/2027	91

*T/D (Terraplanagem/Drenagem) foi nomeado para agrupar as atividades iniciais e garantir a sequência lógica de dependência.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Foi possível observar que, embora a nova sequência construtiva tenha resultado em um acréscimo de alguns meses no prazo total da obra (algo relativamente comum em obras de infraestrutura), essa reprogramação assegurou a manutenção do fluxo de tráfego e o acesso contínuo aos entroncamentos durante a execução. Outro aspecto relevante observado foi que a existência das duas vias, V1 e V2, facilitou o processo de reorganização do cronograma. O Quadro 3 apresenta a comparação entre as datas inicialmente atribuídas e aquelas resultantes das modificações finais, evidenciando os ajustes realizados a partir das análises da simulação 4D.

Quadro 3 – Diferença entre os cronogramas

Cronograma	Inicial	Final
Vias	V1 e V2 consideradas apenas como V (sem a repartição) na simulação 4D	Atividades divididas por via (V1 e V2), permitindo o uso de uma pista como desvio
Estratégia de Ataque	Sequencial por subtrecho (subtrecho 1 ao subtrecho 8) porém algumas atividades começaram antes (por exemplo, a ponte)	Ataque no Trecho 5 (jazida/OAE) → Trechos 4 e 6 (adjacentes) → Trechos extremos
Entroncamentos	V1 e V2 consideradas apenas como V (sem a repartição) na simulação 4D	Tratamento Específico (V1 e V2): T/D é simultânea para V1 e V2, pois a geometria da interconexão afeta a área toda. A construção da superestrutura é sequencial (V2 → V1) para desvio de tráfego
Duração	Aproximadamente 10 meses	Aproximadamente 20 meses
Atividades de base	Movimentação de Terra e Drenagem separadas	Agrupamento das atividades iniciais para simplificar a visualização na simulação 4D

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Apesar de o Cronograma Final apresentar um tempo total de execução aproximadamente duas vezes maior que o inicialmente previsto, observam-se vantagens significativas em termos organizacionais e de planejamento. A nova sequência construtiva possibilitou um ataque mais estratégico aos trechos,

considerando aspectos essenciais como logística de materiais, acessos, continuidade de tráfego e integração entre etapas de obra. Dessa forma, o aumento no prazo foi compensado pela maior eficiência operacional, redução de riscos e melhoria na coordenação geral da construção.

5.4 Determinação da localização dos Canteiros de Obras

Com o cronograma final definido e a partir de uma nova análise da simulação 4D, foi possível posicionar estrategicamente os canteiros de obras. Para fins de desenvolvimento do trabalho, foram considerados três canteiros principais: um canteiro central, responsável pelo suporte logístico geral, e dois canteiros satélites, localizados de forma a otimizar o deslocamento de materiais e equipes ao longo dos subtrechos. O Quadro 4 apresenta as justificativas para o canteiro central e as justificativas para os canteiros satélites.

Quadro 4 – Justificativas da localização

(a) Canteiro Central

Localização	Pontos	Justificativas
Entre os subtrechos 4 e 5	Proximidade da Jazida	Minimiza o transporte de material de base e aterro para os trechos adjacentes (4 e 6), que são atacados inicialmente.
	OAE	O Trecho 5 possui a OAE, que é o gargalo de maior duração do projeto (244 dias). Concentrar o suporte técnico e a central de armação próxima a este ponto otimiza a supervisão e o fornecimento.
	Centralidade	É o ponto médio do projeto, facilitando o gerenciamento das frentes duplas (V1 e V2) que se estendem para ambos os lados (Trechos 1-4 e 6-8).

(b) Canteiros satélites

Localização	Pontos	Justificativas
Subtrecho 8	Extremo da obra	É o último trecho a ser concluído. Um canteiro aqui serve como base para as frentes de trabalho V2 e V1 na fase final do projeto
Subtrecho 1	Extremo da obra	Embora o ataque comece no Trecho 4/5, o Trecho 1 é o mais distante do central. O canteiro apoia as atividades de construção da superestrutura em V2 e T/D em V1 na fase final

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com a simulação 4D foi possível observar que deviam existir pontos estratégicos para os Canteiros da Obra. O Canteiro Central foi posicionado no ponto de maior demanda logística, entre os subtrechos 4 e 5, já os canteiros satélites, considerando ser um projeto de 20 meses com longas distâncias, foram necessários para reduzir o tempo de deslocamento de equipes e materiais não provenientes da jazida nos extremos.

