



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO ENGENHARIA CIVIL

Beatriz Costa da Silveira

**Requisitos para Integração GIS x BIM no contexto da infraestrutura rodoviária:
Proposta de framework para faixas de domínio federal**

Florianópolis

2024

Beatriz Costa da Silveira

Requisitos para Integração GIS x BIM no contexto da infraestrutura rodoviária federal: Proposta de framework para faixas de domínio

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Eduardo Lobo

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Silveira, Beatriz Costa da
Requisitos para Integração GIS x BIM no contexto da
infraestrutura rodoviária: Proposta de framework para
faixas de domínio federal / Beatriz Costa da Silveira ;
orientador, Eduardo Lobo, 2024.
131 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Integração GIS-BIM. I. Lobo,
Eduardo. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Beatriz Costa da Silveira

**Requisitos para Integração GIS x BIM no contexto da infraestrutura Rodoviária:
Proposta de framework para faixas de domínio**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharel em Engenharia Civil” e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Civil

Florianópolis, 05 de dezembro de 2024.

Prof.^a Liane Ramos da Silva, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca examinadora



Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Documento assinado digitalmente

Eduardo Lobo

Data: 20/12/2024 11:40:13-0300

CPF: ***.029.580-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

or

e Santa Catarina

Prof.^a Fernanda F. Marchiori, Dra.

Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Daniel Pereira Coelho, M.e.

Avaliador

Agência Nacional de Transportes Terrestres

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Desde pequena, aprendi que nenhuma conquista é alcançada sozinha. Por isso, não poderia deixar de registrar, neste trabalho, minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a construção e pavimentação da minha jornada universitária. A conclusão desta etapa desafiadora vai muito além de um simples requisito para a formação acadêmica. Ela reflete o apoio, a orientação e o incentivo de cada pessoa que esteve ao meu lado durante este percurso.

Aos meus pais, agradeço o apoio incondicional e os esforços contínuos para a minha educação ao longo de toda a vida. Obrigada por sempre estarem presentes, pela paciência e compreensão nos momentos de minha ausência, e por sempre me motivarem a seguir em frente. Em especial, agradeço à minha mãe, que sempre me inspira e motiva a explorar o mundo com coragem e curiosidade.

Aos meus irmãos mais velhos pela amizade e ensinamentos desde a infância.

Às minhas tias Rose e Simone, pelo carinho constante, pelas ligações e mensagens de incentivo que fizeram toda a diferença em todos os momentos.

Aos meus amigos da graduação Alexandre, Andreza, Amanda e Milena, Sergio, Lucas, Gadoni e Eduardo, por toda a companhia ao longo da graduação. À Rebeca, que para além da amizade universitária se tornou minha família longe de casa.

Aos meus amigos de longa data, agradeço a paciência e pelas inúmeras noites de estudo em chamadas de vídeo. Em especial, ao Kauê, meu amigo da vida.

Ao professor Eduardo Lobo, minha gratidão pela orientação atenciosa, sempre contribuindo com boas ideias e profissionalismo, especialmente no último semestre, quando seu apoio foi essencial para que eu pudesse concluir este trabalho.

Agradeço também à banca, professora Fernanda e Daniel, que prontamente aceitou o convite para avaliar este trabalho.

Um agradecimento especial à Moira pela escuta acolhedora nos momentos mais difíceis e pelo luz em meus pensamentos nos últimos meses.

Ao DNIT-SC, por me permitir vivenciar na prática as operações rodoviárias; aos colegas de trabalho, que tornaram os dias de estágio e estudo mais leves e produtivos. Em especial, agradeço ao amigo Lailson, que me ensinou os primeiros conhecimentos na área e é, para mim, uma importante referência.

A todos os professores que participaram da minha formação acadêmica, agradeço o conhecimento transmitido. Em especial, ao Profº Ricardo por todos os conselhos acadêmicos e profissionais.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino de qualidade e pelas políticas de permanência estudantil, que foram fundamentais para que eu pudesse concluir esta etapa.

RESUMO

Tecnologias como o Building Information Modeling (BIM) não são comumente empregadas nos setores de infraestrutura. Essa limitação é atribuída à aplicação do BIM em uma escala micro de abrangência, que se concentra principalmente em elementos verticais, como edificações, restringindo sua utilização em projetos de grande escala. No entanto, quando combinado a ferramentas espaciais, como o *Geographic Information System* (GIS), de escala macro, o BIM pode se tornar um recurso valioso para a gestão e operação de infraestruturas lineares, como as faixas de domínio das rodovias federais. Nesse contexto, este trabalho objetiva, por meio de uma revisão sistemática integrativa da literatura, analisar quais são as práticas e os requisitos para a integração entre GIS e BIM que podem ser aplicados às atividades de gestão e operação das faixas de domínio sob a tutela do DNIT. Foram examinados artigos publicados nos últimos seis anos que abordam a temática da integração entre GIS e BIM no modo rodoviário. Para identificar os elementos que compõem a gestão das faixas de domínio, foram realizadas pesquisas bibliográficas, as principais normas e leis sobre as atividades relacionadas a esse contexto. No estudo foi proposto, também, um modelo conceitual contendo os principais requisitos para a implantação da integração entre GIS e BIM, alinhado às diretrizes do COBIT. Os resultados demonstram que a integração entre BIM e GIS pode contribuir de forma significativa para a gestão de ativos rodoviários, especialmente no que diz respeito às faixas de domínio.

Palavras-chave: Integração GIS e BIM; Faixa de domínio; Gestão de Infraestruturas.

