

João Pedro Alves de Lima

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ESTUDOS DE OBRAS DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE:
ESTUDO DE CASO – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO DA VIA SC-436.**

Florianópolis

2018

João Pedro Alves de Lima

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ESTUDOS DE OBRAS DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE:
ESTUDO DE CASO – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO DA VIA SC-436.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel/Licenciado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor

Lima, João Pedro Alves de
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ESTUDOS DE
OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE:
ESTUDO DE CASO – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO DA
VIA SC-436 / João Pedro Alves de Lima; orientador, Marcos
Aurélio Marques Noronha – Florianópolis, SC, 2019.

78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Infraestrutura. 2. Building Information Modeling. 3. Rodovias. I. Noronha, Marcos Aurélio Marques. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título

João Pedro Alves de Lima

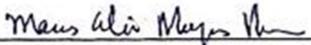
**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ESTUDOS DE OBRAS DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE:
ESTUDO DE CASO – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO DA VIA SC-436.**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 2 de Julho de 2019.

Prof.^a Luciana Rohde, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:


Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof.^a Cristine do Nascimento Mutti, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina.

Eng. Rafael Fernandes Teixeira da Silva,
Secretaria do Estado de Infraestrutura e Mobilidade - SIE.

Este trabalho é dedicado a todos que fizeram parte do meu desenvolvimento como pessoa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio de todos os familiares, principalmente a meus pais por me fornecerem todo o apoio necessário para chegar até aqui.

Ao professor Marcos Aurélio Marques Noronha por se mostrar disponível e por toda sua ajuda na orientação.

Aos colegas de trabalho do LaBIM e da Softplan por me propiciarem todo este aprendizado em clima de amizade e descontraído e acreditarem no meu potencial.

A todos meus amigos que me propiciaram risadas e descontração em momentos difíceis.

A todos que contribuíram de alguma forma para elaboração deste presente trabalho.

RESUMO

É incessante a busca por automação e inovação na indústria da construção civil. Dentre as inovações mais recentes destaca-se o BIM (*Building Information Modeling*), uma metodologia de modelagem de informação visando dar insumos para proporcionar a prototipagem virtual de construções. O BIM vem sendo aplicado em maior escala para obras civis como edifícios quando comparado a obras de infraestrutura como, sistemas viários, sistemas de drenagem e abastecimento de água e energia. Este tipos de obra são os principais gargalos enfrentados por países em desenvolvimento, devido à sua complexidade e a necessidade de financiamentos elevados. Com base na importância e nas grandes demandas das obras de infraestrutura, desenvolveu-se neste trabalho um modo de avaliar a utilização da metodologia BIM através de um estudo de caso de uma rodovia. Além disso, buscou-se a realização de uma ampla revisão bibliográfica com o intuito de avaliar estudos já realizados acerca do tema. Por fim, foi proposto um modelo de fluxo de trabalho utilizando algumas das ferramentas BIM disponíveis no mercado.

Palavras-chave: BIM, Obras de Infraestrutura, Rodovia, Modelagem da Informação.

ABSTRACT

Today, there is a strong drive for automation and innovation in the construction industry. Among the most recent innovations, BIM (Building Information Modeling) stands out as a the standard in the implementation of virtual prototyping in the Architectural, Engineering, and Construction (AEC) industry. BIM has been more intensively adopted in the design of buildings as compared to the low use rate in infrastructure projects, such as roads and highways, drainage systems, water supply and energy. Investment in infrastructure is a key bottleneck in developing, due to its complexity and long-term funding. The relevance and high demand for infrastructure directed the present work towards studying a case study of a road design with the BIM methodology. Also, this study conducted a literature review to summarize the results of recent research on this subject. Finally, the present work proposed a workflow based on some BIM tools available to support roadwork.

Keywords: BIM. Infrastructure. Roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre o desenvolvimento econômico e o investimento em infraestrutura.....	23
Figura 2 - Ranking de competitividade econômica.....	25
Figura 3 - Ranking de desenvolvimento no setor de infraestrutura.....	25
Figura 4 – Posição do Brasil nos componentes de infraestrutura.....	28
Figura 5 – abrangência do BIM no ciclo de vida de uma construção.....	30
Figura 6 - Integração entre BIM e GIS.....	36
Figura 7 – Análise de interferência entre projetos de sinalização e drenagem.....	37
Figura 8 – Fluxograma de trabalho.....	42
Figura 9 – Trecho existente.....	44
Figura 10 - Área de estudo selecionada no gerador de modelos do Infracore.....	47
Figura 11 – Modelo do terreno gerado.....	47
Figura 12 - Definição das configurações de projetos.....	48
Figura 13 - Modelo após a modelagem do trecho Rio Aratingaúba.....	49
Figura 14 - Raio mínimo de projeto violado.....	51
Figura 15 - Inclinação máxima violada.....	51
Figura 16 - inviabilidade construtiva do novo traçado.....	52
Figura 17 - Comparação entre traçados.....	53
Figura 18 - OAEs resultantes do novo traçado proposto pelo autor.....	53
Figura 19 - Exemplo de curva vertical convexa com K_{min}	54
Figura 20 - Exemplo de parede de contenção em um corte.....	55
Figura 21 - Parâmetros de modelagem do talude.....	55
Figura 22 – Quantidades de terraplenagem.....	57
Figura 24 – Parâmetros de edição do elemento “viga” da ponte.....	58
Figura 25 – Seção de montagem dos trechos sobre pontes.....	58
Figura 26 - Interseção de Acesso São Marcos.....	59
Figura 27 - Quantitativos de materiais necessários para construção da rodovia.....	60
Figura 28 - Elementos de drenagem modelados no Infracore.....	61
Figura 29 - Elementos de terrapleno modelados no Infracore.....	61
Figura 30 - Modelo aberto no Autodesk Civil 3D.....	62
Figura 31 - Seção de montagem da via.....	63
Figura 32 - Parâmetros para modelagem da Pista de rolamento.....	64
Figura 33 - Animação gerada pelo Navisworks.....	68
Figura 35 – Fluxograma de trabalho proposto para as ferramentas utilizadas neste estudo.....	70
Figura 36 – Foto do traçado.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características Básicas do projeto geométrico de Rodovias Classe II.....	45
Quadro 2 - Largura da pista de rolamento em metros.....	49
Quadro 3 - Largura de acostamentos externos em metros.....	50
Quadro 4 – EAP para o trecho 0 a 0 + 500m.....	65
Quadro 5 – Quantitativos dos serviços.....	66
Quadro 6 – Relação de tempo de execução para cada serviço.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilha de cubação est 0 a est 0 + 300m.....	56
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM - Building Information Modeling

OAE - Obras de Arte Especiais

IFC - Industry Foundation Classes

IDM - Information Delivery Manual

IFD - International Framework for Dictionaries

MVD - Model View Definitions

BCF - BIM Collaboration format

FBX - Film Box format

PI - Ponto de Intersecção

PVI - Ponto de intersecção vertical

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

SICRO - Sistemas de Custos Referenciais de Obras Rodoviárias

XML - eXtensible Markup Language

SIG e GIS - Sistema de informação geográfica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	INFRAESTRUTURA	21
2.1.1	INTRODUÇÃO.....	21
2.1.2	IMPORTÂNCIA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE PARA UMA NAÇÃO	23
2.1.3	DESAFIOS ENFRENTADOS PELO SETOR DE INFRAESTRUTURA	25
2.1.4	CENÁRIO NACIONAL	26
2.2	BIM	28
2.2.1	INTRODUÇÃO.....	28
2.2.2	MODELAGEM PARAMÉTRICA.....	31
2.2.3	INTEROPERABILIDADE	32
2.2.4	BENEFÍCIOS DO BIM.....	33
2.3	BIM APLICADO A INFRAESTRUTURA	34
2.3.1	INTRODUÇÃO.....	34
2.3.2	PONTES	37
2.3.3	FERROVIAS.....	38
2.3.4	TÚNEIS.....	38
2.3.5	AEROPORTOS	39
2.3.6	RODOVIAS E ESTRADAS	39
3	METODOLOGIA	41
4	DESENVOLVIMENTO	42
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO.....	43
4.2	FERRAMENTAS E FUNCIONALIDADES UTILIZADAS	45
4.2.1	INFRAWORKS	45
4.2.2	AUTOCAD CIVIL 3D.....	61
4.2.3	NAVISWORKS.....	64

5	RESULTADOS	69
6	CONCLUSÃO.....	71

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção Civil sempre se caracterizou por ser uma indústria artesanal com processos produtivos altamente suscetíveis a erros, ora cometidos por mão de obra, muitas vezes desqualificadas, ora por falhas de comunicação entre as diversas disciplinas e projetos que abrangem a indústria em questão.

Neste meio, buscando alternativas para suprir esta necessidade de modernização da indústria da construção, surgiu a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) cuja sigla em português traduz-se em Modelagem da Informação da Construção.

O BIM consiste em uma nova metodologia de projeto que tem se destacado cada vez mais no mercado de engenharia, tanto nacional como internacional, principalmente nos países desenvolvidos. Pesquisas demonstram que obras que utilizam o conceito BIM possuem uma redução de 22% no custo de construção, 33% no tempo de projeto e execução, 33% nos erros em documentos, 38% de reclamações após a entrega da obra ao cliente e 44% nas atividades de retrabalho (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2012).

A metodologia tem ganhado espaço no âmbito de obras civis de infraestrutura. Estudos mostram que em 2012, em nível mundial, a aplicação do BIM à infraestrutura apresentava-se cerca de 3 anos atrasada em relação a sua aplicação em edificações. Em países como Reino Unido, França, Estados Unidos e Alemanha, a implantação do BIM em alto nível de detalhamento (no mínimo 50% do projeto) cresceu de 20% para 52% de 2015 para 2017 entre empresas de engenharia de infraestrutura de transporte. A previsão para 2019 é de que se alcance 61% de implantação (JONES, 2017).

Investimentos no setor de infraestrutura de transporte ajudam a alavancar a economia de um país, tornando a área um mercado de concorrência acirrada e com necessidade de um bom planejamento. Neste contexto, empresas de engenharia de transporte precisam buscar formas de maximizar a rentabilidade através de inovações e otimizações em seu fluxo de trabalho. O BIM pode ser encarado como um aliado das empresas do setor.

Neste trabalho será realizada uma revisão bibliográfica a respeito do BIM, expondo sua definição e conceitos. Também será apresentada uma revisão bibliográfica acerca do tema infraestrutura de transporte com o intuito de contextualizar o tema. Além disso, será realizado um estudo de caso aplicando a modelagem de uma rodovia para a análise de algumas das funcionalidades proporcionadas por ferramentas que trabalham com a metodologia de modelagem da informação. O estudo de caso foi realizado tendo como fonte um projeto básico de pavimentação da rodovia SC-436, localizada no estado de Santa Catarina, Brasil.

A finalidade deste trabalho é contribuir para o conhecimento do BIM e traçar um panorama geral de como empresas podem utilizar a metodologia aplicada ao setor de infraestrutura de

transporte, seus benefícios e pontos críticos de melhorias e ganhos, desde a fase de concepção do objeto até a fase de planejamento e execução.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Por motivos organizacionais este trabalho foi subdividido em 5 capítulos.

No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução, ressaltando pontos específicos que serão abordados neste trabalho.

No capítulo 2 são apresentadas revisões bibliográficas acerca dos temas infraestrutura, BIM e sua aplicação a obras de infraestrutura, abrangendo diversos estudos acerca dos temas expostos.

No capítulo 3 é exposta a metodologia a ser aplicada neste trabalho, contendo o resumo descritivo dos passos a serem executados e resultados esperados.

No capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do trabalho, contendo todas as informações necessárias e passos executados para obtenção dos resultados.

No capítulo 5 são expostos os resultados e discussões deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o uso da metodologia BIM aplicada a projetos de obras de infraestrutura de transporte.

1.2.2 Objetivos específicos

- Traçar um panorama geral dos estudos acerca do tema, avaliando pesquisas e artigos publicados.
- Aplicar a metodologia BIM em um estudo de caso para a rodovia SC-436, Brasil.
- Conhecer e identificar os conceitos e definições do BIM.
- Avaliar e aprender ferramentas e softwares disponíveis no mercado.
- Identificar os ganhos de produtividade e de qualidade em projetos quando aplicada a metodologia.
- Estabelecer um fluxo de trabalho para projetos viários utilizando softwares de modelagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INFRAESTRUTURA

2.1.1 INTRODUÇÃO

Infraestrutura, na sua concepção, é a estrutura básica e organizacional necessária para funcionamento de uma sociedade ou uma empresa. (OXFFORD DICTIONARIES, 2018). Obras de infraestrutura são de fundamental importância para o funcionamento adequado de uma sociedade. Em termos econômicos, sumariamente associa-se a qualidade do sistema de infraestrutura ao alto desenvolvimento econômico de um local.

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

As obras em estudo constituem a sustentação para que qualquer nação tenha um desenvolvimento econômico eficiente, desde a mobilidade de cargas e pessoas, tratando-se de infraestrutura de transporte, até a higiene dos cidadãos, quando referir-se a obras de saneamento.

Em nível mundial, obras de infraestrutura, principalmente as de transporte, são as principais responsáveis pelas relações comerciais entre países.

O investimento em infraestrutura deve ser visto como um investimento de longo prazo, conforme Fleury APUD Hermann (2012, p. 17):

“Da mesma forma que o investimento em educação cria condições de tornar o cidadão mais produtivo no médio e no longo prazos, o investimento em infraestrutura abre oportunidades para deslanchar o desenvolvimento regional, abafado pela incapacidade de deslocar sua produção e suas riquezas naturais do ponto da produção para o ponto de consumo.”

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 o que produzir para outros países. Em contrapartida, o país poderia direcionar a produção para o mercado interno. No entanto, isso exigiria um escoamento com base na capacidade interna, o que também é prejudicado pela deficiência das obras de infraestrutura de transporte. Isso acaba gerando um excesso de produção, acarretando custos de estocagem, com a economia, nesse setor, estagnada.

Segundo Yazbek (2006), a construção civil pesada possui características peculiares, no nível estratégico e operacional, importantes para que o leitor se familiarize com o contexto em que as empresas trabalham:

- a) Os empreendimentos geralmente são de médio e longo prazos;
- b) Possuem alto grau de complexidade operacional, por muitas vezes sendo realizados de forma isolada de áreas de concentração humana fazendo com que seja necessária a

implantação de vilas habitacionais para os trabalhadores, ou mesmo com a dificuldade de chegada dos insumos necessários para execução da obra por serem em locais de acesso complicado;

- c) Envolve uma grande diversidade e quantidade de agentes intervenientes nas atividades do empreendimento;
- d) Envolve, geralmente, grande quantidade de recursos, o que torna ainda mais acirrado o interesse dos diversos *stakeholders*;
- e) Por serem empreendimentos de elevado valor monetário, são poucos os clientes com potencial para investir nesse segmento. O poder Público normalmente é o principal investidor.

Obras de infraestrutura se diferem de obras de edificações comuns por possuírem grande dimensão horizontal, enquanto as obras de edificações, em sua maioria, são verticais. Isso faz com que alguns parâmetros de projetos, que muitas vezes não são tratados como prioridades em obras de edificações sejam de suma importância para a concepção e planejamento desse tipo de obra. Estradas e ferrovias, por exemplo, são obras que dependem muito da topografia (ex. GIS data), das condições geológicas e geotécnicas e de grandes movimentos de terra. Um estudo de viabilidade com um traçado ruim pode tornar a obra inteira inviável, enquanto em obras de edificações isso não acontece.

A questão ambiental e social também é um item que torna as obras de infraestrutura peculiares. Estudos dos impactos durante e pós-obra devem ser calculados e previstos com a máxima exatidão possível para que não haja partes prejudicadas, além de tornar a execução morosa, com impacto no custo.

Outra diferença entre estes dois tipos de obras está na forma jurídica de contratação. Geralmente obras de infraestrutura são construídas para a sociedade, onde o provedor dos recursos é uma entidade governamental. Por isso possuem diferentes sistemas de contratos, fornecimento de recursos e restrições legais quando comparadas a obras privadas.

Para Costin (2018), o principal fator diferencial entre projetos de edificações e de infraestrutura de transporte é o sistema de coordenadas que é usado para concepção, planejamento e execução da estrutura. Construções verticais utilizam o sistema de coordenadas cartesiano enquanto que construções horizontais são utilizadas múltiplas estações e alinhamentos de curvas como referência.

Na fase de execução, construções de infraestrutura são caracterizadas por necessitarem equipamentos de grande porte e em grandes quantidades. Excesso de transporte de material pode tornar uma obra muito cara, uma vez que o gasto com transporte desses equipamentos é item relevante na composição do custo total. Diferentemente de obras de construção vertical onde o trabalho manual é crítico, esse tipo de obra caracteriza-se por possuir alta taxa de mecanização, o que o torna um grande aliado para a adoção de tecnologia da informação ao canteiro de obras.

Por fim, vale ressaltar também que obras de infraestrutura necessitam de manutenção com uma frequência bem maior do que obras de edificações. Por receberem cargas normalmente cíclicas, é muito difícil manter a integridade dos materiais constituintes da estrutura. Portanto, outra fase que se diferencia das obras de edificações é a de manutenção.

Para Costin (2018) as categorias de infraestrutura civil podem ser divididas em seis domínios: Infraestrutura de transporte, de energia, de utilidades, de recreação e de gerenciamento de água.