É importante frisar que se trata de um pré-projeto de datas e de sequenciamento de processos construtivos, elaborado com caráter experimental e analítico. No entanto, mesmo nessa fase preliminar, os resultados obtidos demonstram o potencial da metodologia BIM como suporte ao planejamento estratégico. Por meio da visualização integrada e sequencial das etapas construtivas, foi possível identificar inconsistências, gargalos e oportunidades de otimização no planejamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou o potencial da metodologia BIM como um instrumento para o planejamento e a gestão integrada de obras rodoviárias, caracterizadas pela complexidade e pela necessidade de coordenação entre diversas disciplinas. A aplicação do BIM permitiu a integração de informações de diferentes etapas do projeto (concepção, modelagem e planejamento) em um ambiente digital colaborativo. Nesse contexto, a interoperabilidade entre os softwares Autodesk Civil 3D, Autodesk Revit e Autodesk Navisworks Manage se mostrou fundamental, possibilitando a criação de um modelo 3D unificado que concentrou dados geométricos e construtivos de forma precisa e compatível. Essa integração garantiu maior consistência entre as informações, redução de retrabalhos e otimização do processo de coordenação de projetos, reforçando o papel do BIM como base tecnológica para a modernização do setor de infraestrutura.

No Autodesk Navisworks Manage, a simulação 4D representou uma das etapas mais relevantes deste estudo, ao permitir a associação do modelo tridimensional ao cronograma de execução. Essa funcionalidade possibilitou visualizar de forma dinâmica o avanço da obra ao longo do tempo, identificando gargalos de execução, sobreposições de atividades e inconsistências de planejamento. A partir dessa análise visual e temporal, foi possível propor ajustes estratégicos no Plano de Ataque, resultando em um cronograma mais realista e eficiente. Assim, a simulação 4D demonstrou o valor prático do BIM como ferramenta de apoio à tomada de decisão, evidenciando seu potencial para melhorar o controle de prazos, a organização das etapas construtivas e a eficiência operacional em projetos de infraestrutura viária.

Esta pesquisa, no entanto, evidenciou desafios significativos, especialmente devido à escassez de estudos e referências que relacionem a metodologia BIM à infraestrutura rodoviária. A aplicação do BIM em obras lineares ainda se encontra em fase de consolidação, o que limita o acesso a procedimentos padronizados e boas práticas específicas para esse tipo de projeto. Além disso, constatou-se dificuldade na compreensão e na adaptação de certas ferramentas do Autodesk Navisworks Manage, uma vez que há poucos materiais e tutoriais voltados ao uso do software em contextos de planejamento rodoviário. Essa limitação gerou incertezas quanto à

aplicabilidade direta de algumas funções do programa para o planejamento e a gestão de obras de infraestrutura de transporte.

6.1 Sugestão de trabalhos

Nesse cenário, sugere-se que estudos futuros considerem a integração de um *software* de gerenciamento de cronogramas, como o Microsoft Project, ao Autodesk Navisworks Manage, a fim de aprimorar o processo de planejamento e simulação 4D. Atualmente, a inserção e o ajuste das datas são realizados manualmente por meio da ferramenta *Timeliner*, o que torna as correções mais trabalhosas e suscetíveis a erros. Caso seja necessário modificar prazos ou reprogramar atividades, é preciso ajustar manualmente cada elemento dentro do Autodesk Navisworks Manage, devido à ausência de uma sincronização automática com softwares de cronograma. Dessa forma, a integração entre o MS Project e o Autodesk Navisworks Manage permitiria que alterações realizadas no cronograma fossem automaticamente refletidas no modelo 4D, resultando em maior eficiência, precisão e fluidez no processo de planejamento e controle de obras rodoviárias.

Além disso, recomenda-se que novos estudos ampliem o uso do BIM para outras etapas do ciclo de vida da infraestrutura, incluindo manutenção, operação e monitoramento pós-construção, utilizando modelos 5D e 6D para análise de custos e desempenho ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TECHNICAL BIM. **BIM in Project Management**. [S.l.]. Disponível em: <https://technical-bim.com/bim-in-project-management>. Acesso em: 4 jul. 2025.