ABSTRACT

Technologies such as Building Information Modeling (BIM) are not commonly employed in the infrastructure sectors. This limitation is attributed to the application of BIM on a micro scale, focusing primarily on vertical elements such as buildings, which restricts its use in large-scale projects. However, when combined with spatial tools like Geographic Information System (GIS), which operates on a macro scale, BIM can become a valuable resource for managing and operating linear infrastructure, such as the right-of-way areas of federal highways. In this context, this study aims, through an integrative systematic literature review, to analyze the practices and requirements for the integration of GIS and BIM that can be applied to the management and operation activities of right-of-way areas under the oversight of DNIT (National Department of Transport Infrastructure). Articles published in the last six years addressing the theme of GIS and BIM integration in the highway domain were examined. To identify the elements involved in the management of right-of-way areas, bibliographic research was conducted, including the main standards and laws related to activities in this context. The study also proposed a conceptual model containing the key requirements for implementing the integration between GIS and BIM, aligned with COBIT guidelines. The results demonstrate that the integration of BIM and GIS can significantly contribute to road asset management, particularly concerning the right-of-way areas.

Keywords: GIS and BIM Integration; Right-of-way areas Infrastructure Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Investimentos Públicos Federais em Infraestrutura de Transportes dos anos de 2021 a 2023.	19
Figura 2 - Resultados de Rodovias Federais	20
Figura 3 - Ciclo de vida da construção	26
Figura 4 - Pilares BIM.....	27
Figura 5 - Dimensões BIM.....	29
Figura 6 - Modelo de troca de informações em modelos convencionais x BIM.....	32
Figura 7- RoadMap BIM BR	36
Figura 8 - Componentes de um Sistema de Informações Geográficas	38
Figura 9 - Estrutura geral de um sistema de informação.....	40
Figura 10 - Modelo de escala BIM-SIG	41
Figura 11 - Fluxo da integração GIS e BIM	44
Figura 12 - Secções Transversais de pista simples de rodovia.....	45
Figura 13 - Ilustração da Faixa de Domínio	48
Figura 14 - Ilustração da Faixa não edificante.....	50
Figura 15 - Linha do tempo COBIT	55
Figura 16 - Cubo COBIT	57
Figura 17 - Fatores de Projeto.....	58
Figura 18 - Ciclo de implementação da iniciativas	59
Figura 19 - Avaliação de maturidade do COBIT 2019.....	61
Figura 20 - Estrutura do Método SSF.....	65
Figura 21 - Fluxograma das Etapas da Revisão	66
Figura 22 - Número de publicações por ano	71
Figura 23 - Gráfico dos principais assuntos abordados nos artigos	72
Figura 24 – Grafico do número de publicações por país.....	77
Figura 25 - Base de dados do inventário de uma rodovia	78
Figura 26 - Plataforma BMS e Integração GIS-BIM	80
Figura 27 - Pavimento modelado, imagem da superfície da estrada e detecção de deformação no pavimento.....	81
Figura 28 - Modelo de alinhamento de túnel	89
Figura 29 - Diagrama de entidade IFC para treliça de pontes.....	91
Figura 30 - Segmentação da modelagem de uma ponte	92

Figura 31 - Objetivos do trabalho	96
Figura 32 – Fluxograma das etapas da metodologia	99
Figura 33 - Fluxo operacional integração GIS x BIM nas atividades relacionadas a faixa de dominio.....	109
Figura 34- <i>Framework</i> para implementação da integração GIS x BIM na gestão e operação de faixas de dominio federais.....	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Medidas de fomento a utilização da Metodologia BIM na esfera pública no Brasil de 2009 a 2024	33
Quadro 2 - Modos de integração GIS x BIM.....	43
Quadro 3 - Níveis de maturidade do modelo proposto.....	61
Quadro 4- Critérios definidos na estratégia de busca	67
Quadro 5 - Artigos selecionados através da Revisão Sistemática	70
Quadro 6: Resumo dos artigos selecionados.....	74
Quadro 7 - Software utilizados nos artigos analisados.....	85
Quadro 8: Classificação da pesquisa	97
Quadro 9: Fatores de projeto os documentos para a proposta do modelo no âmbito da Gestão de Faixa pelo DNIT	101
Quadro 10 - Grupos de interesse e partícipes COBIT x Organização pública x DNIT – Faixa de domínio.....	104
Quadro 11: Requisitos de negócio x Requisitos Integração GIS x BIM.....	110
Quadro 12: Elementos do modelo de governança aplicado a gestão e operação de faixa de domínio.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Larguras ideais em relação a classe e terreno das rodovias	48
Tabela 2 - Larguras mínimas em caso de aperfeiçoamento da via	49

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações
AET	Autorização Especial de Trânsito
AIA	American Institute of Architects
AIM	<i>Asset Information Modeling</i>
AINOP	Arquivo Nacional de Infraestruturas Públicas
AIoT	Tecnologias de inteligência artificial
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BMS	Sistema de Gerenciamento Pontes
CBIC	Camara Brasileira da Industria da Construção
CDE	<i>Common Data Environment</i>
CGU	Controladoria Geral da União
CIM	<i>City Information Modeling</i>
CityGML	<i>City Geography Markup Language</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COBIT	<i>Control Objectives for Information and Related Technologies</i>
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CUGRI	Centro Interuniversitário de Pesquisa para Previsão e Prevenção de Grandes Riscos
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Transporte
DT	<i>Digital Twins</i>
DTM	Modelo Digital de Terreno
FM	<i>Facilities Management</i>
FP/BIM	Frente Parlamentar do BIM
FWKB	Desvio do Extremo Oeste de Krasnodar
GAs	Genetic algorithms
GD	Gêmeo Digital
GDT	<i>Geometric Digital Twin</i>
Gefad	Gerência de Faixa de Domínio

GIS	<i>Geographic Information System</i>
GML	<i>Geography Markup Language</i>
GTs	Grupos de Trabalho
IA	Inteligência artificial
iBIM	<i>Infrastructure BIM</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IoT	Internet das Coisas
ISACA	<i>System Audit and Control Association</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização
ITGI	<i>IT Governance Institute</i>
LOA	Recursos de custeio
LOD	<i>Level of Development</i>
LPWAN	<i>Low-power Wide-area Network</i>
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MVD	<i>Model View Definitions</i>
O&M	Operação e manutenção
ONTL	Observatório Nacional de Transporte e Logística
PEI	Planejamento Estratégico Institucional
PLS	Plano Diretor de Logística Sustentável
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transportes
PNV	Plano Nacional de Viação
PPPs	Parcerias Público-Privadas
PT	<i>Physical Twin</i>
RA	Realidade aumentada
SAM	<i>Southern Highways Company</i>
SECOM	Secretaria de Comunicação Social
Shp	<i>Shapefile</i>
SI	Sistema de Informação
SIE	Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNV	Sistema Nacional de Viação