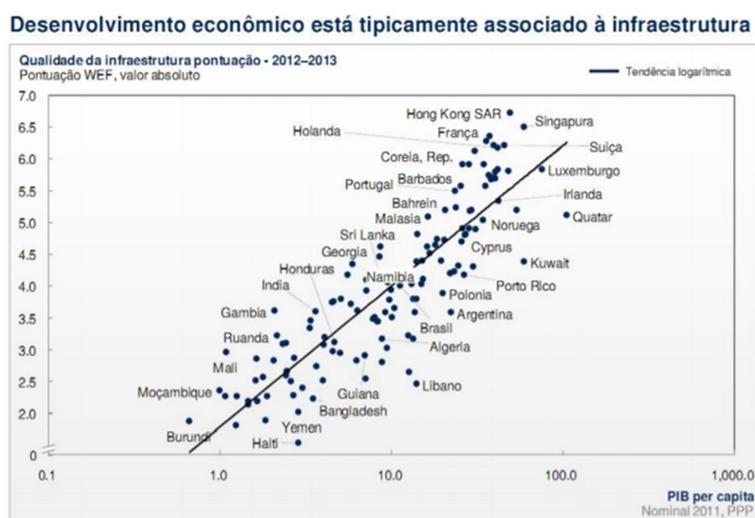
O domínio de Infraestrutura de transporte, o qual é o foco deste trabalho, abrange obras de pontes, rodovias, ferrovias, transporte em massa, túneis, aviação e aeroportos, portos, caminhos para veículos não motorizados e pedestres.

2.1.2 IMPORTÂNCIA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE PARA UMA NAÇÃO

A Infraestrutura de qualidade é um dos indicadores de qualidade de vida da população e de produtividade e geração de riqueza através de um transporte rápido e eficiente (OLIVEIRA, 2018).

Os sistemas de infraestrutura de uma nação estão diretamente atrelados ao desenvolvimento socioeconômico de um país. A escassez de qualidade nesses sistemas afeta diretamente a vida da sociedade desta nação. A falta de energia elétrica e a dificuldade de transporte de passageiros, por exemplo, são problemas evidenciados em países onde o sistema de infraestrutura é deficitário. Geralmente esses países são classificados como subdesenvolvidos. (MCKINSEY, 2013).

Figura 1 – Relação entre o desenvolvimento econômico e o investimento em infraestrutura.



Fonte: MCKINSEY, 2013.

Como evidenciado na Figura 1, percebe-se que países com uma melhor qualidade no sistema de infraestrutura tendem a ter um produto interno bruto – PIB - *per capita* maior. A boa qualidade na infraestrutura é um dos principais requisitos para o rápido crescimento em um mundo competitivo. Ela também é a garantia de investimento em regiões subdesenvolvidas, além de estar diretamente relacionada ao índice de desenvolvimento humano. Tal indicador leva em conta saúde, educação e estilo de vida dos cidadãos de uma nação, preocupação permanente das nações desenvolvidas.

Segundo Joshi (2010), para atingir esse crescimento econômico é necessário o investimento em infraestrutura baseado em projetos de viabilidade econômica, os quais são manuseados através de boas práticas comerciais.

Para Kahn (2004, p. 42):

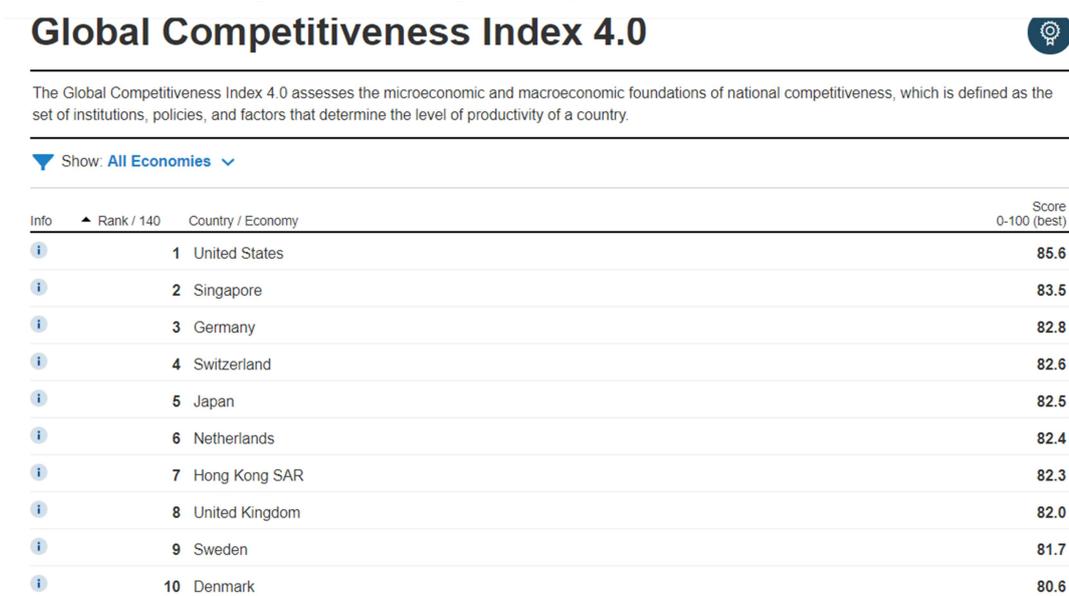
“[...] talvez o sucesso econômico dos países desenvolvidos seja que estes primeiramente investiram na provisão de infraestrutura para depois passarem a ter sucesso em seu desenvolvimento econômico.”

Hermann (2012) divide os benefícios proporcionados por uma boa infraestrutura de transporte em sete tópicos: Redução do tempo de viagem; custos de transportes; segurança; ganhos sociais para a população afetada pelo projeto; criação de empregos nas etapas de implantação, operação e manutenção; capacitação regional de diversificação econômica; e aumento da atratividade econômica regional. O Fórum econômico mundial publica anualmente uma série de relatórios que examinam detalhadamente vários aspectos relacionados ao desenvolvimento e competitividade econômica de uma nação. Esses aspectos são divididos em 12 pilares que compõem o desenvolvimento de uma nação, são eles: Instituições, Infraestrutura, Tecnologias de comunicação e informação, estabilidade macroeconômica, saúde, educação, mercado de produtos, mercado de mão de obra, sistema financeiro, tamanho de mercado, dinamismo de negócios e capacidade de inovação. O pilar 2 representa o desenvolvimento em Infraestrutura (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, os países primeiro colocados em relação ao índice de competitividade global e à qualidade de infraestrutura. Como se pode observar dentre os 10 primeiros no ranking de competitividade econômica, 7 países também figuram entre os de melhor desenvolvimento em infraestrutura, o que demonstra a alta relevância do assunto.

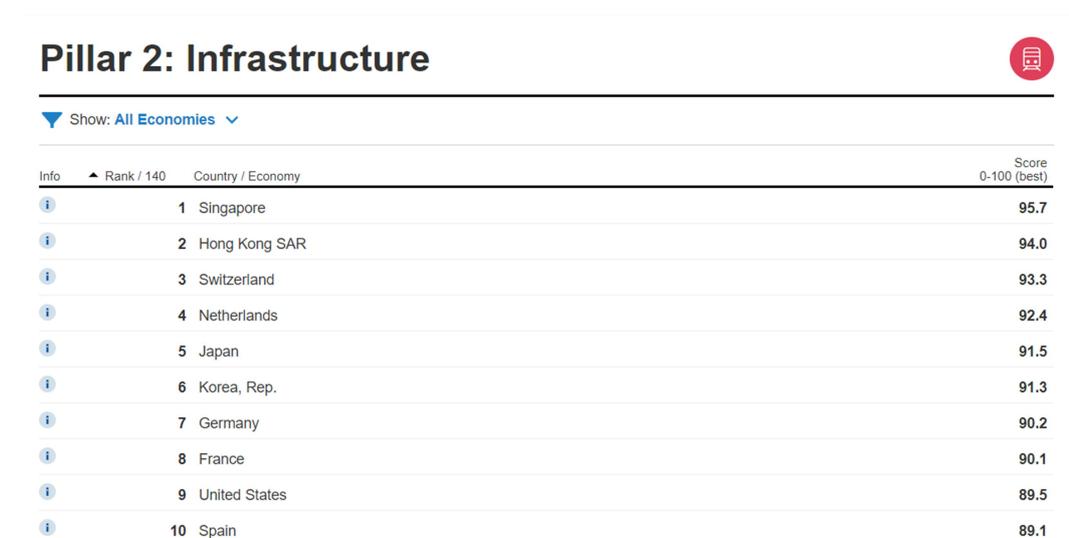
O Brasil encontra-se na posição 72º no ranking de competitividade econômica e em 81º no ranking de desenvolvimento no setor de infraestrutura.

Figura 2 - Ranking de competitividade econômica.



Fonte: WORLD ECONOMIC FORUM, 2019.

Figura 3 - Ranking de desenvolvimento no setor de infraestrutura.



Fonte: WORLD ECONOMIC FORUM, 2019.

2.1.3 DESAFIOS ENFRENTADOS PELO SETOR DE INFRAESTRUTURA

Na segunda metade do século 20, a maioria dos países desenvolvidos tiveram um enorme investimento no setor de construção de infraestrutura, o que alavancou o crescimento dessas nações. Porém, a manutenção dessa infraestrutura grotesca, vem sendo um grande problema para esses países. Nos Estados Unidos, 57% do gasto total em infraestrutura em 2014 foi destinado apenas a operação e manutenção de infraestrutura existente (PARLIKAD, 2016).

Atualmente, os principais desafios enfrentados pelo setor de infraestrutura passam não só pela concepção de novas obras, mas também pela manutenção de obras existentes. Em muitos casos

a manutenção por si só, depende de uma ampliação da capacidade, tornando-a mais complicada do que uma simples manutenção de nível de serviço.

Obras de infraestrutura geralmente possuem múltiplos *stakeholders*, o que pode ser um problema quando o objetivo é atender aos requisitos e expectativas de todos. Além disso, pelo fato de possuir múltiplas disciplinas, o problema de compatibilização de projetos torna-se um agravante para esse tipo de obra.

Segundo Parlikad (2016), os desafios e soluções para a infraestrutura são divididos nas categorias a seguir:

1 – monitoramento ativo e previsão de problemas: devido aos grandes volumes de obras de infraestrutura é muito difícil a inspeção e monitoramento de forma manual, porém com a evolução de novas tecnologias este monitoramento pode ser facilitado.

2 – gerenciamento de dados: na mesma linha de evolução tecnológica, o gerenciamento de dados pode ser uma ferramenta para a previsão de acontecimentos, riscos, surpresas e falhas. Pode ser uma ferramenta muito importante para o entendimento e envolvimento dos *stakeholders*. Além disso a adoção de um sistema de dados padronizado permite uma troca de informações entre as diferentes disciplinas de projeto, acelerando o processo de fluxo do projeto.

3 – Otimização de investimento: o melhor gerenciamento de dados tem como finalidade a otimização de investimentos. Recursos devem ser investidos levando em conta os riscos fornecidos pelo gerenciamento de dados.

4 – Mudança cultural organizacional: implementar um bom sistema de gerenciamento em obras de infraestrutura implica também em uma forte mudança cultural. Mudança de processos, métodos, técnicas e em alguns casos estruturas organizacionais.

O BIM torna-se uma metodologia poderosa para a resolução destes desafios, uma vez que com o auxílio de suas ferramentas de compatibilização multidisciplinares e visualização da geometria 3D fica muito mais fácil a compreensão dos múltiplos *stakeholders*. Suas ferramentas também trabalham com banco de dados, o que facilita muito o processo de gestão de dados.

A mudança cultural e otimização de investimentos passa por mudanças um pouco mais pragmáticas dos integrantes de todas as fases, desde a concepção até a operação e manutenção das obras de infraestrutura. Para a implementação da metodologia BIM, conseqüentemente, os usuários precisarão passar por uma mudança cultural.

2.1.4 CENÁRIO NACIONAL

Em âmbito nacional, estudos apontam a necessidade de investimento de cerca de 8 trilhões de reais em 20 anos para que o país se aproxime do patamar que as nações ricas desfrutam hoje (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Oliveira (2018), a ineficiente e excessiva atuação estatal tornou a infraestrutura nacional defasada e aquém das necessidades da economia brasileira. Para ele, o incentivo à participação privada neste setor e elaboração de Parcerias Públicas Privadas é de extrema importância para o seu desenvolvimento.

As ferrovias concedidas no Brasil na década de 90 apresentaram uma redução no número de acidentes em 86%. Desde o início das concessões, ocorridas entre 1996 e 1997, as ferrovias já investiram mais de R\$ 92 bilhões, que foram destinados, principalmente, na melhoria e na recuperação da malha, na compra e na reforma de material rodante, além da aquisição de novas tecnologias, capacitação profissional, qualificação das operações, entre outros. As concessionárias associadas à ANTF têm investido mais a cada ano em suas malhas. Em 2014, os investimentos bateram recorde, chegando R\$ 6,81 bilhões. Em 2017, foram aplicados R\$ 5,244 bilhões, possibilitando um expressivo crescimento na frota de material rodante. Em 1997, as ferrovias contavam com 1.154 locomotivas. Em 2017, já somavam 3.268 unidades, representando um aumento de 183%. No mesmo período, o número de vagões passou de 43.816 para 109.160 – alta de 149%. (ANTF, 2018)

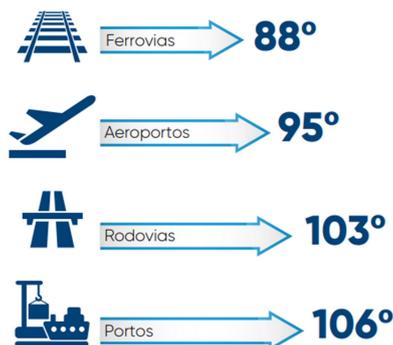
Quando analisada a malha rodoviária brasileira, o sucesso das concessões é significativo. Pesquisas registradas pela Confederação Nacional do Transporte revelam que as rodovias concedidas apresentaram 81,9% de classificação ótima ou boa no estado geral em 2018, uma melhoria de 7,5% em relação ao ano de 2017, enquanto as rodovias públicas federais obtiveram 32,4% da malha classificada como boa ou ótima. (CNT, 2018)

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018), há uma série de oportunidades para aumentar a participação privada em 6% do investimento total em infraestrutura até 2022. 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.

Segundo a CNI (2018), para aumentar a eficiência dos diferentes modais e adequar sua integração é necessário investir em duplicação, adequação, pavimentação, restauração e conservação da malha rodoviária, além de melhorar os serviços de sinalização, controle de peso e velocidade nas rodovias. Já nas ferrovias, o aumento da velocidade dos trens em circulação é essencial para a melhora da integração entre as linhas. A figura 4 ilustra a posição do Brasil em 4 componentes de infraestrutura em um ranking mundial contendo 137 países.

Figura 4 – Posição do Brasil nos componentes de infraestrutura.



Fonte: CNI, 2018.

Analisando os dados apresentados, fica clara a necessidade de o Brasil investir no setor de infraestrutura, para que se atinja um nível de competitividade almejado por países emergentes. Como apresentado na figura 4, o país não possui uma colocação adequada para um cenário de bons investimentos no setor industrial.

2.2 BIM

2.2.1 INTRODUÇÃO

BIM é a sigla de *Building Information Modelling*, ou ainda Modelagem da Informação da Construção, nome dado a uma metodologia de projeto em crescente ascensão na indústria da construção civil. O princípio dessa metodologia utiliza modelos digitais para representar de maneira mais exata possível o ciclo de vida de um empreendimento.

A metodologia, que é a base deste estudo, tem como fundamento um processo inteligente de modelagem 3D que fornece a profissionais arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) as ferramentas e visão para planejar, projetar, construir e gerenciar construções tanto de edificações quanto de infraestrutura (AUTODESK, 2018).

Eastman et al. (2011) define BIM como: “BIM é uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual preciso, que gera uma base de dados que contém tanto informações topológicas como os subsídios necessários para orçamento, cálculo energético e previsão de insumos e ações em todas as fases da construção”.

O desenvolvimento da metodologia é fundamentado na representação digital de características físicas e funcionais de uma construção, permitindo uma integração entre as várias fases do ciclo de vida de uma obra, consolidando uma base confiável para o gerenciamento de informações de projeto desde a concepção até a fase de demolição (NIBS, 2007).

A modelagem da informação da construção traduz-se numa forma digital de construção e operação. Ela une a tecnologia, a melhoria de processos e a informação digital com esta finalidade. BIM é um facilitador estratégico para a melhoria de tomada de decisões tanto para construções de edificações quanto para obras de infraestrutura.

Este novo paradigma se opõe ao atual ciclo de fragmentação de processos e execução destes por partes de equipes distintas que em muitos casos não tem contato entre si. No modelo atualmente existente a concepção, o planejamento e a produção são executados em diferentes etapas e envolvendo pessoas distintas, o que dificulta a comunicação e eficiência de um processo e acaba gerando perdas. (BRANDÃO, 2014)

Segundo Eastman et al. (2011) BIM é uma tecnologia para produzir, comunicar, analisar e gerenciar modelos de construção. Os modelos de construção produzidos em BIM possuem as seguintes características:

- Componentes de construção são representações digitais inteligentes (objetos) que estão associados a certa função, atributos (gráfico e dados) e regras paramétricas.

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

- Dados consistentes e não redundantes: de forma que as modificações dos componentes sejam representadas em todas as visualizações dos componentes.

- Dados coordenados de forma que tenham todas as visualizações de um modelo sejam representados de uma maneira coordenada.

A grande diferença entre BIM e CAD 3D convencional é que o último consiste na descrição de construções através de vistas independentes como plantas, seções e elevações. Qualquer alteração em qualquer uma destas vistas requer a atualização e conferência de todas as demais vistas manualmente. Isto faz com que os projetos fiquem mais suscetíveis a uma documentação com falhas. Além disso, as entidades dos desenhos 3D, nada mais são do que linhas, arcos e círculos, em contraste à semântica inteligente dos modelos BIM, onde os objetos caracterizam-se por possuírem características próprias, a exemplo de paredes, vigas, colunas, etc. (AZHAR; KHALFAN; MAQSOOD, 2015).