JONES, A. Stephen. **The Business Value of BIM for Infrastructure 2017**. Smart Market Report. Dodge Data & Analytics, Belford, 2017.

PEREIRA, Maurício Fernandes. **Planejamento estratégico: teorias, modelos e processos**. São Paulo: Atlas, 2010.

BUILDING INFORMATION MODELING: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Contractors, and Fabricators. Hoboken: Wiley, 2018.

COSTA, Eduardo de Sá; GONÇALVES, Rodrigo Tavares. **Infraestrutura de Transportes e Logística no Brasil: Desafios e Perspectivas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ATKINSON, Robert D. **Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion**. Washington: Information Technology and Innovation Foundation, 2017.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2020.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. New Jersey: Wiley, 2011.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo: Pini, 2010.

MELLO, Luiz Antonio de. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

PARLIKAD, Anoop K.; MCARTHUR, John J. System-of-systems approach to asset management. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 6, n. 3, p. 250-261, 2016.

COSTIN, Aron. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure: Literature review, applications, challenges and recommendations. **Automation in Construction**, Elsevier, 2018.

KRUGMAN, Paul. Increasing returns and economic geography. **Journal of Political Economy**, v. 99, n. 3, p. 483-499, 1991.

JOSHI, Geeta S. **Infrastructure development strategies for inclusive growth: India's Eleventh Plan**. India, 2010.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Index**. 2025. Disponível em: www.weforum.org/reports. Acesso em: 08 jul. 2025.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Mapa estratégico da indústria 2018-2022**. Brasília, 2025.

CNT. Confederação Nacional de Transportes. **Maior parte de rodovias concedidas está em bom ou ótimo estado**. 2023. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/imprensa/Noticia/maior-parte-rodovias-concedidas-bom-otimoestado>. Acesso em: 8 jul. 2025.

DER/PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. **Manual de Gerenciamento de Obras Rodoviárias**. Tomo I. Curitiba: DER/PR, 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021**. Dispõe sobre a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm. Acesso em: 5 jul. 2025.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

BRASIL. **Estratégia BIM BR**. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 05 jul. 2025.

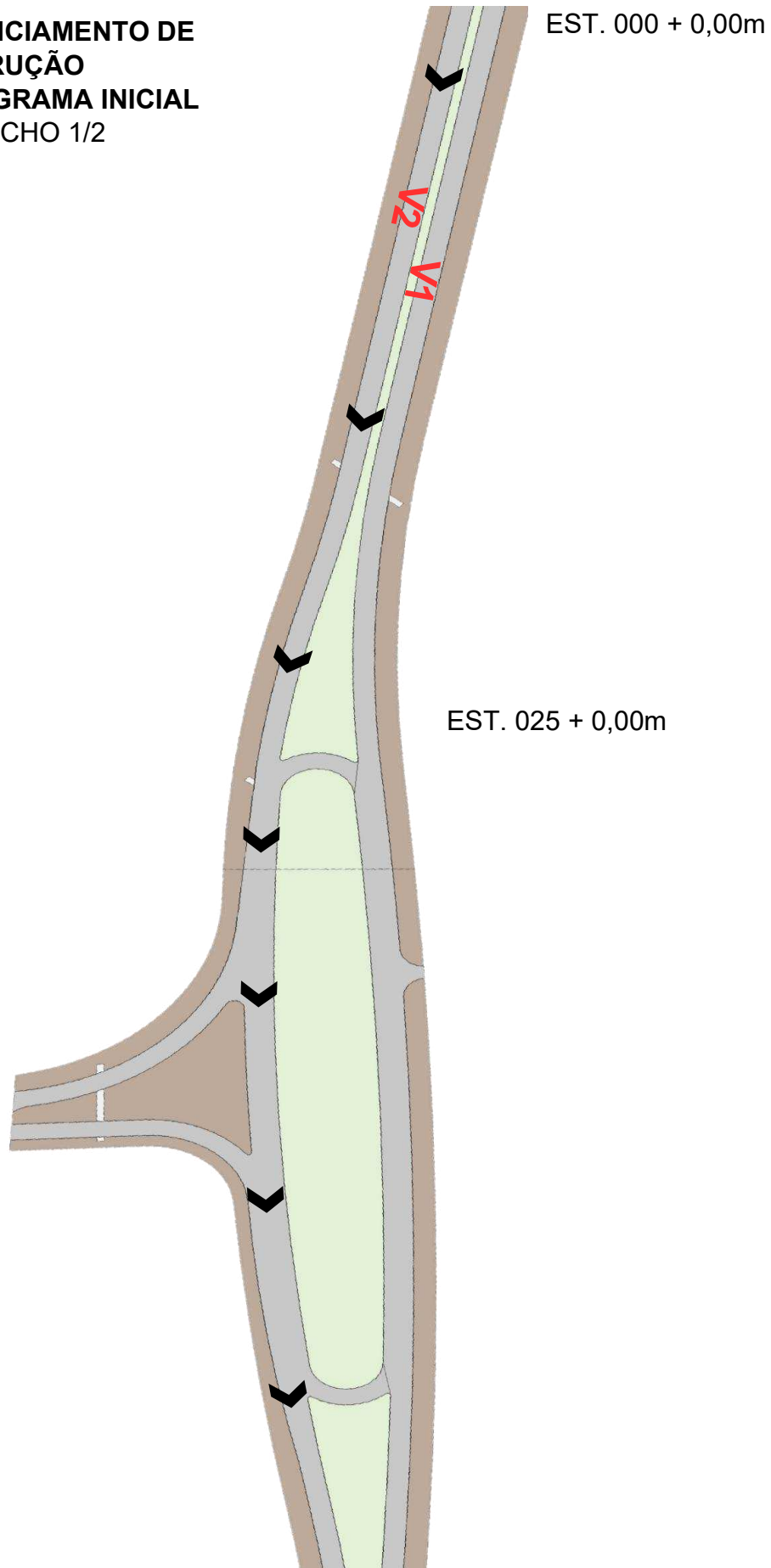
MACLEAMY, Patrick. **The MacLeamy Curve**: Improving Project Delivery Using BIM. Apresentação (palestra) realizada pela HOK. 2004.