SOT	Serviço de Operações Terrestres
TCU	Tribunal de Contas da União
TI	Tecnologia da informação
TPEU	Termo de Permissão Especial de Uso
VR	Realidade virtual
WoS	<i>Web of Science</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	22
1.2	Objetivos	23
1.2.1	Objetivo Geral	23
1.2.2	Objetivos Específicos	23
1.2.3	Estrutura do Trabalho	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Introdução ao capítulo	25
2.2	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	25
2.2.1	Dimensões BIM.....	28
2.2.2	Níveis de desenvolvimento	30
2.2.3	Interoperabilidade BIM	31
2.2.4	BIM no Brasil.....	32
2.2.5	Estratégia BIM BR.....	35
2.3	<i>Geographic Information System (GIS)</i>	37
2.3.1	Componentes do fluxo GIS	39
2.4	Integração GIS e BIM	40
2.4.1	Modos de integração GIS e BIM	43
2.4.2	Fluxo de trabalho GIS e BIM.....	44
2.5	Modo Rodoviário	45
2.5.1	Rodovias Federais	46
2.5.2	Faixa de Domínio de Rodovias Federais	47
2.5.3	Serviço de Operações Terrestres	50
2.5.4	Gestão de Faixa de Domínio	51
2.5.5	Ocupação da Faixa de Domínio.....	52
2.5.6	Fiscalização	53
2.5.7	Documentação e Reconhecimento	53
2.6	Control Objectives for Information and Related Technology (COBIT) .	54
2.7	Os fatores de projeto	57
2.8	Implementação de iniciativas	59
2.9	Avaliação de maturidade	60

2.10	Fechamento do capítulo	62
3	REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA	63
3.1	Introdução ao capítulo	63
3.1.1	Tipos de Revisão da Literatura e Busca Sistemática	63
3.1.2	Estrutura do Método <i>Systematic Search Flow</i> (SSF)	64
3.1.3	Protocolo de Pesquisa	67
3.1.4	Análise dos documentos e síntese.....	69
3.1.5	Painel de indicadores para análise de artigos.....	69
3.1.6	Resultados e discussão	70
3.1.7	Assuntos e metodologias abordadas	72
3.1.8	Gestão e operação de infraestrutura rodoviária	77
3.1.9	Projeto de construção	81
3.1.10	Tecnologias associadas.....	83
3.1.11	Softwares comuns a integração GIS BIM	85
3.1.12	Integração e padronização de dados	86
3.1.13	Modelagem da Infraestrutura Rodoviária	88
3.1.14	Considerações finais a respeito da Integração GIS BIM aplica em Infraestruturas do modo Rodoviário	93
4	METODOLOGIA	96
4.1	Introdução Ao Capítulo	96
4.2	Estrutura metodológica	96
4.2.1	Estratégia de pesquisa.....	98
5	RESUTADOS E DISCUSSÕES	101
5.1	Introdução ao Capítulo	101
5.2	Os fatores de projeto	101
5.3	Grupos de interesse do modelo	103
5.4	Elementos de Integração GIS x BIM aplicada em infraestrutura	105
5.5	Elementos da Gestão da faixa de dominio	107
5.6	Integração GIS x BIM na gestão de faixas de dominio	108
5.7	Requisitos para Integração GIS x BIM	110
5.8	Implementação da Integração GIS x BIM na Gestão e Operação de Faixas de Dominio	111
5.9	Fechamento de capítulo	114

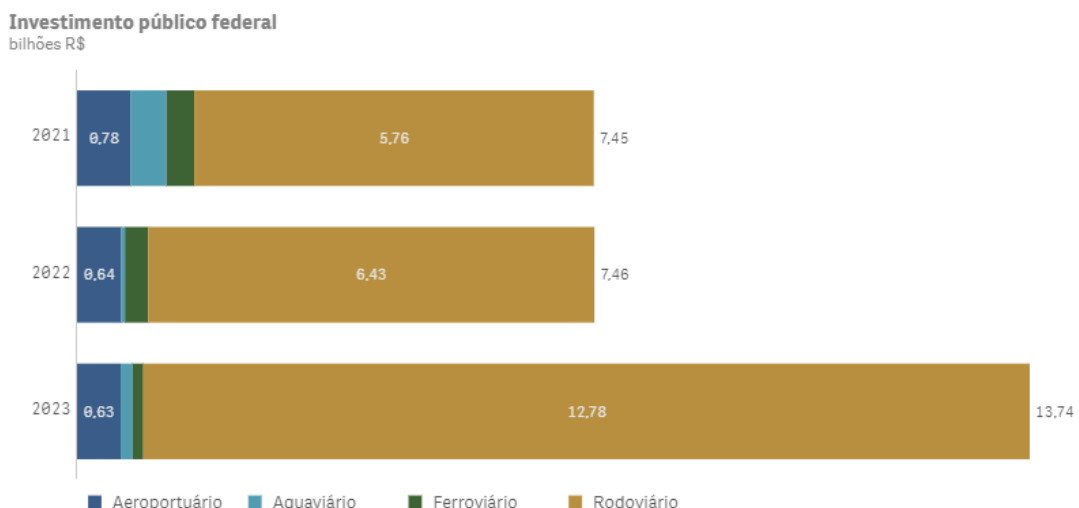
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	115
6.1	Introdução ao capítulo	115
6.2	Considerações sobre os objetivo	115
6.3	Sobre os objetivos	117
6.4	Conclusões gerais	118
6.5	Sugestões para trabalhos futuros	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