Eastman et al.. (2011) cita que o termo BIM é frequentemente utilizado de forma errônea. O autor define ainda que as ferramentas que criam os seguintes tipos de modelo não podem ser classificadas como tecnologia BIM:

- 1) Modelos que só contam com dados 3D, sem atributos de objetos;
- 2) Modelos sem suporte para comportamento;
- 3) Modelos que são compostos de múltiplas referências a arquivos CAD 2D que devam ser combinados para definir a construção;

4) Modelos que permitem modificações de dimensões em uma vista que não são automaticamente refletidas em outras vistas.

Portanto o *Building Information Modeling* não consiste em um programa específico, mas sim numa nova metodologia de gerenciamento, comunicação, modelagem e documentação de projeto, onde todo o ciclo de vida de uma construção está contido dentro do modelo e as diferentes disciplinas possam liberdade para compartilhar estas informações.

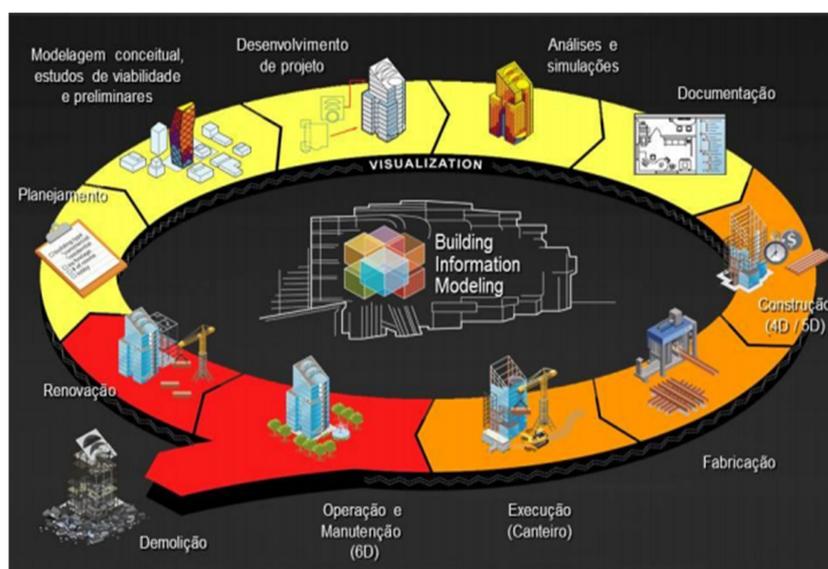
Desta forma, o BIM provém uma série de recursos que são muito mais difíceis de serem detectados pelo processo convencional. A percepção antecipada de interferências e situações de manutenção durante o ciclo de vida da edificação são exemplos de como essa metodologia pode auxiliar na concepção e operação de edificações.

Com as ferramentas que usem modelagem de informação da construção, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumo necessário para a realização da execução. (EASTMAN et al. , 2011).

Para tanto, é necessário quebrar um paradigma presente na indústria da construção: a divisão de equipes distintas para as diferentes disciplinas de projeto. O processo atual de projetos dificulta muito a compatibilização, gerenciamento e planejamento do empreendimento. Conflito de interesses, dificuldade de entendimento das nomenclaturas e representações, entre outros, são problemas que são diariamente enfrentados pela indústria da construção.

A figura 5 a seguir mostra a abrangência do fluxo de trabalho do BIM para o ciclo de vida de uma construção.

Figura 5 – abrangência do BIM no ciclo de vida de uma construção.



Fonte: Mello, 2012.

Como é possível observar, o BIM, diferentemente da metodologia de projetos 2D, está presente em todo o ciclo de vida da construção. Ele funciona como uma ferramenta de auxílio para que engenheiros e arquitetos possam prever o funcionamento do objeto antes mesmo de ser construído. Além disso, permite fácil e segura troca de informações entre os projetistas no caso de qualquer mudança do projeto. A metodologia também funciona como uma facilitadora no processo de integração e compatibilização entre projetos de diferentes equipes.

Para Farr et al. (2014), o BIM tem maior impacto na fase de concepção de um objeto, uma vez que permite melhor avaliação para decisões de concepção inicial. Posteriormente a metodologia impacta no nível de modelagem, detalhamento, especificações, planejamento, custo e gerenciamento colaborativo.

2.2.2 MODELAGEM PARAMÉTRICA

A modelagem paramétrica consiste em representar objetos por parâmetros e regras que determinam a geometria, assim como propriedades e características não geométricas, como material e custo. A principal diferença entre a modelagem paramétrica e a representação de geometrias e propriedades fixas, é que a primeira metodologia permite atualizar automaticamente quaisquer objetos inseridos no modelo que estão relacionados a uma determinada regra ou parâmetro, de acordo com o controle do usuário, enquanto que na segunda seria necessária a mudança de cada objeto separadamente, uma vez que não há parâmetros e regras definindo os objetos (EASTMAN et al., 2011).

Um projeto paramétrico consiste na utilização de parâmetros para criação de objetos com propriedades integradas entre si. Os parâmetros definem geometrias, forma, dimensões, entre outras coisas, que, ao final, darão uma resposta de projeto automática com relação nos parâmetros definidos (MAKEBIM, 2017).

Historicamente, a modelagem de edifícios através de sólidos 3D foi desenvolvida no início da década de 1980. Este trabalho foi desenvolvido paralelamente com as áreas de produtos mecânicos, industriais, aeroespaciais, elétricos e de construção. Porém, os sistemas de modelagem de sólidos eram funcionalmente poderosos e possuíam requisitos de hardware muito avançados para a época. Uma licença de software podia ultrapassar US\$ 35.000 na época. As indústrias aeroespaciais e de manufatura observaram benefícios como a redução de erros, capacidade integrada de análise e automação de fábrica. No entanto, a indústria da construção não reconheceu estes benefícios e passou a adotar editores de desenho 2D (EASTMAN et al, 2011).

A principal diferença entre um modelo BIM e um desenho tridimensional CAD 3D é que, enquanto o BIM trata os objetos como objetos paramétricos, os elementos do CAD 3D ou do CAD

tradicional tratam os objetos como elementos sem parâmetro, sendo necessária a alteração em cada vista de projeto e em cada objeto separadamente (BRANDÃO, 2013).

Segundo Eastman et al. (2011), no CAD 3D tradicional, ao alterar um objeto, cada aspecto de sua geometria deverá ser alterada manualmente. Já em um modelador paramétrico, regras são definidas para que as geometrias se ajustem automaticamente às modificações de um parâmetro definido pelos usuários.

Conjuntos de objetos paramétricos são ligados a regras que definem sua geometria a partir de parâmetros ligados a ângulo, distância e regras como: conectado a, paralelo com, etc. Alguns ainda permitem condições, porém estas condições são muito mais complexas de serem definidas. As condições geralmente envolvem substituição de objetos ou ligações, com base no teste de alguma condição lógica. Através dessas regras e condições, os sistemas de modelagem paramétricas desfrutam de algumas facilidades que facilitam muito o fluxo de projeto de qualquer profissional. Por exemplo, a detecção de interferências entre dois elementos (*clash detection*), que podem ser interferências estritas como o encontro entre uma janela e uma viga ou um tubo atravessando um pilar, ou até mesmo interferências brandas como o espaçamento muito reduzido entre vergalhões de uma armadura (Eastman et al., 2011).

2.2.3 INTEROPERABILIDADE

Atualmente não existe no mercado uma ferramenta que consiga integrar todas as tarefas associadas ao projeto e à produção de uma construção. Com base nessa afirmativa, a interoperabilidade representa a necessidade de transferência de dados entre as diferentes aplicações, de uma forma eficiente, que vise aprimorar a automação. Um dos requisitos de um software BIM é a funcionalidade de exportações e importações no formato IFC (Industry Foundation Classes), possibilitando a comunicação entre as diferentes equipes de projeto. (EASTMAN et al., 2011).

Interoperabilidade é a capacidade de implementar e manter as relações colaborativas entre diferentes integrantes de um projeto. Quando o termo é relacionado a softwares, entende-se que é a capacidade de comunicação e troca de informação entre diferentes aplicativos, de forma completa e confiável. Ao longo do tempo já houve diversas iniciativas para melhorar a interoperabilidade entre os aplicativos, geralmente por meio da criação de formatos universais de classificação e organização dos elementos da construção.

Segundo Eastman et al. (2011), há quatro maneiras que são tipicamente utilizadas no processo de intercâmbio de arquivos entre softwares:: Ligações diretas, formatos de arquivos de intercâmbio proprietário, formatos públicos de intercâmbio e formatos de intercâmbio baseados em XML (Extensible Markup Language).

O IFC é um tipo de formato de intercâmbio público, pois envolve o uso de um padrão aberto o qual carrega, dentro do modelo, informações geométricas, propriedades de objetos e materiais e também relações entre os elementos. Por outro lado temos as ligações diretas, que consistem basicamente em uma conexão integrada via uma interface, geralmente baseadas em softwares middleware que integram diretamente duas aplicações.

As companhias de software geralmente preferem fornecer formas de intercâmbio de dados via ligação direta, pois suas aplicações podem suportá-las mais facilmente e ainda evitam que seus clientes utilizem aplicações concorrentes.

No entanto, o método de integração é crucial para grandes equipes conseguirem a interoperabilidade entre diferentes softwares utilizados. Tal procedimento é mais fácil do que conseguir com que todas as equipes utilizem as ferramentas desenvolvidas pela mesma companhia. Além disso, tratando-se de obras públicas, a legislação, normalmente, não permite que haja monopólio de uma plataforma. Somente o IFC possui padrões públicos aceitos e reconhecidos internacionalmente (EASTMAN et al., 2011).

IFC ou Industry Foundation Classes é uma padronização global para troca de dados na indústria da construção. IFC é um modelo de dados em comum e de formato aberto. Profissionais da indústria da construção podem usar o IFC para compartilhar dados independentemente de qual software utilizem para trabalho. As extensões permitem compartilhar informações de projetos, desde características dos componentes, análises, simulações, custos e afins. (BUILDING SMART, 2016).

O IFC é apenas uma das cinco tipos de padronizações do portfolio da Building Smart (2016), cada uma possui focos e funções diferentes, mas todas buscando dar suporte aos ativos do ambiente da construção. IDM (*Information Delivery Manual*), IFD (*International Framework for Dictionaries*), MVD (*Model View Definitions*) e BCF (*BIM Collaboration format*) são as outras padronizações, com ênfase para a última que se trata de um esquema para codificar mensagens que informam um conjunto e problemas encontrados no modelo BIM para outro software, possibilitando então um fluxo de trabalho colaborativo entre as equipes de projeto.

2.2.4 BENEFÍCIOS DO BIM

Quando se fala em benefícios que podem ser proporcionados pelo uso da metodologia BIM, observa-se ganhos significativos desde a fase de concepção até a fase de pós-construção, atingindo diversos integrantes do processo do ciclo de vida de uma construção.

Na fase de conceito, viabilidade e benefícios no projeto, um modelo de construção aproximado (ou macro) construído e vinculado a uma base de custos, pode facilmente ser concebido

por tecnologias BIM, indicando a viabilidade ou não de um empreendimento sem que muitos esforços sejam empreendidos e tempo sejam gastos. (EASTMAN et al., 2011).

Para Eastman et al. (2011) são diversos os benefícios do BIM para o ciclo de vida de uma construção, podendo ser divididos pelas fases deste ciclo. A divisão descrita pelo autor compreende as fases de projeto, de construção e fabricação e de pós-construção.

Na fase de projeto, o uso do BIM pode ser utilizado para visualização em qualquer etapa do processo com a expectativa de que terá dimensões consistentes em todas as vistas. Correções automáticas de baixo nível quando realizadas alterações no projeto, colaboração antecipada entre múltiplas disciplinas de projeto, geração de documentação consistente de forma rápida e precisa, verificação facilitada das intenções de projeto e a extração de estimativas de custo durante a etapa de projeto também são vantagens desfrutadas pelas equipes que utilizam BIM.

Já na fase de construção o BIM traz como benefícios: a sincronização de projeto e planejamento da construção, a descoberta de erros de projeto e omissões antes da construção (*clash detection*), reação rápida a problemas de projeto ou do canteiro, uso do modelo de projeto como base para componentes fabricados, melhor implementação e técnicas de construção enxuta e a sincronização da aquisição de materiais com o projeto e a construção.

Por fim, na fase de pós-construção: melhor gerenciamento e operação das edificações e integração com sistemas de operação e gerenciamento de facilidades.

2.3 BIM APLICADO A INFRAESTRUTURA

2.3.1 INTRODUÇÃO

Enquanto a utilização do BIM aplicado a edificações vem crescendo exponencialmente, a evolução da utilização do BIM aplicado a Infraestrutura de transportes ainda encontra-se limitada e caminhando a passos lentos (BAE et al., 2015).

Obras de infraestrutura são a chave para o desenvolvimento social e econômico das nações. Aplicar novas metodologias e melhorias de processos nos projetos e operações nesta área é algo essencial. Considerando as capacidades gerais, o BIM pode ser uma importante chave para o desenvolvimento da qualidade de obras de infraestrutura durante seu ciclo de vida (COSTIN, 2018).

No entanto, entre 2012 e 2017 observou-se um significativo crescimento na adoção do BIM para infraestrutura, em pelo menos metade dos projetos, de 20% para 52% em alguns países da Europa e nos Estados Unidos. Segundo a pesquisa realizada entre diversas organizações, situadas em França, Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido, constatou-se que das empresas que realizam projetos de túneis, 86% utilizam BIM em seus projetos. A menor taxa se dá para estradas, onde 76% das empresas que realizam projetos de estradas utilizam BIM em seus projetos. (JONES, 2017).

Segundo Costin (2018), O BIM pode ser aplicado como uma ferramenta de gerenciamento de risco visando aumentar a segurança. O planejamento 4D, onde adiciona-se a variável tempo ao modelo, ou seja, planejar e definir a ordem e a duração das tarefas, o que pode ajudar na análise de risco de um empreendimento. O BIM pode ajudar profissionais a reduzir e encontrar erros durante a fase de construção que podem aumentar a produtividade e reduzir riscos associados a tempo e custos, os quais podem ser simulados, visualizados, quantificados e qualificados através da utilização da metodologia.

O uso do BIM aplicado à infraestrutura de transporte, como uma construção de um corredor de metrô subterrâneo, durante a fase de construção, reduz problemas de coordenação entre as diversas partes envolvidas no trabalho multidisciplinar, além de intensificar o projeto colaborativo, podendo reduzir o risco e o custo total de projeto. Portanto, possibilita às autoridades de projeto analisar o potencial e a economia gerada pelo uso da metodologia e ainda alertá-las sobre as possíveis consequências se um gerenciamento de risco e um planejamento de tempo e custo não forem seguidos. (SARKAR, 2016).

A prototipagem virtual, simulação e design da infraestrutura trouxe inúmeros benefícios à indústria através da melhor visualização e utilização dos dados, com impactos positivos desde a fase de estudo de viabilidade, comparando diversos cenários de design, visualizações dos processos construtivos, estudos de viabilidade do projeto e documentação do projeto. (COSTIN, 2018).

Outro benefício proporcionado pela aplicação da metodologia BIM é na análise da sustentabilidade e consumo de energia durante todo o ciclo de vida de uma obra de infraestrutura de transporte. Esta análise pode conter importantes dados para um estudo de consumo de energia da sinalização e iluminação de uma rodovia e a quantidade de combustível gasto para manutenção de equipamentos. (MARZOUK et al., 2017).

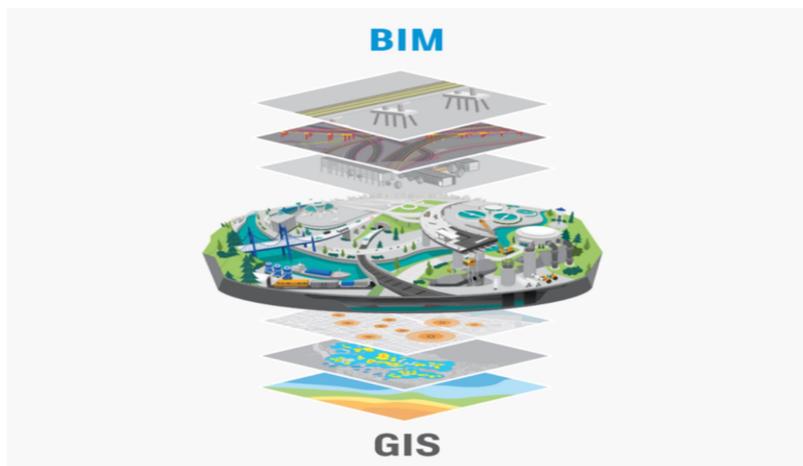
Segundo Jones (2017) os principais benefícios de projeto desfrutados pelo uso do BIM aplicado a este tipo de empreendimento são: a melhoria no processo de capacitação de projetistas mais novos, aumento na capacidade de fornecer serviços, estabelecimento de um processo de entrega de projeto mais repetitivo, manutenção e aumento do portfólio e diminuição no tempo de documentação e aumento no tempo dedicado a design.

A integração entre o Sistema de Informações Geográficas (SIG ou GIS) e modelos BIM é um ponto muito importante para esse tipo de obra, já que as mesmas, por serem de grande dimensão dependem muito de sua localização geográfica. Essa integração pode permitir a rápida análise de custos adicionais, como desapropriações.

O SIG é composto por equipamentos e ferramentas que permitem a manipulação, armazenamento e análise de dados espaciais. Sistemas computacionais baseados em SIG possuem uma base de dados georreferenciados, possibilitando a manipulação de dados geoespaciais (BRANDÃO APUD MARBLE, 2013) e por este motivo possuem grande valor para obras de

engenharia, permitindo a criação de modelos integrados com dados de seu entorno, ou seja, rios, áreas inundáveis, zonas urbanas, zoneamentos, entre outros. A figura 6 demonstra um produto conceitual final advindo da integração entre BIM e GIS.