PAIXÃO, Luiza Mendonça. **A Metodologia BIM Aplicada em Projetos de Infraestrutura: Desenvolvimento de Projetos de Rodovia**. Reta Engenharia, [S.l.]. Disponível em: <https://retaengenharia.com.br/noticias/a-metodologia-bim-aplicada-em-projetos-de-infraestrutura-desenvolvimento-de-projetos-de-rodovia/>. Acesso em: 8 ago. 2025.

MINAS GERAIS. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG). **Caderno Técnico de Especificações de Escopo de Projetos BIM de Rodovias**. 1. ed. Belo Horizonte, MG: DER-MG, 2024.

APÊNDICE A – SEQUENCIAMENTO CONSTRUTIVO

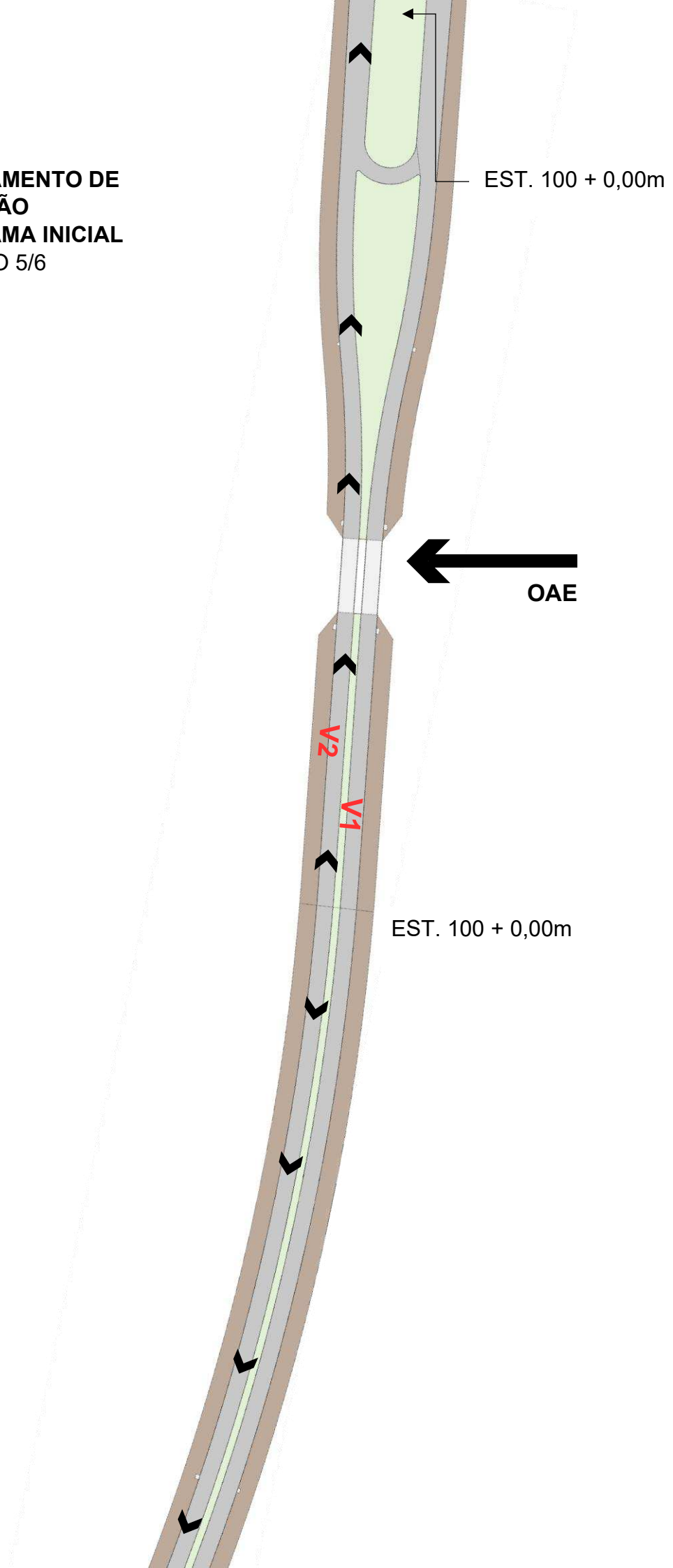
SEQUENCIAMENTO DE
CONSTRUÇÃO
CRONOGRAMA INICIAL
SUBTRECHO 1/2



**SEQUENCIAMENTO DE
CONSTRUÇÃO
CRONOGRAMA INICIAL
SUBTRECHO 3/4**



**SEQUENCIAMENTO DE
CONSTRUÇÃO
CRONOGRAMA INICIAL