1 INTRODUÇÃO

Os setores de infraestrutura de transportes são fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico de um país, pois constituem o conjunto de sistemas e estruturas que permitem a mobilidade tanto de pessoas quanto de bens de consumo. O Brasil possui uma extensa malha rodoviária para integração nacional, com aproximadamente 1,7 milhões de quilômetros, que movimentam 65% das cargas e 95% dos passageiros no território nacional, além de consumir 93,9% da energia destinada ao setor de transporte (CNT, 2023). Essa concentração acarreta maior dependência desse modal e menor competitividade entre os demais setores de transporte.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a seguir, adaptada do Anuário Estatístico do Transportes, portal do Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), de responsabilidade da Infra S.A, empresa pública associada ao Ministério dos Transportes, apresenta o gráfico de investimentos públicos em infraestruturas de transportes nos últimos três anos. Estima-se que, no ano de 2023, o governo federal, investiu cerca de 13,74 bilhões de reais neste setor. Somente o modo rodoviário recebeu 12,78 bilhões, valor correspondente a 93% do total investido em todos os modos (ONTL, 2024).

Figura 1 - Investimentos Públicos Federais em Infraestrutura de Transportes dos anos de 2021 a 2023.

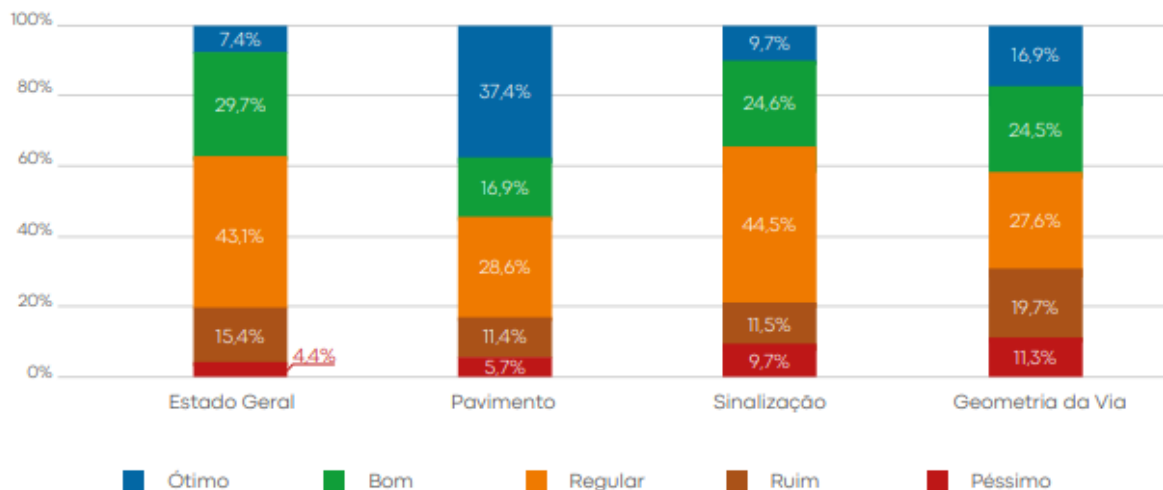


Fonte: Ministério dos Transportes/Infra S.A, (2024).

Apesar de ser responsável pela maior movimentação e ser o foco central entre os investimentos federais, o setor rodoviário enfrenta desafios para o seu funcionamento. Dos 1,7 milhões de quilômetros de extensão da malha, apenas 213,5 mil quilômetros, ou 12,4%, são pavimentados (SNV, 2023).

Segundo a 26ª Pesquisa CNT de Rodovias, que avaliou a qualidade de 111.502 quilômetros de rodovias federais e estaduais pavimentadas, cerca de 67.659 quilômetros estão sob responsabilidade da federação. Foram consideradas variáveis como a qualidade do pavimento, a sinalização e a geometria das vias, cujos resultados obtidos estão expressos separadamente e em um estado geral na figura 2.

Figura 2 - Resultados de Rodovias Federais



Fonte: CNT (2024).

O Estado Geral da via se apresenta em 62,9% qualidade Regular, Ruim ou Péssimo, e 37,1% classificada como Ótimo ou Bom, indicando uma deficiência e uma carência do ente gestor (CNT,2023). Para Gaertner (2024) impacto da infraestrutura precária das rodovias afeta a economia, a sociedade e o meio ambiente.

Sendo assim, as rodovias representam um dos pilares do desenvolvimento econômico brasileiro, o que exige uma gestão e operação eficientes de todos os elementos que as compõem, incluindo as faixas de domínio.

A faixa de domínio constitui-se no espaço físico no qual a rodovia é implementada. É composta pela pista de rolamento, canteiros, acostamentos, obras de arte, sinalização e faixa lateral de segurança (DNIT, 2020). O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é responsável por gerir essa importante área, no caso das rodovias federais sob domínio público, garantindo sua

segurança e operação. No caso das rodovias federais concedidas, a administração e a exploração são realizadas pela iniciativa privada, sob regulação e fiscalização da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

A faixa de domínio também possui potencial de arrecadação monetária. De acordo com a Gerência de Faixa de Domínio (Gefad) da Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade (SIE), somente no período de janeiro a junho de 2020, a arrecadação com o uso e ocupação das faixas de domínio estaduais chegou a R\$ 2.575.493,20 (SECOM, 2020).

Esses valores são provenientes de autorizações para instalações de infraestrutura como redes de telecomunicações e energia, publicidade em outdoors, acessos a propriedades privadas, além de atividades comerciais e concessões para empreendimentos adjacentes às rodovias (DNIT, 2021).

No que se refere ao gerenciamento de informações, o acervo técnico de rodovias no Brasil ainda é formado majoritariamente por registros físicos e projetos antigos, frequentemente desatualizados ou incompletos. Além disso, a falta de projetos "*As Built*" contribui para a ausência de clareza e consistência sobre a real situação das dimensões e limites das faixas de domínio das rodovias (Albuquerque, 2023). Isso pode gerar retrabalho aos funcionários, aumentando os custos aos cofres públicos.