Figura 6 - Integração entre BIM e GIS.



Fonte: Autodesk, 2019.

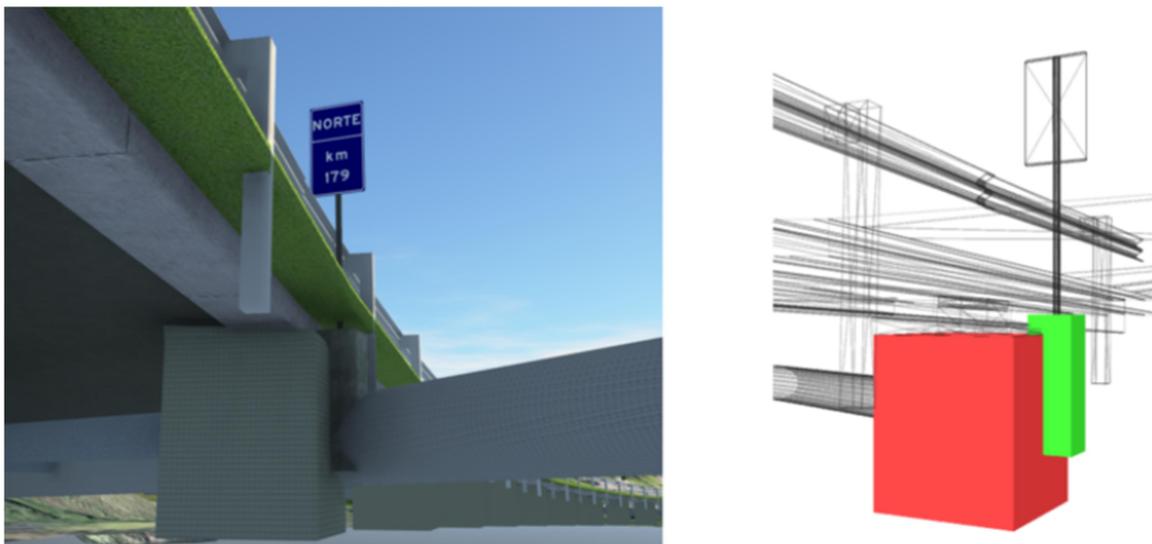
Outra importante vantagem de um modelo BIM é a fácil renderização de projetos, permitindo uma comunicação com o cliente de forma eficiente e rápida. Muitas vezes o cliente não possui os conhecimentos necessários para concepção de um objeto a partir de vistas em duas dimensões. Logo, a renderização e visualização de objetos em três dimensões de forma pouco trabalhosa torna-se uma das características mais marcantes de um modelo BIM.

Um grande problema encontrado em obras de grande dimensão é a perda de informações durante o fluxo de projeto. Obras desse porte exigem uma quantidade muito grande de informações para seu devido dimensionamento.

A forma com que exige-se projetos de rodovias no Brasil dificulta muito o processo de análise de interferências entre empreendimentos. A visualização 2D torna difícil e trabalhosa a verificação destes aspectos, sendo muitas vezes, esses serviços, deixados de lado pelos órgãos responsáveis.

Um modelo virtual parametrizado facilitaria muito a análise de incompatibilidades entre projetos, custos e verificações de regras. Diversos softwares BIM já permitem a verificação destas incompatibilidades de forma fácil e rápida. A Figura 7 demonstra o uso do BIM para análise de interferência entre diferentes disciplinas de projeto, utilizando o software Navisworks.

Figura 7 – Análise de interferência entre projetos de sinalização e drenagem.



Fonte: Autodesk, 2018.

2.3.2 PONTES

Na construção de pontes, o BIM vem tornando-se uma ferramenta amplamente competente para o projeto e construção (HUANG et al., 2011). O BrIM, como é conhecido, da sigla *Bridge Information Modeling*, pode ser aplicado durante todo o ciclo de vida de uma ponte (COSTIN, 2018). O BrIM melhora a qualidade e precisão dos desenhos, além da construtibilidade e permite uma melhor colaboração entre os integrantes, graças ao modelo virtual 3D inteligente da ponte que contém toda a informação necessária para o ciclo de vida da estrutura (OKASHA & FRANGOPOL, 2011).

Um dos ramos do BrIM trata de inspeções de pontes, uma vez que a maioria das inspeções são realizadas manualmente. Inspeções manuais podem ser difíceis, incompletas e subjetivas, uma vez que dependem da interpretação humana para sua realização (HÜTHWOHL, 2016). Diversos métodos alternativos vêm sendo desenvolvidos e usados para coleta de dados, tais como sensores de deformações e esforços, sensores wireless, tecnologias robóticas, UAS (Sistemas aéreos automatizados) ou UMV (Veículos marítimos automatizados). Além desses dispositivos, o *Laser Scanning* é uma tecnologia que torna-se bastante promissora para o ramo, uma vez que a partir de uma nuvem de pontos coletada por estes equipamentos é possível guardá-la e manuseá-la em um modelo BIM a fim de acompanhar e analisar defeitos nos elementos da ponte. (COSTIN, 2018).

Alguns estudos foram realizados a fim de estabelecer e validar propostas para o uso de BIM aplicado em Pontes. Tanaka et al. (2016) propôs um modelo de informação, baseado em IFC, com a finalidade de suporte a inspeção de pontes. Al-Shalabi et al. (2015) usou um modelo BIM para praticar e validar a inspeção de pontes utilizando a metodologia de nuvem de pontos. Os resultados de suas pesquisas indicou que, apesar dos muitos desafios enfrentados na implementação

da metodologia, muitos dos profissionais da indústria acreditam que BIM aplicado a pontes pode ajudar significativamente no processo de inspeção, atingindo redução de custos com manutenção e reparo. (COSTIN, 2018).

Apesar do BIM aplicado a pontes parecer ter um custo considerável para o projeto num estágio inicial, pesquisas mostram que este custo possui uma significativa viabilidade durante a construção do projeto. O custo da aplicação da metodologia aplicada a pontes representa apenas uma fração de até 15% do total de economia gerada pela implementação do processo. A precisão e a fácil e rápida documentação podem trazer muitos ganhos financeiros, técnicos e ainda ajudar na realização de previsões e planejamento, gerando diversos benefícios para os *stakeholders* do empreendimento. (COSTIN APUDI MINEHANE et al. , 2018).

2.3.3 FERROVIAS

Apesar de não possuir muitos estudos nessa área, o BIM pode ser utilizado para projetos de alinhamentos de ferrovias tanto na fase de design como de operação. Kurwui et al. (2017) revisou os benefícios na associação das funcionalidades do BIM e GIS integradas para ferrovias e constatou os benefícios encontrados no suporte a tomada de decisões e integração com a fase de construção. Jubierre e Borrman (2015) usaram a metodologia para a modelagem de um túnel ferroviário em Munique, na Alemanha e seus resultados obtidos provaram que o método pode ser aplicado para projeto e modificação de túneis ferroviários, uma vez que trazem flexibilidade em mudanças com a manutenção da consistência do modelo. Zak e Macadam (2017) usaram um modelo BIM para a modelagem e modernização de uma estação ferroviária na República Checa. (COSTIN, 2018).

2.3.4 TÚNEIS

Recentemente alguns estudos buscaram aumentar e melhorar o nível do armazenamento e uso de dados, visando aumentar a eficiência do fluxo de projeto aplicado a túneis. O BIM tem se mostrado uma importante ferramenta para esta finalidade. Sugiyama et al. (2013) propuseram utilizar ferramentas para visualização e monitoramento das condições da câmara de corte de túneis. Amann et al. (2013) desenvolveram um modelo de alinhamento baseado em IFC para a padronização de um formato de troca de dados para o design e manutenção de obras de túneis. Como resultado obteve-se um modelo de alinhamento de túnel muito versátil, o qual poderia integrar-se com outras extensões de infraestrutura baseadas em IFC, como o IFC-Bridge, para pontes.

Tagliari (2018) buscou realizar a análise de traçados de túneis a partir de aplicações BIM. Em seu estudo, propôs um modelo paramétrico de definição automatizada de perfis de túneis a

partir de um alinhamento pré-definido. O modelo produzido contém informações de quantitativos que permitem uma análise rápida e simplificada da viabilidade do traçado.

2.3.5 AEROPORTOS

Simulações e modelos digitais de aeroportos podem reduzir consideravelmente erros de projeto e operação (COSTIN, 2018). Devido à sua complexidade, o BIM pode ajudar a diminuir consideravelmente os problemas de coordenação de projetos em terminais de aeroportos ao facilitar a detecção de interferências entre as diversas disciplinas que constituem um terminal de aeroporto (BADRINATH et al., 2016).

Para Costin (2018), além da questão da coordenação de projetos, o BIM pode auxiliar na análise das condições de entorno do empreendimento, como modelagem energética ou impactos ambientais.

Segundo Cheng et al. (2016), o uso da aplicação do BIM para projetos e planejamento de aeroportos ainda é limitado, se comparado a túneis e pontes, e há uma ampla área para desenvolvimento de estudos neste contexto.

2.3.6 RODOVIAS E ESTRADAS

A adoção do BIM para construções rodoviárias é uma ferramenta altamente útil para a fase de projeto, reduzindo tempo e trabalho na fase de elaboração de projeto, reclamações de clientes, além de aumentar a precisão da retirada de quantitativos, reduzindo falhas construtivas e risco de superfaturamento de obras (BRANDÃO, 2014).

O BIM pode ser uma importante ferramenta para a melhoria das fases de projeto de estradas e rodovias, podendo ser aplicada para design, planejamento, e manutenção delas (REEDER & NELSON, 2015). Para Kim et al. (2014) a busca de alternativas para diferentes traçados é a tarefa mais tediosa e que consome mais tempo e custo. Sua pesquisa propôs uma modelagem usando orientação a objetos a fim de automatizar a estimativa de custos e tempo de execução de uma obra rodoviária. Os autores constataram que, ao aplicar um modelo 3D orientado a objetos, obtém-se um grande impacto na diminuição do consumo de tempo e trabalho na verificação de comparação de diferentes alinhamentos. Augustine e Eldhouse (2016) trabalharam com o modelo de três alinhamentos 3D para comparação do cálculo de corte de aterro entre eles. Seus estudos levaram a resultados aceitáveis, com redução no tempo de projeto se comparado com a metodologia convencional.

Estradas e rodovias seguem uma série de regras repetitivas ao longo de toda sua extensão. Essas regras podem ser automatizadas pelo uso de ferramentas BIM (COSTIN, 2018). Mawlana et

al. (2015) e Liapi (2003) desenvolveram estudos a partir de técnicas de modelagem 4D para a otimização de sequência de tarefas de construção de rodovias. Esses autores constataram em seus estudos uma significativa otimização de uso de recursos e diminuição de desperdício. Além disso, o trabalho de Mawlana et al. (2015) constatou uma melhoria na fase do plano de viabilidade e nos processos de detecção de colisões de atividades, auxiliando na tomada de decisões.

Sankaran et al. (2016) constataram que os maiores obstáculos para o desenvolvimento do BIM para projetos públicos de rodovias são o estabelecimento de processos de elaboração de projeto e a falta de clareza e recursos legais no momento de estabelecimento de cláusulas contratuais. No entanto, como conclusão, o estudo revela que o BIM pode auxiliar na entrega de projetos de rodovias totalmente digitais.

Segundo Brandão (2014) existem diversos benefícios adquiridos ao realizar a integração do BIM a projetos rodoviários. A aplicação do BIM para retirada de quantitativos de terraplenagem e movimento de terra, a retirada de quantitativos das camadas da estrutura de pavimentação de uma rodovia, a análise de interferências entre as rodovias e os sistemas de drenagem urbanos e a integração entre BIM e GIS são as principais funcionalidades proporcionadas pelas ferramentas em seus estudos.

O projeto geométrico de uma estrada depende de sua velocidade diretriz. Raios de curvas horizontais, curvas parabólicas verticais, larguras de pistas, são dimensionadas com base em parâmetros definidos pelo projetista. Como visto anteriormente, uma das características de um modelo BIM é a criação de modelos paramétricos, permitindo ao usuário o projeto de uma estrada de forma rápida e pouco trabalhosa, desenhando automaticamente os raios conforme a necessidade e os parâmetros informados.

Além do projeto geométrico da rodovia, é possível o dimensionamento dos elementos secundários da estrada, como elementos de estabilização de taludes, drenagem, pavimentação, entre outros. De maneira geral, todos esses elementos podem ser modelados de maneira paramétrica, possibilitando uma diminuição no trabalho para o projetista.

O alinhamento de uma estrada consiste em um objeto geométrico contínuo com 3 dimensões (3D) composto por diversas camadas, além da terraplanagem, como base, sub-base, pavimento, calçada, acostamento, entre outros. Portanto, a elaboração de um modelo contendo todos os componentes da estrada é de suma importância. O método tradicionalmente adotado para a elaboração de projetos de pavimentação de rodovias consiste em um conjunto de desenhos 2D que apresenta dificuldade em descrever por completo um empreendimento, já que a representação de um objeto (3D) necessita de muitas vistas para representá-lo por completo (BRANDÃO, 2013).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração deste trabalho foi desenvolvida com o intuito de obter os melhores resultados possíveis ao final da fase de desenvolvimento.

Primeiramente, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca do tema BIM, infraestrutura e BIM aplicado a infraestrutura, de modo a dar sustentação teórica para a fase de desenvolvimento. A busca pela sustentação teórica deu-se em livros, revistas, artigos científicos, dissertações, teses e outros trabalhos de conclusão de curso publicados.

Em seguida, foi necessário realizar uma pesquisa utilizando recursos da web para a obtenção de softwares e ferramentas BIM. A escolha dos softwares utilizados deu-se pela facilidade de obtenção de licença estudantil e acesso às aulas e tutoriais disponibilizadas de forma gratuita.

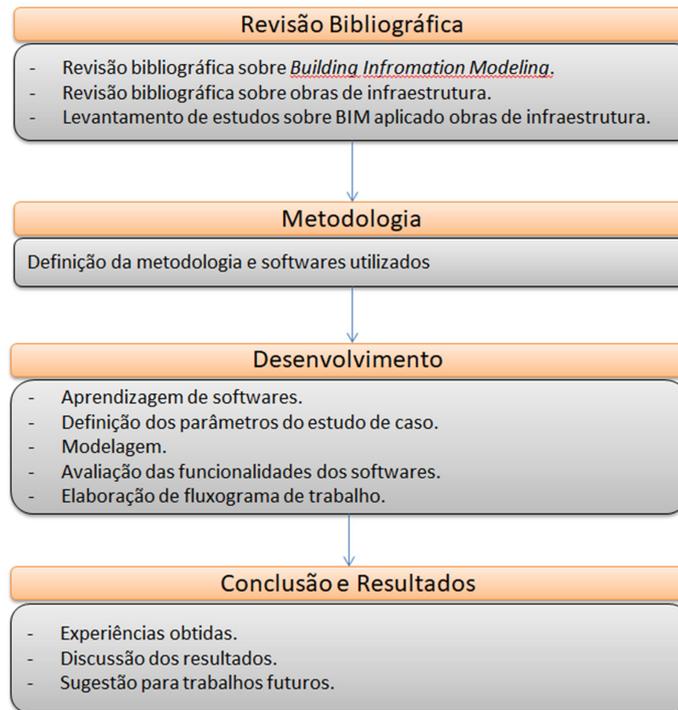
Os softwares utilizados foram Autodesk Infracore, Autodesk AutoCAD Civil 3D e Autodesk Navisworks Manage, todos eles desenvolvidos pelo mesmo fornecedor, a Autodesk.

Foi necessário o aprendizado destas ferramentas por parte do autor, de forma a adquirir o maior conhecimento possível no tempo estipulado.

Posteriormente foi realizado um estudo de caso com o objetivo de demonstrar as aplicabilidades e benefícios da metodologia BIM a um projeto de uma obra rodoviária localizada em Santa Catarina, Brasil.

Os pontos abordados no estudo buscaram demonstrar as facilidades de modelagem da via, as retiradas de quantitativos, visualização e simulações construtivas.

Figura 8 – Fluxograma de trabalho.



Fonte: Autor (2019).

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho objetiva a exploração das ferramentas BIM e os recursos proporcionados por sua aplicação. No entanto, seria inviável o estudo de todas as ferramentas disponibilizadas no mercado. Por isso, o enfoque foi direcionado à utilização de ferramentas as quais disponibilizam licenças estudantis. Estas ferramentas e suas funcionalidades serão apresentadas neste tópico.

Para este estudo, considerou-se o traçado de uma obra de pavimentação localizada na Rodovia SC-436. O trecho em questão, no projeto legal, recebeu o nome de “AC. Santuário Albertina Berkenbrock - INT . SC-437” e consiste em uma via rural arterial localizada em terreno ondulado. Geograficamente o trecho liga os municípios de Imaruí e localidades de São Tomás, São Luís, cortando o distrito de Aratingaúba. O trecho localiza-se no Estado de Santa Catarina, Brasil. O projeto é de responsabilidade do órgão estadual: “Departamento de Infraestrutura Estadual de Santa Catarina - DEINFRA”. Como limitação, no entanto, foi feito um estudo realizando-se um traçado sobrepondo o traçado já fornecido pelo órgão estadual, pois foi disponibilizado apenas uma foto do projeto legal do trecho e não um arquivo contendo as informações necessárias para a realização de um estudo de viabilidade completo.

Esta limitação foi imposta pela dificuldade em conseguir acesso aos dados de projetos realizados de responsabilidade do órgão.

O trecho localiza-se na latitude 22S segundo o sistema de coordenadas geodésicas SIRGAS. Por este motivo, o sistema de coordenadas escolhido para modelagem do traçado foi o SIRGAS 2000 - 22S.