SUBTRECHO 5/6**



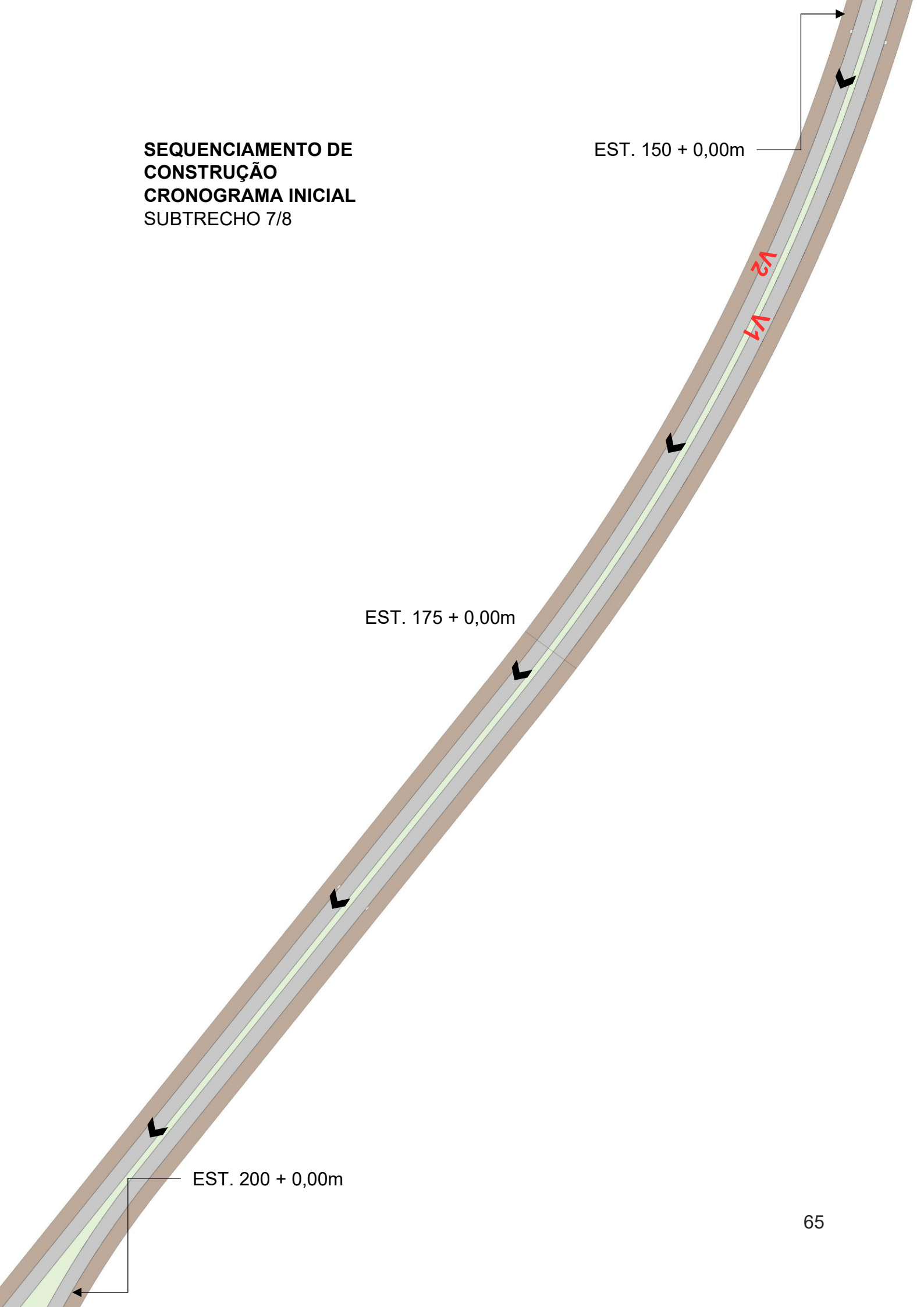
**SEQUENCIAMENTO DE
CONSTRUÇÃO
CRONOGRAMA INICIAL
SUBTRECHO 7/8**

EST. 150 + 0,00m

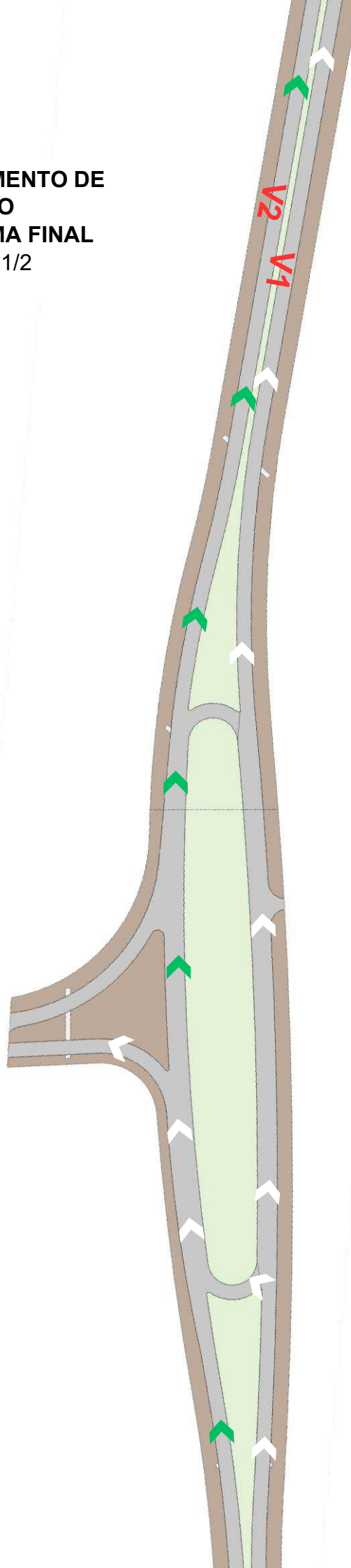
EST. 175 + 0,00m

EST. 200 + 0,00m

V2
V1



**SEQUENCIAMENTO DE
CONSTRUÇÃO
CRONOGRAMA FINAL
SUBTRECHO 1/2**



◀ PRIMEIRO
◀ SEGUNDO

**SEQUENCIAMENTO DE
CONSTRUÇÃO
CRONOGRAMA FINAL
SUBTRECHO 3/4**