Esses desafios são agravados pela presença de ocupações irregulares, fiscalização insuficiente e manutenção inadequada, somados à limitada integração de dados entre os órgãos e setores responsáveis. Juntos, esses fatores dificultam a gestão e operação da infraestrutura, impactando diretamente a eficiência e a segurança das rodovias.

Neste cenário, a busca por metodologias e tecnologias de informação tem se mostrado uma alternativa adequada para otimizar o gerenciamento da infraestrutura. Dentre as tecnologias disponíveis, destacam-se o *Building Information Modeling* (BIM) e o *Geographic Information System* (GIS).

Enquanto o BIM opera na escala micro da edificação, sendo definido por Eastman et al. (2008) como "uma tecnologia de modelagem em um grupo associado de processos para produção e análise do modelo de construção, permitindo a criação de modelos 3D e a gestão das suas informações durante todo o ciclo de vida do

projeto de construção”, o GIS permite a interpretação de informações geográficas, compreendendo um conjunto de ferramentas capazes de receber, armazenar, manipular, analisar e produzir dados referentes ao espaço (ROSA, 2005), numa perspectiva macro. Ambas as ferramentas permitem a integração de informações de diversas fontes, facilitando o processo de tomada de decisão e fiscalização, reduzindo riscos e tornando mais eficientes e transparentes os fluxos de trabalho.

Com o intuito de entender como pode ser feita a integração das metodologias GIS e BIM para a gestão das faixas de domínio, formula-se a seguinte pergunta de pesquisa: **“Como a integração das tecnologias GIS e BIM pode melhorar a gestão e operação da faixa de domínio nas rodovias?”**.

Os procedimentos metodológicos utilizados para atender os objetivos baseiam-se em uma revisão sistemática integrativa sobre a aplicação da integração GIS e BIM em infraestruturas rodoviárias. Além disso, com base no *Control Objectives for Information and Related Technologies* (COBIT), um modelo de governança e gestão de tecnologia da informação (TI), propõe-se um modelo conceitual aplicável à gestão e operação das faixas de domínio.

1.1 Justificativa

A elaboração deste trabalho colabora para o entendimento da importância da gestão da infraestrutura das faixas de domínio federais do modo rodoviário, que possuem na mobilidade do país. A gestão inadequada dessas áreas, aliada à falta de dados claros e atualizados e fiscalização, pode gerar retrabalho e acarretar custos para o setor público. Esses problemas podem comprometer não apenas a eficiência da administração, mas também a segurança viária.

Além disso, o uso de metodologias como o BIM e o GIS surge como uma oportunidade de modernizar a gestão dessas áreas. Se integradas estas tecnologias pode-se ter uma visão mais completa e precisa da infraestrutura, facilitando análises para a tomada de decisões, a partir de processos mais transparentes. Assim, a proposta deste estudo é explorar como a aplicação integrada do BIM e do GIS, alinhada ao modelo *Control Objectives for Information and related Technology* (COBIT) de governança, pode otimizar a operação e o monitoramento das faixas de domínio nas rodovias federais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em **identificar requisitos para a possível integração BIM x GIS no contexto da infraestrutura rodoviária.**

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar o estado da arte da integração BIM X GIS no cenário internacional da infraestrutura rodoviária;
- b) Identificar elementos da gestão e da operação de faixas de domínio federais no Brasil;
- c) Identificar os principais elementos para compor uma proposta de modelo conceitual que integre GIS, BIM, a gestão e a operação rodoviária;
- d) Propor um modelo conceitual (*framework*) para implementação de práticas da Integração GIS x BIM para gestão e operação de faixas de domínio.

1.2.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por seis capítulos. O primeiro capítulo consiste na Introdução, que apresenta a contextualização inicial sobre o tema abordado, as motivações, o objetivo geral e os objetivos específicos, além de descrever a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo traz os principais conceitos, teorias e discussões que servem como base para o desenvolvimento da pesquisa. Na sequência, o terceiro capítulo é dedicado à revisão sistemática integrativa da literatura, abordando o estado da arte da integração GIS-BIM aplicada à infraestrutura rodoviária.

O quarto capítulo detalha a estratégia metodológica empregada para atingir os demais objetivos propostos, definindo os elementos necessários à composição do *framework* para aplicação da integração GIS-BIM nas atividades de gestão e operação das faixas de domínio, em conformidade com as diretrizes do modelo de governança de TI, o COBIT.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho, incluindo o modelo conceitual elaborado.

Por fim, o sexto capítulo reúne as considerações finais da pesquisa, destacando as conclusões do estudo. Também analisa o alcance dos objetivos e oferece recomendações para trabalhos futuros relacionados ao tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução ao capítulo

Em toda pesquisa, é necessário conhecimento conceitual e contextual do tema estudado. Neste capítulo, são abordados e definidos os principais conceitos utilizados para a elaboração deste trabalho, como BIM, GIS, em conjunto com as capacidades de sua integração, além dos conceitos que compreendem a infraestrutura rodoviária, a gestão das faixas de domínio e os fundamentos do COBIT.