Para o projeto geométrico do trecho em questão, utilizou-se o manual de projeto geométrico de rodovias rurais, publicado pelo extinto DNER, em 1999. Toda a confecção da geometria estradal, assim como seções transversais, valores de superelevação, raios de curvas serão obtidos a partir deste manual.

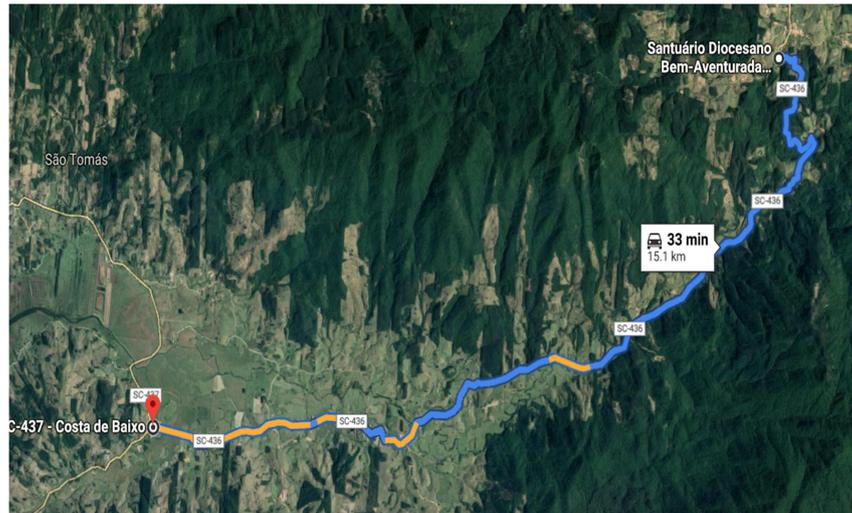
Para o desenvolvimento do presente trabalho primeiramente será apresentada uma caracterização do trecho rodoviário. Posteriormente, serão expostas as funcionalidades e as ferramentas utilizadas, fornecendo uma breve introdução dos benefícios obtidos por cada uma delas e um fluxo de trabalho que deve ser obedecido entre as ferramentas, para melhor aproveitamento de suas funcionalidades.

Após apresentadas as ferramentas, serão abordados os procedimentos utilizados para a confecção do projeto da obra, começando pela modelagem do terreno a partir de uma base de dados pré-definida, definição do traçado, cálculo de volumes e materiais, documentação e a visualização do modelo final.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

Como mencionado anteriormente, o trecho proposto busca a melhoria do traçado e pavimentação desde a intersecção entre a rodovia SC-437 e a rodovia SC-436 até o Santuário Bem-Aventurado Albertina Berkenbrock. A Figura 8 representa o trecho da rodovia existente não pavimentada, retirada do google maps.

Figura 9 – Trecho existente.



Fonte: GOOGLE (2019).

A representação qualitativa do traçado do projeto, fornecido pelo órgão em questão, encontra-se em anexo (ANEXO - a). Como mencionado anteriormente, só foi possível a obtenção de fotos caracterizando o trecho. A distância da rodovia inalterada é de aproximadamente 15,1 km (Google Maps). O projeto visa a diminuição desta distância para 14 km, além da melhoria de aspectos geométricos, como raios de curva, visibilidade, entre outros, além das condições de rodagem da via. No traçado do projeto legal já é possível visualizar a presença de 4 Obras de artes especiais (OAEs): Ponte sobre Córrego Salto Grande, Ponte sobre o Rio Aratingaúba I, Ponte sobre o Rio Aratingaúba II e Ponte sobre o Córrego Três Cachoeiras. Pode-se também observar 3 Interseções de vias: Interseção de Acesso São Marcos, Interseção de Acesso Aratingaúba Sul e Interseção de Acesso Aratingaúba Norte. Como nenhuma delas foram descritas no projeto, considerou-se todas como interseções em nível. As obras de arte foram modeladas de forma a obter um modelo de estudo preliminar o mais completo possível.

O trecho em estudo trata-se de uma rodovia de pista simples classe II localizada em relevo ondulado. Segundo o manual DNIT(1999), as características geométricas para essa classe são dadas a seguir, no quadro a seguir, retirado no manual de projetos geométrico DNIT (1999):

Quadro 1 – Características Básicas do projeto geométrico de Rodovias Classe II.

Características	Região		
	Plana	Ondulada	Montanhosa
Velocidade diretriz	100 km/h	70 km/h	50 km/h
Distância mínima de visibilidade de parada			
• desejável	210m	110m	65m
• absoluta	155m	90m	60m
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem	680m	490m	350m
Raio mínimo de curva horizontal (e = 8%)	375m	170m	80m
Rampa máxima	3%	5%	7%
Valor mínimo de K para curvas verticais convexas:			
• desejável	107	29	10
• absoluto	58	20	9
Valor mínimo de K para curvas verticais côncavas:			
• desejável	52	24	12
• absoluto	36	19	11
Largura da faixa de rolamento	3,60m	3,50m	3,30m
Largura do acostamento externo	2,50m	2,50m	2,00m
Gabarito mínimo vertical			
• desejável	5,50m	5,50m	5,50m
• absoluto	4,50m	4,50m	4,50m
Afastamento lateral mínimo do bordo do acostamento			
• obstáculos contínuos	0,50m	0,50m	0,50m
• obstáculos isolados	1,50m	1,50m	1,50m

Fonte: DNIT, 1999.

4.2 FERRAMENTAS E FUNCIONALIDADES UTILIZADAS

Neste tópico serão abordadas as ferramentas e suas principais funcionalidades utilizadas para a confecção do projeto.

4.2.1 INFRAWORKS

O Infracworks é uma ferramenta disponibilizada pela Autodesk que suporta processos BIM, possibilitando a engenheiros e *designers* obterem um melhor planejamento e concepção de projetos de infraestrutura. O software conta com funcionalidades de integração entre BIM e GIS, onde pode-se alimentar vários dados presentes na área de estudo, como por exemplo

edificações, rodovias e terrenos preexistentes. Como os dados inseridos consistem em elementos geométricos em 3 dimensões, essa integração permite uma melhor compreensão dos resultados e áreas que serão afetadas com os projetos (BRANDÃO, 2014).

Para alimentar o banco de dados do Infracad, existem diversas maneiras. Pode-se alimentá-los manualmente através do próprio software ou utilizar modelos baseados em dados XML, IFC, entre outros formatos *raster* ou vetoriais.

O Infracad consiste em uma ferramenta para auxiliar na produção de projetos conceituais e estudos de viabilidade. Ele não possui como finalidade a elaboração de projetos executivos, embora apresente resultados bastante satisfatórios.

Recentemente, a fabricante do software lançou um novo recurso para a ferramenta, chamado Autodesk ReCap, onde o usuário pode inserir arquivos de nuvens de pontos no modelo. Esta nova funcionalidade vem sendo muito utilizada por empresas para estudos de impacto de projetos em áreas pré-existentes.

O software Autodesk Revit também possui integração de seus modelos diretamente com o Infracad. Este software é uma ferramenta de modelagem de edificações e estruturas em BIM, podendo ser utilizado para modelagem e documentação de estrutura mais complexas, como Pontes e Túneis.

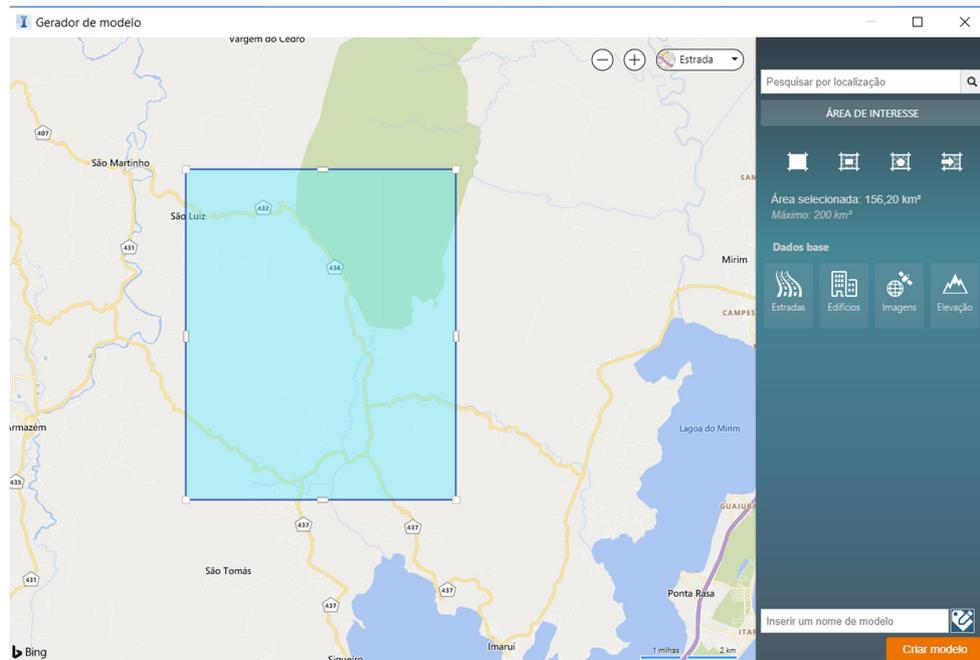
Outro software que possui integração com o Infracad, um dos mais importantes dentre os vários, é a ferramenta, também disponibilizada pela Autodesk, AutoCad Civil 3D, que possibilita a importação de um projeto de estudo de viabilidade, criado no Infracad para a confecção do detalhamento e documentação do projeto em questão. O software será discutido mais detalhadamente no próximo tópico.

Para a obtenção dos dados do terreno da área de estudo foi utilizado o gerador de modelo do Infracad. O gerador de modelo consiste em uma funcionalidade conectada com a base de dados do Bing maps que permite ao usuário selecionar uma área de estudo. A figura 10 ilustra o passo de seleção da área de estudo. Após a seleção desta área, o gerador de modelo cria a modelagem da superfície topográfica do terreno da área de estudo com as curvas de níveis de em intervalos consideravelmente altos. Destaca-se que o modelo não substitui um levantamento planialtimétrico, mas apresenta resultados satisfatórios para estudos de viabilidade.

Além dos dados topográficos, dados como edifícios, rodovias e ferrovias pré-existentes e cadastradas no banco de dados *OpenStreetMap dataset* são importadas automaticamente para o modelo. Um exemplo da seleção da área de interesse é apresentado nas figuras a seguir. Observa-se que o modelo a ser gerado possui uma limitação de 200 km².

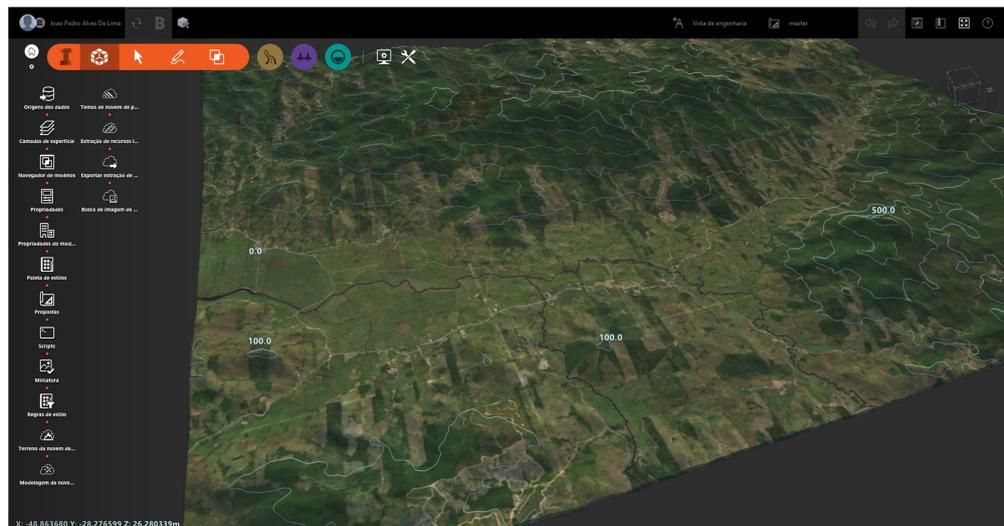
A figura 11 representa o modelo do terreno gerado automaticamente pelo gerador do Infracworks.

Figura 10 - Área de estudo selecionada no gerador de modelos do Infracworks.



Fonte: Autor (2019).

Figura 11 – Modelo do terreno gerado.



Fonte: Autor (2019).

Após gerado o modelo, é possível abri-lo para as configurações iniciais de localização e de normas de projeto geométrico das rodovias. Este processo é feito na aba

“Propriedades do modelo”. Para as configurações de localização foi configurado como padrão o sistema de coordenadas SIRGA-2000 22S, região onde se encontra a área de estudo.

Para a configuração das regras de projetos geométricos, foi anexado um pacote de expansão chamado “Brazilian Country-kit”, disponibilizado pela própria Autodesk. Este pacote contém regras de projetos de acordo com os padrões DNIT, tornando mais rápido, fácil e preciso o desenvolvimento do projeto na fase de estudo de viabilidade.

Figura 12 - Definição das configurações de projetos.

Propriedades do modelo

Nome: **Certo Modelo TCC - Rod 436 - Padroes DNIT**

Descrição: Este modelo contém informações de OpenStreetMap [http://www.openstreetmaps.org/copyright], que está disponível com a licença do Open Database (Odb) [http://opendatacommons.org/licenses/odbl/1-0/]. Os dados do terreno para os Estados Unidos e

Sistemas de coordenadas

Banco de dados: LL84 (WGS84 datum, Latitude-Longitude; Degrees)

UCS: SA-SIR-22S

Extensão

Definir de forma interativa: BBox

Utilizar todo o modelo

	X	Y
Mínimo:	701284.90	6869223.64
Máximo:	711188.05	6881794.83

Carregar extensão de arquivo...

Terreno

Estilo padrão: ...

Definir tempo do modelo

Utilizar tempo do modelo

Padrões de projeto da estrada

BRA_DNIT

Filtrar as normas do projeto para o conjunto atual de unidades padrão

Direção de condução: Lado esquerdo da estrada Lado direito da estrada

Conteúdo

Kits de país: Nenhum

Restaurar Ok Cancelar Aplicar

Fonte: Autor (2019).

O próximo passo foi o processo de modelagem e inserção de dados não informados pelo gerador de modelos. No caso em estudo, foi constatado que havia um trecho de rio que não estava presente no modelo que precisaria ser modelado, pois interferiria na quantidade de OAEs presentes. A Figura 13 representa uma visualização aérea da área de estudo após a modelagem do trecho do rio Aratingaúba faltante.

Figura 13 - Modelo após a modelagem do trecho Rio Aratingaúba.



Fonte: Autor (2019).

A modelagem do trecho rodoviário foi realizada através da ferramenta “componentes de estradas”. O primeiro passo para a concepção do trecho rodoviário foi definir a entidade de montagem de estrada conforme as normas do DNIT. Para a rodovia em questão utilizou-se do modelo de seção transversal de rodovia pista simples com largura de 3,5m de faixa de rolamento e 2,5m de acostamento. A partir desta seção realiza-se o traçado a partir de um alinhamento baseado em pontos de intersecção onde é informado ao software o tipo de curva, o raio de curvatura da curva e, caso necessário, o comprimento da espiral de transição.

Quadro 2 - Largura da pista de rolamento em metros.

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,60	3,60	3,60
Classe I	3,60	3,60	3,50
Classe II	3,60	3,50	3,30*
Classe III	3,50	3,30*	3,30
Classe IV-A**	3,00	3,00	3,00
Classe IV-B**	2,50	2,50	2,50

Fonte: DNIT (1999).

Quadro 3 - Largura de acostamentos externos em metros.

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,50	3,00*	3,00*
Classe I	3,00*	2,50	2,50
Classe II	2,50	2,50	2,00
Classe III	2,50	2,00	1,50
Classe IV-A**	1,30	1,30	0,80
Classe IV-B**	1,00	1,00	0,50

Fonte: DNIT (1999).

Para a rodovia estudada, o raio mínimo adotado foi de 170m, devendo este valor mínimo ser aplicado essencialmente em condições limites (DNIT, 1999). Portanto, optou-se pela utilização de raios de 400m, 250m e 185m. A inclinação máxima recomendada para a rodovia indicada pelo quadro 01 é de 5%, porém devido a limitações topográficas adotou-se uma inclinação máxima de 6%.

Na primeira tentativa de realizar o traçado indicado pelo projeto, observou-se dois problemas. O primeiro foi a dificuldade de adequar a geometria horizontal da rodovia às normas de projeto. Muitas das curvas observadas no traçado original não respeitavam o limite mínimo de raios de curvas horizontais. Em um trecho específico, representado pela figura 14, devido a limitações do traçado fornecido precisou-se utilizar um raio de 70m para a curva da estaca 13 + 255m.

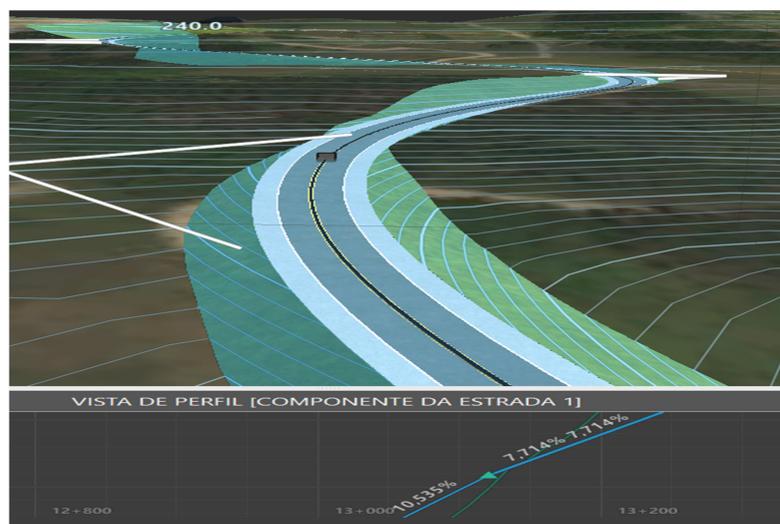
Figura 14 - Raio mínimo de projeto violado.