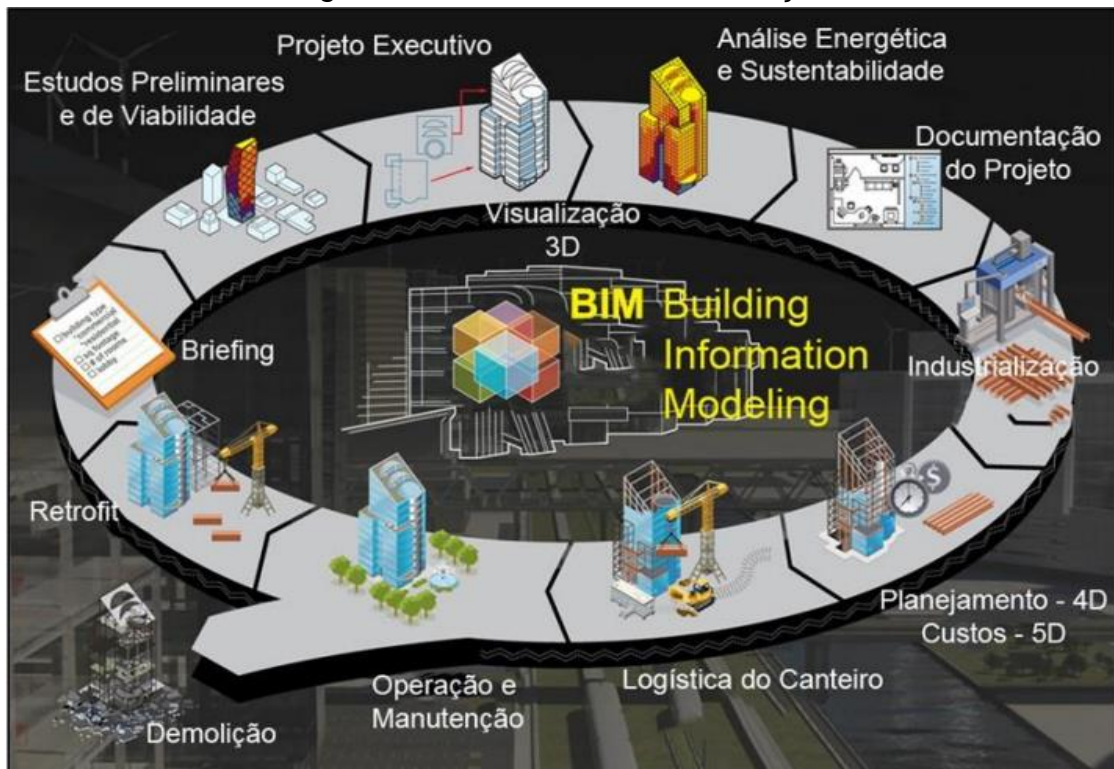
2.2 *Building Information Modeling (BIM)*

Tradicionalmente, a elaboração de projetos é realizada de modo linear, ou seja, uma etapa é concluída antes que a seguinte se inicie. Esse método limita a interação e comunicação entre os agentes do processo, tornando-o menos dinâmico, com poucas ou nenhuma revisão das atividades e, assim, sem atualização em tempo real das modificações do modelo (Lacerda, 2020).

BIM é o acrônimo para Building Information Modeling, traduzido para o português como Modelagem da Informação da Construção. Este conceito foi apresentado pelo professor Chuck Eastman na década de 1970, enquanto sua terminologia foi estabelecida em 1992. Seu uso tornou-se mais popular nos anos seguintes, a partir da oferta de microcomputadores mais acessíveis e avançados para a indústria da construção civil da época, em conjunto com a elaboração de normas e guias de boas práticas (ABDI, 2017).

Para Franz e Messner (2019), o BIM se tornou um marco, transformando a maneira de projetar, construir e operar na construção civil. Costa (2018) apresenta o BIM como uma tecnologia e metodologia colaborativa que incorpora informações em um modelo virtual ao longo do ciclo de vida da construção (figura 3).

Figura 3 - Ciclo de vida da construção



Fonte: Autodesk, adaptado Manzione (2013).

A digitalização em um modelo 3D, por exemplo, não compreende mais apenas uma representação geométrica da edificação, mas um conjunto de dados parametrizados utilizados para projetar, planejar, operar e realizar manutenção ao longo da sua vida útil (Soares, 2013). É uma tecnologia baseada em modelos de banco de dados e que permite o desenvolvimento e a utilização de informações do projeto (Andrade; Ruschel, 2011)

Existem diferentes definições para o BIM. Para Eastman et al (2011) "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".

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2016) descreve BIM como a unificação de informações em uma plataforma digital capaz de atender o ciclo de vida de um objeto orientado que se deseja construir, operar e manter. É desenvolvido de maneira progressiva, baseando-se em políticas, processos e tecnologias que possibilitam o gerenciamento de projetos desde suas fases de

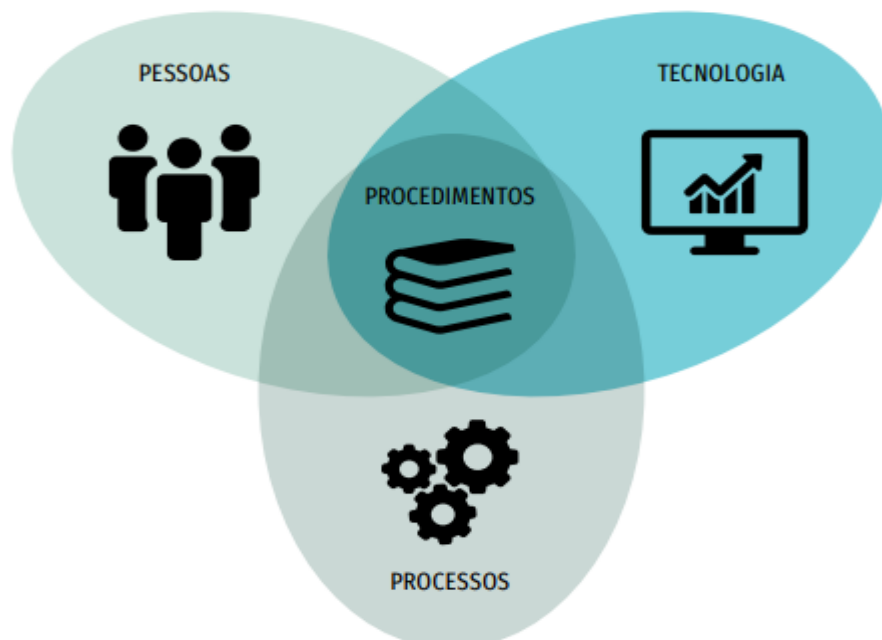
concepção até seu uso, o armazenamento, a troca de informações de diferentes níveis e a comunicação de todos os participantes envolvidos de forma ágil e facilitada.

O BIM está promovendo transformação digital do setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) (FP/BIM,2024), impondo uma mudança de paradigma que requer novas habilidades e conhecimentos técnicos. Sua contribuição vai para além da representação visual.

A sua capacidade de integração possibilita mais eficiência ao projeto, diminuindo seus custos, aumentando a produtividade, a qualidade, reduzindo o retrabalho e desperdício, permitindo que a todos que interagem com a construção durante seu ciclo de vida otimizem suas ações agregando maior valor para o ativo (DNIT, 2021). Portanto, não pode ser delimitado como um software ou modelo tridimensional (Eastman et al,2011).

O funcionamento eficaz do BIM depende da cooperação entre três pilares fundamentais: a tecnologia, as pessoas e os processos que se conectam a partir de procedimentos adotados para a execução da metodologia, como esquematiza a figura 4, a seguir:

Figura 4 - Pilares BIM



Fonte: ABDI (2017).

O pilar da tecnologia consiste nos recursos de infraestrutura para o desenvolvimento e acompanhamento das etapas construtivas do modelo virtual. É

formado por softwares, computadores, conexão entre as redes, o armazenamento de arquivos e segurança, capacitação e adaptação dos usuários para a realização dos processos. O pilar das pessoas se refere ao profissionais capacitados capazes de compreender o fluxo de trabalho e operar as plataforma BIM, de forma colaborativa. Por fim, o pilar de processos refere-se ao plano de trabalho durante todo o ciclo de vida da edificação, iniciando nas primeiras fases de projeto até as de operações e gestões do ativo, baseando-se em normas e guias de boas práticas (ABDI, 2017).

2.2.1 Dimensões BIM

O modelo BIM é a representação digital multidimensional das características físicas e funcionais de uma infraestrutura, edificação ou instalação. É elaborado para atender os objetivos de cada etapa do ciclo de vida de um empreendimento, podendo assim, ao longo da evolução do projeto serem desenvolvidos mais de um modelo com níveis e informações diferentes (CBIC,2018).

As dimensões BIM são as fases de desenvolvimentos da informações que compõem o modelo digital. São atribuídas informações aos modelos 3D conforme os dados que desejam extrair, como um quantitativo ou estimativas de custos, exemplo. Um projeto pode ter mais de uma dimensão BIM (BibLus, 2018). Segundo Ershadi et al. (2021), é importante compreender as diferentes dimensões da metodologia BIM, visto que estas estão incorporadas nos fluxos de trabalho BIM e seu domínio torna os resultados das modelagens mais precisos.

As dimensões podem receber diferentes definições e nomenclaturas de acordo com a fonte consultada. Dentre as mais comuns encontradas na literatura, para Silva et al. (2021) elas são:

- 2D – Documentação ou representação: Relacionado ao detalhamento e documentação do projeto;
- 3D - Modelo paramétrico: Desenvolve-se a especialização da segunda dimensão. Define os objetos modelados por seus parâmetros ajustáveis, o que possibilita modificações automáticas nos elementos que interagem entre si, devido a geometria associativa. Esta dimensão viabiliza a análise de possíveis conflitos e ajustes mais assertivos ainda na fase de projeto;

- 4D – Tempo e planejamento de execução da obra: É a dimensão que incorpora o fator tempo ao modelo 3D. Permite a simulação virtual do cronograma das etapas de execução e a elaboração de um planejamento
- 5D - Orçamento (análise dos custos): Associa os parâmetros do modelo a dados orçamentários. Facilita a estimativa e análise custos e quantitativos mais assertivos;
- 6D - avaliação da sustentabilidade: Associa-se a eficiência energética e desenvolvimento sustentável. Permite o estudo, por meio de simulações do desempenho das edificações como conforto térmico, acústico, luminotécnico e ambiental;
- 7D – Manutenção e operação: Essa dimensão compreende a fase de gestão do ativo ao longo do seu ciclo de vida, a partir de processos de manutenção e operação;
- 8D - Segurança e prevenção de acidentes: Associa ao modelo informações relacionadas à segurança, permitindo a identificação de riscos durante a execução da obra.

Existem outras classificações para as dimensões que estão sendo difundidas, evoluindo constantemente a metodologia. Arnal (2018) aborda a nona e décima fase. A 9D adota os conceitos de *Lean Construction* ou Construção Enxuta, enquanto a 10D é a construção industrializada. O autor acrescenta que objeto comum do conjunto de todas as dimensões (figura 5) seja alcançar a construção industrializada, que transformará o setor mais produtivo e integrará, através da digitalização, novas tecnologias.

Figura 5 - Dimensões BIM



Fonte: Arnal (2018).

Do planejamento de projeto à operação e manutenção do empreendimento, pós-obra, a aplicação da metodologia BIM permite antecipar conflitos e erros, minimizando-os; realizar simulações e análises de custo, tempo, eficiência e a racionalização da construção, devido ao níveis de informações que são atribuídas e sua interação no modelo. Por isso é importante a colaboração dos participantes, parametrização dos objetos e a interoperabilidade dos modelos (Eastman et al., 2008).

A padronização no BIM é crucial para garantir a interoperabilidade entre diferentes ferramentas. Isso facilita a colaboração entre equipes, reduz erros e assegura que os modelos atendam a requisitos técnicos e normativos.

2.2.2 Níveis de desenvolvimento

O *Level of Development* (LOD), em português Nível de desenvolvimento, de acordo com a padronização proposta pelo *American Institute of Architects* (AIA), está associado ao detalhamento da parte geométrica do modelo. Consiste na maneira utilizada para aferir a escala confiabilidade do conteúdo modelado durante as fases de desenvolvimento de um projeto (DNIT, 2022).

CBIC (2018), apresenta seis diferentes níveis. São eles:

- LOD 100: Consistem em elementos de um modelo podem ser representados graficamente por um símbolo ou outra representação genérica. Não são representadas formas, nem tamanho ou localização precisa;
- LOD 200: Representação de modelos genéricos, com Objeto ou montagem com tamanhos, formas, quantidades e orientações aproximadas, sem informações não gráficas atreladas aos elementos modelados;
- LOD 300: Os elementos modelados apresentam formas, tamanhos quantidades e orientação e especificidade, podendo-lhes serem atribuídos informações não gráficas;
- LOD 350: Elementos modelados são representados graficamente como um sistema específico. Seus objetos possuem tamanhos, formas, quantidades, orientações e interfaces se relacionam a outros sistemas. Também podem receber informações não gráficas;
- LOD 450: Nível com detalhamento mais complexo e preciso. Seus objetos são modelados como conjuntos específicos com tamanhos, formas, quantidades,

orientações com detalhamento de informações a respeito dos fabricação, montagem e instalação.