Fonte: Autor (2019).

O segundo problema encontrado foi a violação da inclinação máxima devido a topografia bastante acidentada no trecho final, a partir do quilômetro 12. A vista do perfil revela trechos com inclinação muito elevada, cerca de 10%, indicando uma inviabilidade operacional no traçado proposto. A figura 15 representa um trecho onde a inclinação entre dois Pontos de intersecção vertical chegam a atingir 10,53%.

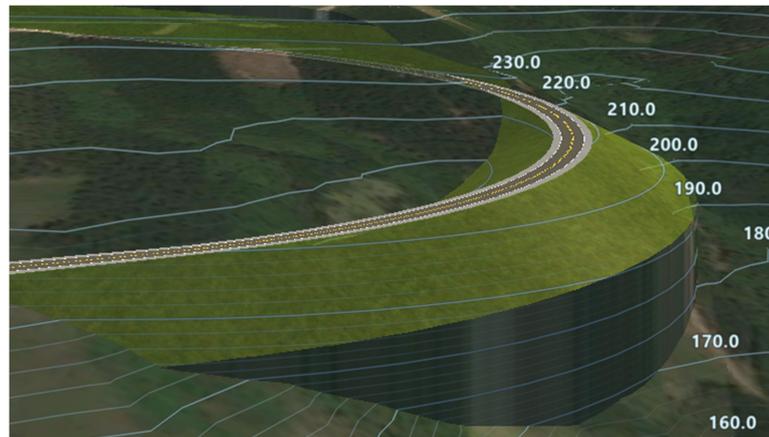
Figura 15 - Inclinação máxima violada.



Fonte: Autor (2019).

Como alternativa, foi proposta uma alteração no traçado da rodovia de maneira que a declividade não ultrapassasse o limite imposto de 6%. Para tanto, o trecho foi remodelado de forma a acompanhar o crescimento natural das curvas de nível. No entanto, ao modelar este novo traçado percebeu-se um aumento enorme nos volumes de aterro. Este aumento no volume inviabilizaria a realização do traçado por questões construtivas e de segurança geotécnica, uma vez que os taludes ultrapassaram os limites de nivelamento, previamente configurados com 30 metros. A figura 16 representa a inviabilidade construtiva do novo traçado devido a quantidade de aterro. A figura 17 representa a comparação entre a alteração de traçados proposta pelo autor.

Figura 16 - inviabilidade construtiva do novo traçado.



Fonte: Autor (2019).

Figura 17 - Comparação entre traçados.



Fonte: Autor (2019).

A solução encontrada para o problema indicado foi a adoção de OAEs nos locais onde a faixa limite de nivelamento fossem ultrapassadas. No caso, o traçado proposto resultou em mais duas OAEs, além das que já constavam no projeto original. A Figura 18 ilustra o resultado obtido pelo autor.

Figura 18 - OAEs resultantes do novo traçado proposto pelo autor.



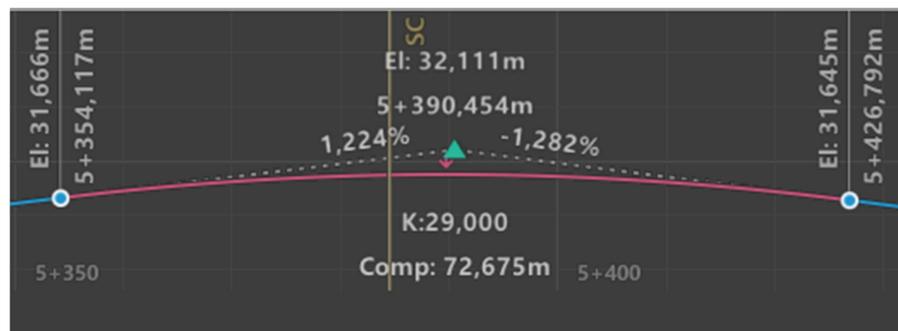
Fonte: Autor (2019).

As curvas verticais possuem a função de concordar as tangentes verticais dos greides, sendo dispensadas quando a diferença algébrica da inclinação entre as rampas for menor que 0,5%. A geometria destas curvas normalmente consistem em parábolas que são definidas por um parâmetro de curvatura K , que traduz a taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento, estabelecida para cada velocidade. O valor de K representa o comprimento da curva no plano horizontal, em metros, para cada 1% de variação na declividade longitudinal. O valor dos comprimentos de transição dados por L_t , são obtidos a partir da multiplicação do valor do parâmetro K pela diferença algébrica entre a inclinação das rampas sucessivas (DNIT, 1999).

Pelo Quadro 01, o valor mínimo de K desejável para uma rodovia de classe II em relevo ondulado para curvas convexas é de 29 e para curvas côncavas é de 24.

O software Infracworks possui uma funcionalidade de conversão da geometria vertical, onde para cada ponto de intersecção vertical, o usuário informa um valor de K , e o software calcula automaticamente o comprimento de concordância entre greides (L_t). Pode-se ainda escolher entre curvas verticais por parábolas simétricas, parábolas assimétricas ou curvas circulares. Para o estudo foram consideradas apenas parábolas simétricas. A Figura 19 retrata a inserção do parâmetro K no ponto de intersecção vertical localizado na estaca 5+390,454m.

Figura 19 - Exemplo de curva vertical convexa com K_{min} .



Fonte: Autor (2019).

A definição dos taludes deve ser feita levando-se em conta as considerações relativas à operação e segurança de tráfego, assim como a aparência da rodovia. O manual de projeto geométrico de estradas recomenda taludes suaves por proporcionarem maior conformação às formas da natureza, uma melhor impressão visual e estética, maior estabilidade geotécnica (em alguns casos), menores custos de manutenção e no caso de aterros, maior segurança em

caso de desgoverno de veículos. Para o último caso, o manual de projeto geométrico recomenda taludes de 1:4 (V:H) (DNIT, 1999).

Para valores abaixo de 1:4 para aterros a norma recomenda defensas e barreiras para segurança do tráfego de veículos desgovernados, pois a geometria suavizada possibilita ao motorista a volta para a rodovia em casos de aterros. Para cortes não há esta necessidade.

Neste estudo de caso considerou-se aterros com a geometria de 1:4 e cortes com a geometria de 1:2. Foi estabelecido um parâmetro de limite de faixa de nivelamento de 30m. No entanto, devido ao relevo acidentado da região em estudo, verificou-se a necessidade de paredes de contenção quando o limite de nivelamento era ultrapassado.

A Figura 20 ilustra casos em que a geometria de corte torna inviável o uso de taludes e foi necessário a troca destes taludes para paredes de contenção.

Figura 20 - Exemplo de parede de contenção em um corte.



Fonte: Autor (2019).

Os parâmetros para cálculo de quantitativos de volume dos taludes podem ser inseridos de forma rápida nas propriedades da estrada para o modelo proposto, automatizando ainda mais o traçado da rodovia. A Figura 21 apresenta os parâmetros de modelagem para o estudo de caso.

Figura 21 - Parâmetros de modelagem do talude.

Taludes	
Material de corte	Diversos valores
Material de preenchimento	Material/Terrain/Grass
Método de nivelamento	Inclinação fixa
Limite de nivelamento	30.000m
Inclinação do corte	Diversos valores
Inclinação do aterro	4.000:1

Fonte: Autor (2019).

A partir dos taludes modelados é possível retirar os volumes de corte e aterro através da funcionalidade “quantidade de terraplanagem” do Infracworks, onde o software calcula os volumes através da modelagem paramétrica e a geometria definida pelo usuário. Através desta funcionalidade é possível representar na Figura 22 a quantificação do volume de corte líquido para a rodovia estudada.

Figura 22 – Quantidades de terraplenagem.



Fonte: Autor (2019).

Além do saldo líquido de corte ou aterro, o software permite ainda uma exportação da planilha de cubação para um arquivo delimitado por vírgulas, permitindo a visualização em formato tabular dos cortes, aterros e volumes líquidos cumulativos de estaca em estaca. A tabela 1 representa um exemplo da planilha de cubação nos primeiros 300 metros.

Tabela 1 – Planilha de cubação est 0 a est 0 + 300m.

Estação (m)	Corte (m³)	Área de corte (m²)	Aterro (m³)	Área de aterro (m²)	Corte cumulativo (m³)	Aterro cumulativo (m³)	Líquido cumulativo (m³)	Nota
0.000	0.000	3.207	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Início - interseção
38.836	584.337	22.560	599.171	0.000	584.337	599.171	-14.834	Fim - interseção
40.000	26.867	23.620	0.000	0.000	611.205	599.171	12.033	
60.000	590.447	35.425	0.000	0.000	1.201.652	599.171	602.480	
80.000	768.458	41.421	0.000	0.000	1.970.109	599.171	1.370.938	
100.000	725.029	31.082	0.000	0.000	2.695.139	599.171	2.095.967	
120.000	506.802	19.598	0.000	0.000	3.201.940	599.171	2.602.769	
140.000	266.698	7.072	0.000	0.000	3.468.638	599.171	2.869.467	
160.000	124.751	5.403	0.000	0.000	3.593.389	599.171	2.994.218	
180.000	107.201	5.317	0.004	0.000	3.700.590	599.176	3.101.414	
200.000	96.385	4.322	0.826	0.082	3.796.975	600.002	3.196.973	
220.000	56.472	1.325	7.065	0.624	3.853.447	607.067	3.246.379	
240.000	13.255	0.000	77.418	7.117	3.866.701	684.485	3.182.216	
260.000	0.000	0.000	151.616	8.044	3.866.701	836.101	3.030.601	
280.000	0.000	0.000	129.280	4.884	3.866.701	965.381	2.901.321	
300.000	54.543	5.454	48.839	0.000	3.921.244	1.014.219	2.907.025	

Fonte: Autor (2019).

A modelagem das OAEs é realizada através de uma funcionalidade rápida e prática do softwares. Em apenas alguns segundos, o usuário pode definir as estacas iniciais da estrutura da ponte e seu comprimento. O software adiciona automaticamente um modelo

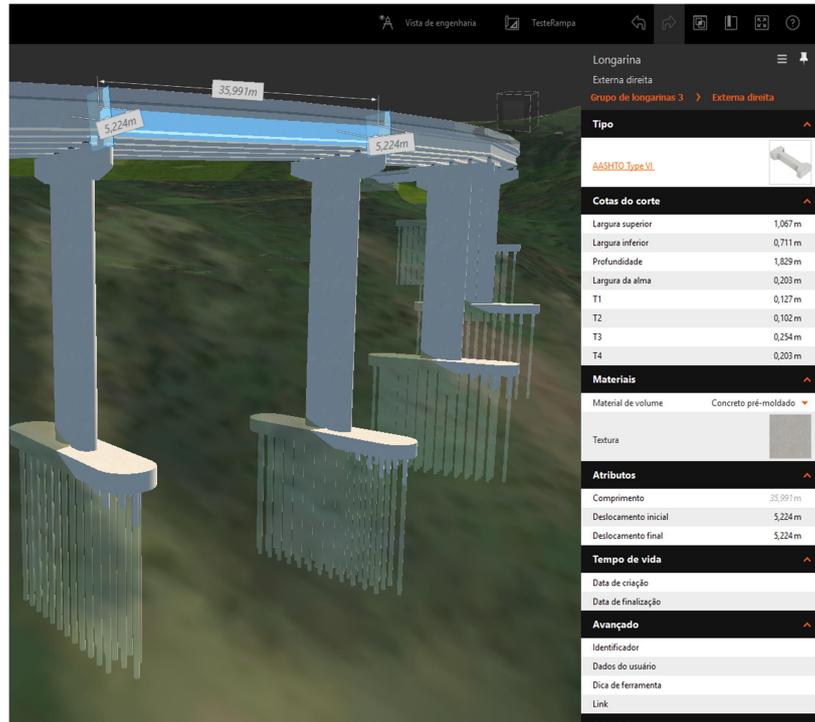
parametrizado ao alinhamento da rodovia. A estrutura não é totalmente modelável no Infracworks, porém o software suporta uma integração com os softwares Autodesk Revit e Civil 3D, onde o usuário pode customizar de maneira completa toda a estrutura da ponte, realizar seu detalhamento e ainda realizar a exportação em formato IFC do modelo. As Figuras 23 e 24 demonstram algumas das opções dos parâmetros customizáveis dos elementos de estruturas de pontes do Infracworks.

Figura 23 – Parâmetros de edição de Pontes.



Fonte: Autor (2019).

Figura 24 – Parâmetros de edição do elemento “viga” da ponte.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 25 ilustra a seção tipo de montagem da rodovia nas OAEs, onde percebe-se a inclusão de barreiras de segurança. É importante salientar que todos estes objetos paramétricos estão associados a volumes de materiais os quais entram na retirada de quantitativos. Posteriormente será abordada a retirada de quantitativos pela funcionalidade “calcular quantidades”.

Figura 25 – Seção de montagem dos trechos sobre pontes.



Fonte: Autor (2019).

Como citado anteriormente, constam três conexões ao longo do projeto da rodovia. Como não foram fornecidos dados de projeto sobre essas intersecções, optou-se pelo não dimensionamento das intersecções. Como trata-se de um projeto preliminar, esses dados não são relevantes para o resultado do objetivo proposto. A Figura 26 representa a intersecção de São Marcos modelada através da funcionalidade “intersecções”. A modelagem de intersecções em nível no Infracore possui algumas limitações, como a difícil customização dos componentes pré-definidos pelo sistema.

Utilizou-se de objetos do tipo caminhão WB-19 para dimensionar um raio aceitável para as intersecções. O raio estimado para intersecção foi de 31 metros para este veículo tipo e as faixas adicionais adotadas foram de 30 metros.

Figura 26 - Intersecção de Acesso São Marcos.



Fonte: Autor (2019).

Após a modelagem das intersecções, foram retirados os quantitativos de forma automatizada a partir do modelo. Através da funcionalidade “calcular quantidades” é possível obter um quantitativo prévio dos elementos construtivos da rodovia. O volume é calculado a partir dos elementos inteligentes presentes no Infracore, com base em cálculos paramétricos a partir do volume dos componentes construtivos utilizados na rodovia. De maneira rápida, o software fornece um relatório contendo os principais quantitativos de materiais necessários

para construção da rodovia. Na Figura 27 é possível observar os quantitativos para o caso de estudo.

Figura 27 - Quantitativos de materiais necessários para construção da rodovia.

Quantidades de material				
Componente da estrada 1				
Faixa de estacas: 0+000,000 - 14+646,825				
▼ Ponte	Concreto-Pré-moldado (m3)	Concreto-PML (m3)	Aço estrutural (MT)	Armadura de aço (MT)
Total	3204.280	16224.111	0.000	0.000
▶ Ponte 1				
▶ Ponte 2				
▶ Ponte 3				
▶ Ponte 4				
▶ Ponte 5				
▶ Ponte 6				
▼ Componente da estrada				
▼ Pista		Comprimento (m)	Área (m2)	Volume (m3)
■ Surface Dark Grey Asp...		29215.977	102255.919	20451.184
▼ Acostamento		Comprimento (m)	Área (m2)	Volume (m3)
■ Surface Light Grey Asp...		29215.977	73039.942	14607.988
▼ 3D Model				
▼ Highway				Contagem
— FaixaBranca				* 48717
■ Faixa Amarela				* 0
— FaixaAmarela				* 32478
▼ Bridge Components				Contagem
— Barrier Side				* 1162

* Os valores são aproximados - consulte os detalhes de cálculo na [documentação de ajuda](#).

** Alguns itens não são incluídos em cálculos de quantidade, consulte a [documentação de ajuda](#) para obter mais detalhes.

Gerar relatório

Fonte: Autor (2019).

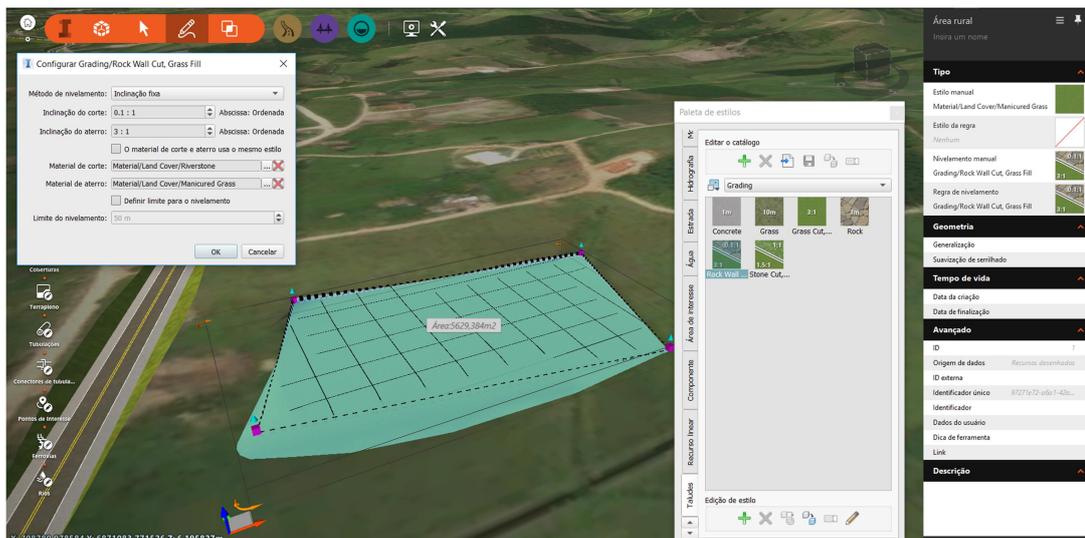
O software ainda possui diversas ferramentas que proporcionam o ganho de produtividade na elaboração de projetos de obras de infraestrutura, como por exemplo o dimensionamento de redes de drenagem ou a delimitação áreas de terraplenagem para lotes. A delimitação de áreas de terraplenagem poderia ser feita para ilustrar ou definir no terreno a área de bota fora ou de retirada de empréstimo de volume de solo para aterro. Como não era a finalidade do estudo, não foram modeladas redes de drenagem ou áreas de empréstimo de solo. Porém, as Figuras 28 e 29 ilustram, respectivamente, a modelagem parametrizada de redes de drenagem e de áreas de corte.

Figura 28 - Elementos de drenagem modelados no Infracworks.



Fonte: Autor (2019).

Figura 29 - Elementos de terrapleno modelados no Infracworks.



Fonte: Autor (2019).

4.2.2 AUTOCAD CIVIL 3D

O AutoCAD Civil 3D é uma ferramenta desenvolvida pela Autodesk, voltada para elaboração e análise de projetos de engenharia civil. Além das funcionalidades CAD, o software possui diversas outras funcionalidades para o auxílio de elaboração de obras de infraestrutura. Entre tais facilidades constam a geração de superfícies topográficas, a definição

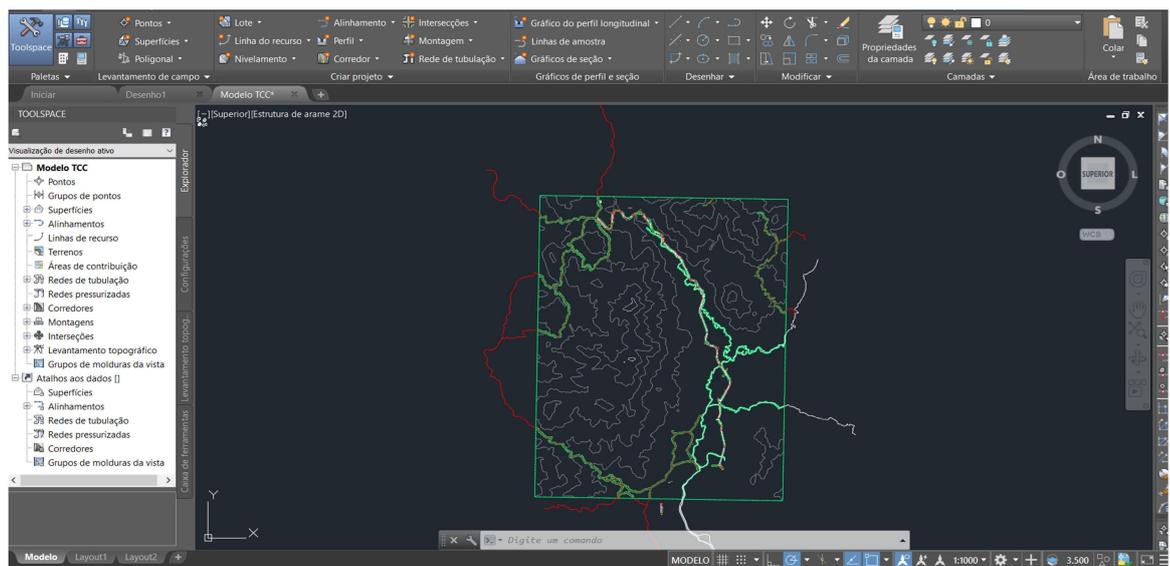
do traçado da rodovia levando em consideração os critérios definidos pelo usuário, a criação da seção transversal, definição dos taludes, entre outros. De maneira geral, as funcionalidades presentes no Civil 3D são similares às do software apresentado anteriormente, o Infracad. No entanto, os softwares se diferem por algumas características, dentre as quais uma maior gama de possibilidade de edição, detalhamento e documentação de projetos.

Uma das características do AutoCAD Civil 3D é que os rótulos são gerados e atualizados dinamicamente conforme as propriedades dos elementos do projeto como alinhamentos, perfis, superfícies, tubulações, etc. Estas atualizações garantem uma considerável representatividade e consistência nos relatórios finais de projeto, caracterizando-o como um *software* BIM (AUTODESK, 2018).

É importante salientar que a interoperabilidade entre os dois softwares é feita de maneira simples e eficiente, uma vez que os dois são fornecidos pelo mesmo fabricante, Autodesk. A Figura 30 mostra o modelo do estudo de caso, gerado no Infracad, mas aberto no Civil 3D.

O AutoCAD Civil 3D trabalha como ferramenta fundamental para a elaboração de projetos executivos. Uma vez elaborados os projetos conceituais no Infracad, pode-se abri-los no Civil 3D e realizar os detalhamentos e análises mais aprofundadas, como, por exemplo, a inserção de dados geotécnicos no modelo. Posteriormente pode-se realizar a documentação do projeto no software.

Figura 30 - Modelo aberto no Autodesk Civil 3D.

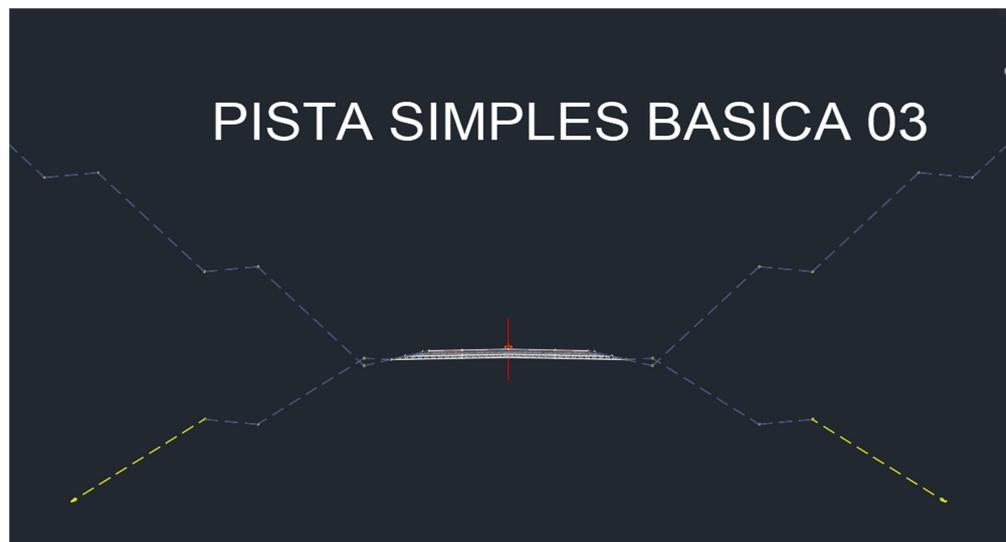


Fonte: Autor (2019).

Como o intuito do trabalho é apenas avaliar as facilidades obtidas pelo uso da metodologia, não foi dada continuidade no projeto executivo da rodovia, principalmente pela dificuldade de aquisição de dados para um projeto executivo detalhado e pelo tempo necessário para execução do mesmo.

Uma das funcionalidades exploradas neste trabalho foi a criação da seção de montagem da rodovia. Na montagem da estrada o usuário pode definir diversas camadas e suas geometrias para pavimentação da rodovia. O material da camada pode ser inserido como uma descrição. Para este caso a plataforma definida é composta por uma sub-base com espessura de 25 cm, uma base com espessura de 30 cm, e uma camada de pavimento asfáltico (CBUQ) de 10 cm. A seção da plataforma contém acostamento composto pelas mesmas camadas que compõem a pista de rolagem. A Figura 31 representa a seção de montagem utilizada na rodovia. A Figura 32 demonstra alguns dos parâmetros utilizados para a submontagem da pista de rolamento. O mesmo processo se aplica ao acostamento e aos taludes, porém com diferentes parâmetros.

Figura 31 - Seção de montagem da via.



Fonte: Autor (2019).

Figura 32 - Parâmetros para modelagem da Pista de rolamento.

Valores de entrada:

Nome de valor	Valor de entrada padrão
Lado	Direita
Ponto de inserção	Coroamento
Ponto de coroamento no interior	Não
Largura	3.500m
Padrão de inclinação	-2.00%
Profundidade de pavimento 1	0.100m
Profundidade de pavimento 2	0.000m
Profundidade base	0.300m
Profundidade de sub-base	0.250m
Longitude da distância entre eixos	10.000m
Número de pistas de circulação	1

Fonte: Autor (2019).

Através da ferramenta “criar corredor” o usuário pode aplicar as informações contidas na seção de montagem ao alinhamento da rodovia. Com estas informações aplicadas, o usuário pode extrair informações para documentação do projeto a partir do corredor, como por exemplo as seções transversais.

Além da gama de ferramentas para documentação de projetos, o Civil 3D proporciona uma funcionalidade de extração de sólidos a partir de um corredor criado. Essa funcionalidade permite a conversão das informações inseridas no modelo em sólidos geométricos no formato DWG. Esse arquivo pode ser exportado para outros formatos interoperáveis entre diversas ferramentas BIM, como IFC e FBX (Filmbox).

Neste trabalho optou-se por realizar a extração de sólidos de apenas um trecho da rodovia, pois a rodovia como um todo requer muito processamento de *hardware*. O trecho escolhido representa os primeiros 500 metros da rodovia e encontra-se entre a estaca 0 e 0 + 500 m.

4.2.3 NAVISWORKS

O software Navisworks consiste numa ferramenta voltada para coordenação e planejamento de projetos multidisciplinares. Dentre as suas diversas funcionalidades, destaca-se a visualização do modelo de forma suave, possibilitando *walkthroughs* dentro de projetos; a compatibilização de projetos multidisciplinares através da ferramenta de “*clash detection*”

onde o software auxilia a detecção de colisões entre objetos; e a possibilidade de anexar o fator tempo ao modelo, através da elaboração de cronogramas ou importações dos mesmos.

Por não envolver multidisciplinariedade de projetos, a única funcionalidade analisada neste trabalho foi a integração de um cronograma ao modelo. Utilizando a ferramenta “*Time Liner*” é possível adicionar tarefas a serem executadas e suas durações para enfim vinculadas a um elemento de projeto. É possível também realizar a importação do cronograma previamente elaborado em outro software de planejamento.

A importação do trecho da rodovia no software deu-se a partir do arquivo DWG exportado na operação de extração de sólidos do Civil 3D.

Com o objetivo de validar a etapa de planejamento no Navisworks, foi elaborado um cronograma fictício simplificado. Para essa etapa uma estrutura analítica de projeto (EAP) foi definida com o intuito de dimensionar o tempo de cada etapa da obra. Os serviços vinculados a cada fase da obra foram retirados da tabela referencial SICRO (DNIT, 2018), publicada em janeiro de 2018. O quadro 4 ilustra a EAP definida para o trecho em questão.

Quadro 4 – EAP para o trecho 0 a 0 + 500m.

Etapa	Código SICRO	Serviço
1. Terraplenagem	5502136	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço em revestimento primário - com escavadeira e caminhão basculante de 14 m³
	5502978	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal
2. Sub-Base	4011229	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo areia (70% - 30%) em usina com material de jazida e areia extraída
3. Base	4011280	Base ou sub-base de macadame seco com brita produzida
4. Revestimento	4011413	Micro revestimento a frio com emulsão modificada com polímero de 2,5 cm - brita produzida

Fonte: Autor (2019).

Para o dimensionamento do tempo necessário para execução de cada serviço, foi necessário retirar os dados de quantitativos dos elementos e associá-los aos serviços. O cálculo do tempo é realizado a partir de uma relação entre a quantidade de serviço a ser executada e a produtividade da equipe que o executará (BAETA, 2012).

$$\text{Tempo} = \text{Quantidade de serviço} / \text{Produção da equipe}$$

A tabela referencial SICRO fornece a produção da equipe para cada serviço (DNIT, 2018). Os quantitativos foram retirados a partir das funcionalidades de extração de quantidades dos modelos. É necessário o devido conhecimento de execução das atividades para retirada dos quantitativos. No caso dos serviços associados às camadas de terrapleno, base e sub-base, os serviços são relacionados com o volume dos elementos. No entanto, o serviço associado à camada de revestimento é relacionado à área de espalhamento do material. O quadro 5 demonstra uma relação entre os quantitativos, os parâmetros dos elementos e os serviços associados.

Quadro 5 – Quantitativos dos serviços.

Código SICRO	Serviço	Parâmetro associado	Quantidade de serviço
5502136	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço em revestimento primário - com escavadeira e caminhão basculante de 14 m ³	Volume de Corte (m ³)	5533
5502978	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal	Volume de aterro (m ³)	1738
4011229	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo areia (70% - 30%) em usina com material de jazida e areia extraída	Volume da camada de sub-base (m ³)	2072
4011280	Base ou sub-base de macadame seco com brita produzida	Volume da camada de base (m ³)	2128
4011413	Micro revestimento a frio com emulsão modificada com polímero de 2,5 cm - brita produzida	Área de superfície do revestimento (m ³)	6200

Fonte: Autor (2019).

A partir da relação entre os quantitativos e a produção da equipe, chega-se ao tempo necessário para execução dos serviços, como demonstrado no Quadro 6. Com esses dados em mãos é possível elaborar o cronograma de atividades, como ilustrado na Figura 33. Para a definição da quantidade de dias de execução, foi necessário dividir o tempo necessário para execução de cada serviço pela jornada diária, neste caso, adotada como 8 horas.

Quadro 6 – Relação de tempo de execução para cada serviço.

Etapa	Código SICRO	Serviço	Tempo	Dias
1. Terraplenagem	5502136	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço em revestimento primário - com escavadeira e caminhão basculante de 14 m ³	25	3
	5502978	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal	10	1
2. Sub-Base	4011229	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo areia (70% - 30%) em usina com material de jazida e areia extraída	17	2
3. Base	4011280	Base ou sub-base de macadame seco com brita produzida	16	2
4. Revestimento	4011413	Micro revestimento a frio com emulsão modificada com polímero de 2,5 cm - brita produzida	16	2

Fonte: Autor (2019).

A elaboração do cronograma é realizada a partir das durações dimensionadas das atividades e suas respectivas predecessoras. O cronograma proposto encontra-se na Figura 33, com datas de início e fim de cada atividade.

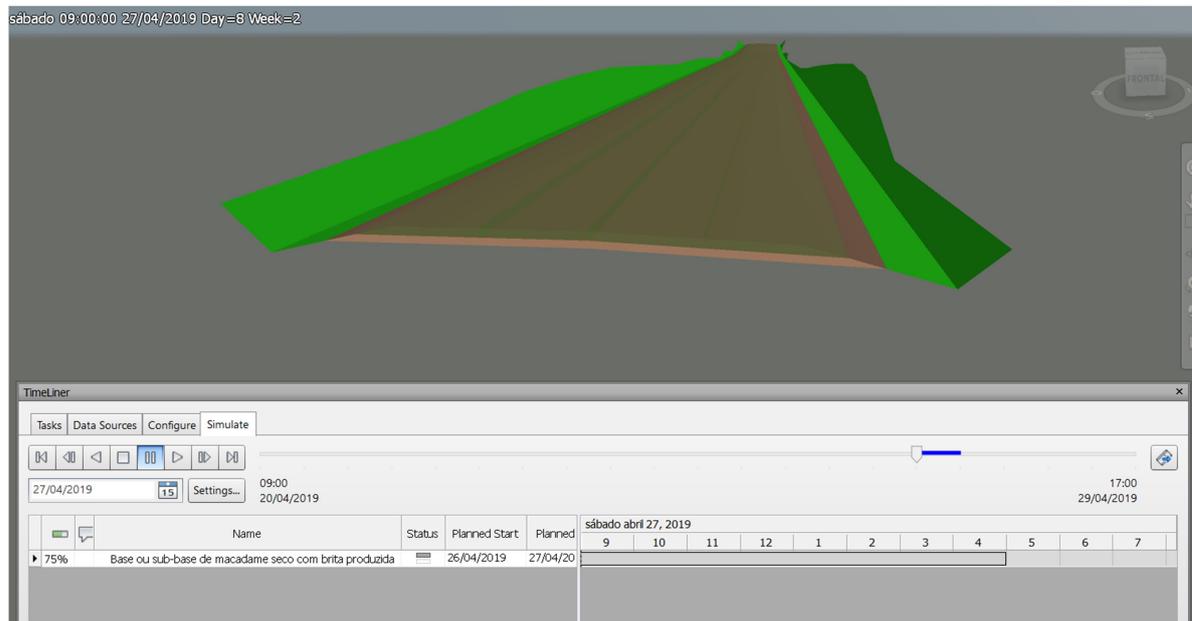
Figura 33 - Cronograma de atividades para o trecho da estaca 0 + 0m a estaca 0 + 500m.

Etapa	Código SICRO	Serviço	20/abr	21/abr	22/abr	23/abr	24/abr	25/abr	26/abr	27/abr	28/abr	29/abr
1. Terraplenagem	5502136	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço										
	5502978	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal										
2. Sub-Base	4011229	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo areia (70% - 30%) em usina com material de jazida e										
3. Base	4011280	Base ou sub-base de macadame seco com brita produzida										
4. Revestimento	4011413	Micro revestimento a frio com emulsão modificada com polímero de 2,5 cm - brita produzida										

Fonte: Autor (2019).

A Figura 34 ilustra a animação realizada pela simulação dos processos construtivos realizada no Navisworks. É possível repetir esta simulação para o restante dos trechos presentes no projeto, assim como vincular superfícies e outros elementos ao modelo.

Figura 34 - Animação gerada pelo Navisworks.



Fonte: Autor (2019).

5 RESULTADOS

Dentro das limitações do escopo desenvolvido, já exposto, foi possível produzir um projeto conceitual de uma rodovia de forma rápida e precisa. Obtiveram-se quantitativos de maneira eficiente e com pouco esforço. As principais funcionalidades da aplicação da metodologia BIM foram validadas com sucesso a partir do uso das ferramentas escolhidas.

A facilidade de alteração de propostas de projeto permitiu a realização de diversos modelos, analisando diferentes traçados.

A elaboração de um modelo 3D integrado com um ambiente real proporcionado pela interação entre GIS e BIM permitiu a validação de uma melhor visualização do projeto para tomada de decisões em fases conceituais, ao permitir a análise de impactos e interferências em seu entorno. Além disso, a possibilidade de exportação desse modelo conceitual para uma ferramenta de elaboração de projetos executivos mostrou-se extremamente produtiva como consequência de uma redução de retrabalho e perda de dados já modelados.

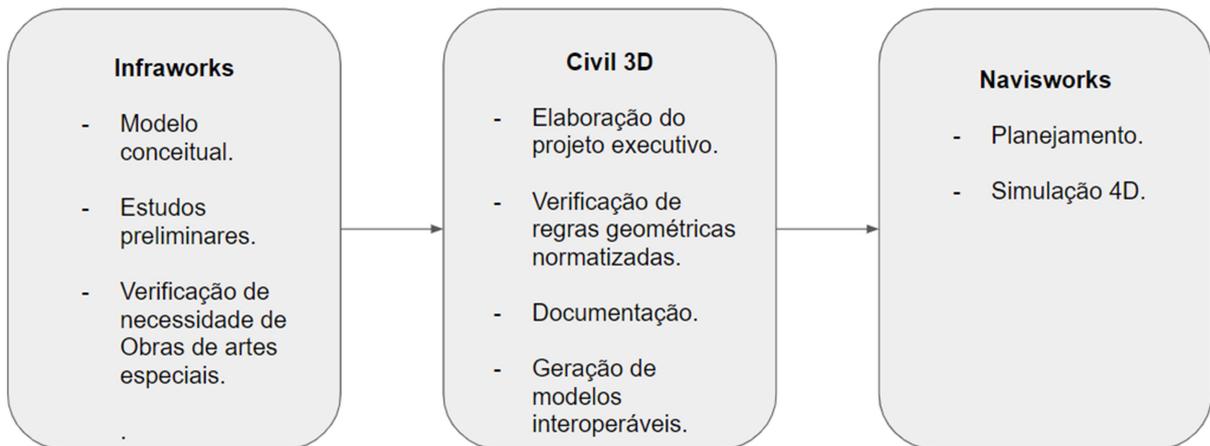
A verificação de regras com relação à geometria da estrada é realizada automaticamente, diminuindo a necessidade de aplicação de rotinas de cálculo para cada trecho pelo projetista.

A modelagem paramétrica facilitou a retirada de quantitativos de modo dinâmico, uma vez que possibilitou a quantificação dos elementos que, por sua vez, estão associados a parâmetros geométricos. Esse fato possibilitou a extração de dados independentemente da quantidade de alterações de propostas de maneira instantânea.

Apesar da não validação dos processos construtivos, é importante salientar que o estudo de caso não visava a realização de um projeto executivo de uma rodovia devido a falta de insumos necessários para o mesmo.

Como resultado de fluxo de trabalho proposto para as seguintes ferramentas obteve-se o resultado representado na Figura 36. Utilizando o Infracore como uma ferramenta integrada com GIS é possível realizar projetos conceituais de grande nível de detalhe. Em seguida, é possível exportá-los para o Civil 3D para a confecção de projetos executivos e posteriormente exportá-los para a ferramenta Navisworks utilizada para link entre o planejamento da obra e o modelo para representação da simulação 4D.

Figura 35 – Fluxograma de trabalho proposto para as ferramentas utilizadas neste estudo.



Fonte: Autor (2019).

Resumidamente, como resultados principais, obteve-se a validação de:

- Elaboração de um projeto conceitual de forma rápida.
- Ganho em produtividade na elaboração de projetos executivos.
- Facilidade no gerenciamento de informações e retirada de quantitativos.
- Visualização e simulação dos processos construtivos.

6 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o uso da metodologia BIM para obras de infraestrutura. Com essa finalidade foi realizado um estudo de caso aplicando-se a metodologia a um projeto rodoviário. O BIM mostrou-se muito promissor para a elaboração de projetos conceituais e executivos deste tipo de obra.

A facilidade na extração de dados, como retirada de quantitativos e documentação demonstrou a veracidade das afirmações constantes da introdução do presente trabalho. Além disso, a visualização do modelo, aspecto de extrema importância para a demonstração do objeto para o cliente, revelou-se fácil e pouco trabalhosa.

Durante a modelagem da rodovia em ambiente BIM foram encontradas algumas dificuldades com relação ao fluxo de dados devido ao tamanho do modelo. No entanto, esta dificuldade parece estar diminuindo conforme os avanços tecnológicos. Outra dificuldade encontrada foi a incipiência do tema em trabalhos acadêmicos, tornando o aprendizado da metodologia e ferramentas demasiadamente prolongados.

Apesar da dificuldade enfrentada pela falta de estudos acerca do tema, o assunto é de grande interesse, não só para profissionais atuantes na área, como para a sociedade em geral, uma vez que este tipo de obra acaba impactando-a em termos de custos, de produtividade e qualidade, bem assim da precisão nas informações geradas através de sua aplicação.

Importante salientar que o BIM consiste em muito mais do que foi realizado neste trabalho, pois há diversas funcionalidades que não foram validadas, por questão de tempo. Tais funcionalidades podem aumentar ainda mais a produtividade e diminuir os erros no processo de elaboração de projetos. No entanto, evidencia-se a necessidade da padronização e definição de informações necessárias num modelo.

Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se:

- Expandir o escopo para elaboração de detalhamentos e orçamentação de projetos executivos a partir de modelos BIM.
- Validar a metodologia para outros tipos de modais viários.
- Realização de um planejamento 4D efetivo utilizando BIM para obras rodoviárias.

REFERÊNCIAS

AL-SHALABI, F.A.; TURKAN, Y.; LAFLAME, S. **BrIM implementation for documentation of bridge condition for inspection**. Proceeding in 5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver, Canadá. 2015.

AMANN, J.; BORRMANN, A.; HEGEMANN, F.; JUBIERRE, J.R. A refined product model for shield tunnels based on a generalized approach for alignment representation, Proc. in International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI). 2013.

ANTF. Associação Nacional de Transportes Ferroviários, 2018. Disponível em <<https://www.antf.org.br/releases/o-meio-ambiente-agradece/>>. Acesso em 16 fev. 2019.

AUGUSTINE, A.; ELHOUSE, S. **3D Model for Highway Aligment**, 2016. Disponível em: <<http://www.ijser.in/archives/v4i3/IJSER15719.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2019.

AUTODESK. **BIM para Engenharia Civil e Projetos de Infraestrutura**. 2019. Disponível em: <www.blogs.autodesk.com/mundoaec> Acesso em 02 fev. 2019.

AUTODESK. **BIM para infraestrutura de transporte rodoviários**. 2018. Disponível em: <www.blogs.autodesk.com/mundoaec> Acesso em 02 fev. 2019.

AZHAR, Salman; KHALFAN, Malik; MAQSOOD, Tayyab. **Building Information Modelling (BIM): Now and beyond** – Australasian Journal of Construction Economics and Building, 2015.

BADRINATH, A.; CHANG, Y.; LIN, E.; HSIEN, S.; ZHAO, B. **A preliminary study on BIM enabled design warning analysis in T3A Terminal of Chongqing Jiangbei International Airport**. Proceeding in International Conference on Computing in Civil and BuildingEngineering (ICCCBE). 2016.

BAE, A; LEE, D.; PARK, B. **BIM utilization for optimizing milling quantity and HMA pavement overlay quality**. Canadian Journal of civil engineering, Research Gate, 2016.

BAETA, André Pachioni. **Orçamento e Controle de Obras Públicas**. Editora PINI. 2012.

BRANDÃO, Rogério de Almeida, **Avaliação do uso de BIM para o estudo de obras de infraestrutura viárias**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

BUILDING SMART, 2016. IFC introduction, 18 fev. 2019. Disponível em <<https://www.buildingsmart.org/about/what-is-openbim/ifc-introduction/>>. Acesso em 18 fev. 2019.

CHENG J.C.P.; LU, Q.; DENG, Y. **Analytical review and evaluation of civil information modeling**. Automation in Construction. 2016.

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

CNT. Confederação Nacional de Transportes, 2018. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/imprensa/Noticia/maior-parte-rodovias-concedidas-bom-otimo-estado>>. Acesso em 16 fev. 2019.

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

DNIT. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. 1999. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf>. Acesso em 05 fev 2019.

DNIT. **Tabela Referencial SICRO janeiro de 2018**. 2018. Disponível em: <www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/santa-catarina/2018/janeiro/janeiro-2018>. Acesso em 10 mai 2019.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM**. 1Ed. Editora Bookman, 2011.

FARR, E. R. P.; P. A. E.; Robinson D. **BIM as a generic configurator for facilitation of customization in AEC industry**. Automation in Construction, Elsevier, 2014.

HERRMANN, Felipe Daniel. **Infraestrutura de transportes: Alavanca da economia.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Junho de 2012.

HUANG, S.F.; CHEN, C.H.; DZENG R.J. **Design of track alignment using building information modeling.** American Society of Civil Engineering (ASCE), 2011.

HÜTHWOHL, P.; LU, R.; BRILAKIS, I. **Challenges of bridge maintenance inspection.** Proceeding in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE). 2016.

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

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

JUBIERRE, J.; BORRMANN, A. **Knowledge-based engineering for infrastructure facilities: assisted design of railway tunnels based on logic models and advanced procedural geometry dependencies.** Electronic Journal Information of Technology Construction. 2015. Disponível em: < <http://www.itcon.org/2015/26>> Acesso em: 10 out 2018.

KHAN, N. A. **Infrastructure for Economic Development.** New Dehli: Anmol, 2014.

KIM H.; ORR, K. SHEN, Z.; MOON, H.; JU, K.; CHOI, W. **Highway alignment construction comparison using object-oriented 3D visualization modeling.** Journal Construction Engineering Management. 2014.

KURWI, S.; DEMIAN, P. HASSAN, T.M. **Integrating BIM and GIS in railway projects: a critical review.** ProcEEDING in 33rd Annual ARCOM Conference, Cambridge, Reino Unido. 2017.

LIAPI, K.A. **4D visualization of highway construction projects.** Proceeding in 7th International Conference on Information Visualization. IEEE, Londres, Reino Unido, 2003.

MACGRAW HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM for Infrastructure Challenges with Collaboration and Tecnology**. Belford, 2012.

MAKEBIM, **BIM: O que é design paramétrico?**, 2017. Disponível em <<https://www.makebim.com/2017/01/31/bim-o-que-e-design-parametrico/>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

MARZOUK, M.; EL-ZAYAT, M.; ABOUSHADY A. **Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries**. Sustainability. 2017.

MAWLANA, M.; VAHDATIKHAKI, F.; DORIANI, A.; HAMMAD, A. **Integrating 4D modeling and discrete event simulation for phasing evaluation of elevated urban highway reconstruction projects**. Automation in Construction, 2015.

MCKINSEY. **Oportunidades e Desafios para o Setor Brasileiro de Infraestrutura**. São Paulo, 2013.

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

NIBS, National Institute of Building Science, 2007. Disponível em: <www.nibs.org>. Acesso em 02 fev. 2019.

OKASHA, N.; FRANGOPOL, D. **Computational platform for the integrated life-cycle management of highway bridges**, Engeneering Structure, ScienceDirect, 2011.

OLIVEIRA, Maurício. Como Abrir os Caminhos. **Revista EXAME**, São Paulo, Ed. 1167 n° 15, 2018.

OXFORD DICTIONARIES, Infrastructure , 2018. Disponível em: <<https://en.oxforddictionaries.com/definicao/infraestrutura>>. Acesso em 10 nov. 2018.

PARLIKAD, A. K. **Challanges in infrastructure asset management**. University of Cambridge, Reino Unido, 2016.

REEDER, G.D.; NELSON, G.A. **3D engineered models for highway construction: the Iowa experience**. Iowa Department of Transportation. 2015. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/intrans_reports/130> . Acesso em: 02 fev 2019.

SANKARAN, B. O'BRIEN, W. GOODRUM, P. KHWAJA, N.; LEITE, F.; JHONSON, J. **Civil integrated management for highway infrastructure: case studies and lessons learned**. Journal Transportation Research, 2016.

SARKAR, D. **Risk based building information modeling (BIM) for urban infrastructure transport project**. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural Construction Engineering. Vol 10 N(8), 2016.

SUGIYAMA, H.; NAKAYA, T.; NAKAYA, A.; IWAI, T. **A visualization technology for shield tunneling; an example of the application to a monitoring system in cutting chamber**. Proceeding in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE). 2016. Disponível em: http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeit/icccbe2016/Proceedings/Full_Papers/197-303.pdf>. Acesso em 02 fev 2019.

TAGLIARI, P.H. **Análise preliminar de traçado de túneis utilizando a metodologia BIM**. Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2018.

TANAKA, F.; HORI, M.; ONOSATO, M. **Bridgeinformationmodelbased on IFC standards and web content providing system for supporting an inspection process**. Proceeding in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE). 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The global competitiveness Index**. Disponível em: <www.weforum.org/reports> Acesso em: 10 Abril de 2019.

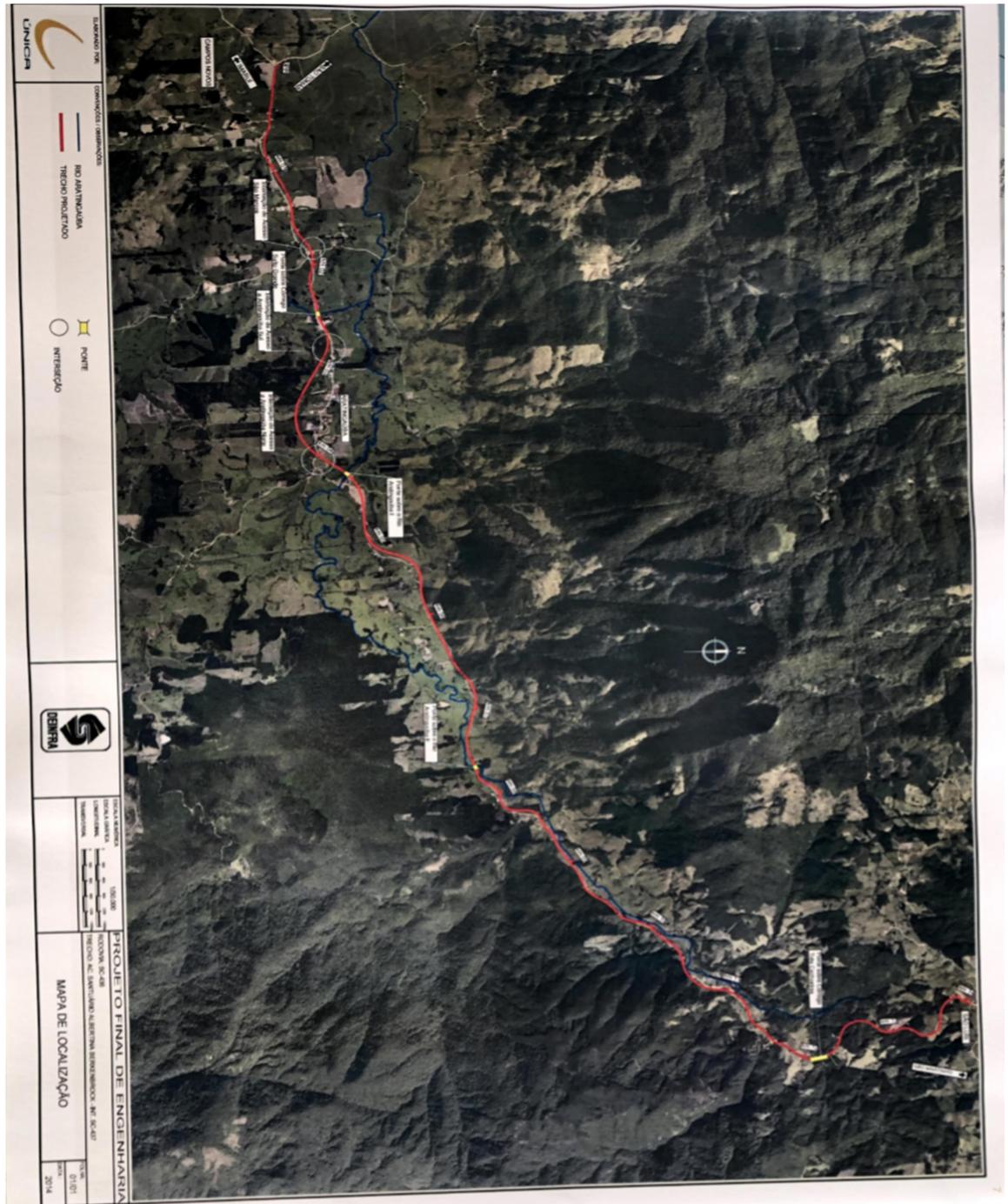
YAZBEK, Jorge Arnaldo Curi. **PMO: Estudo de aplicação para empresas construtoras de obras de infraestrutura**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.

ZAK, J.; MACADAM, H. **Utilization of building information modeling in infrastructure's design and construction**. ProcEEDING in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017.

ANEXO A – Traçado fornecido pelo órgão responsável.

A Figura 36 demonstra uma foto fornecida pelo órgão responsável pela obra de pavimentação abordada no estudo de caso.

Figura 36 – Foto do traçado.



Fonte: Autor (2019).