- LOD 500: Refere-se à representação de informações reais do empreendimento, verificadas em campo, o as built. Representa de forma gráfica os elementos em termos de tamanho, formas, localização, quantidades e orientações.

2.2.3 Interoperabilidade BIM

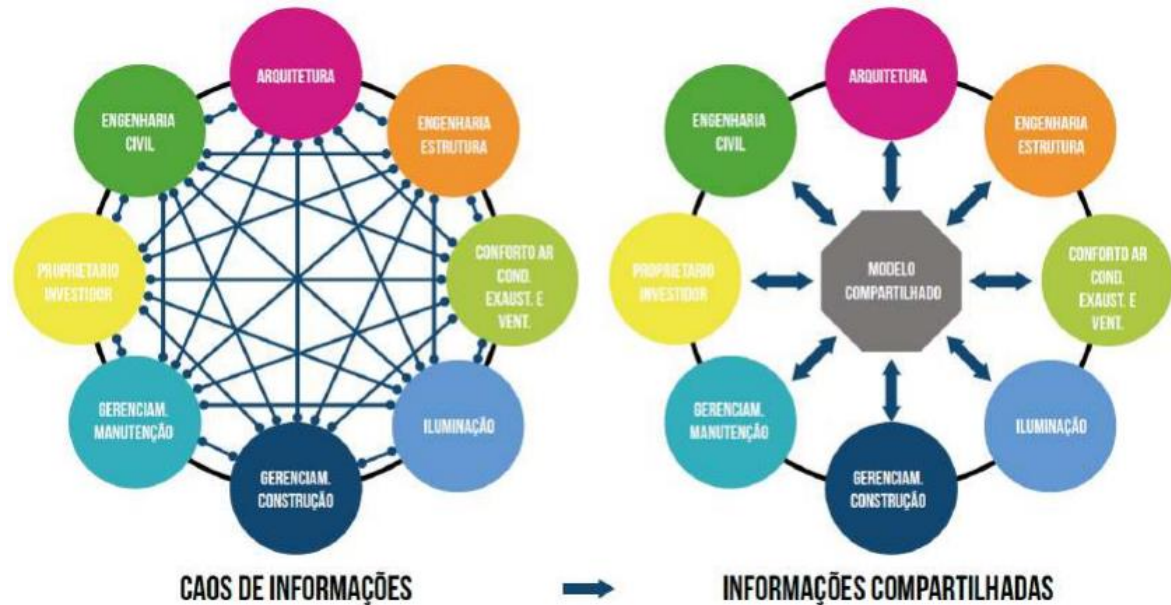
A construção é um processo integrativo. Diferentes equipes e profissionais trabalham na composição de um projeto, usando diferentes aplicativos, em um processo colaborativo. Da mesma maneira que a arquitetura e construção são atividades colaborativas, as ferramentas que as apoiam também são. Eastman et al. (2014) apresentam a propriedade da interoperabilidade como responsável por identificar a necessidade de transferência de dados entre diferentes aplicações, permitindo que várias ferramentas colaborem de forma conjunta para realizar o trabalho necessário.

A interoperabilidade e os padronização de dados BIM são importantes na consolidação da metodologia, tornando-a uma ferramenta colaborativa e integrativa. (Pereira; Amaral, 2020).

CBIC (2016) define a interoperabilidade como “a capacidade de realizar as aplicações de um usuário final, utilizando-se diferentes sistemas computacionais e operacionais, aplicativos e softwares, tudo interligado por diferentes tipos de redes locais e remotas”. Essa competência elimina a necessidade de duplicação de dados de entrada que já foram gerados, facilitando o fluxos de trabalho e automações (Eastman et al., 2014).

Quando comparada aos métodos de troca de informação dos métodos convencionais (figura 6), baseados no CAD por exemplo, há vários caminhos de comunicação, o que torna o processo mais conturbado. Em contrapartida, o modelo BIM apresenta a centralização da informação, permitindo o compartilhamento de dados simultaneamente (CBIC, 2016).

Figura 6 - Modelo de troca de informações em modelos convencionais x BIM



Fonte: CBIC (2016)

O padrão ISO 19650 para BIM (ISO, 2018) destaca uma série de benefícios para gestores na adoção da metodologia durante o estágio de gerenciamento de ativos ao longo do ciclo de vida. Esses benefícios incluem a redução de custos, maior consciência operacional e de manutenção, tomadas de decisão mais informadas, detecção precoce de falhas, planejamento estratégico aprimorado e melhores processos de verificação.

Contudo, pesquisas indicam que esses benefícios ainda não se concretizam amplamente na prática (Winfield, 2020). Os desafios principais na fase operacional abrangem a falta de interoperabilidade entre tecnologias de BIM e de gerenciamento de instalações (FM). O entendimento limitado dos requisitos para sua implementação em FM, a ausência de sistemas abertos e bibliotecas de dados padronizados, a coexistência de muitos sistemas operacionais distintos sobre a mesma edificação, além da falta de definição clara de funções, responsabilidades, contratos e estruturas de responsabilidade prejudicam os fluxos de trabalho e o resultado do modelo (Kassem et al., 2015).

2.2.4 BIM no Brasil

A participação governamental na elaboração de estratégias e políticas para expandir e fortalecer o BIM na indústria AECO é essencial, identificando as principais

barreiras a serem superadas (Lindblad; Guerreiro, 2020). Políticas públicas podem facilitar a sua implementação no setor, através conscientização a respeito dos benefícios da metodologia; de oportunidades de capacitação dos profissionais; e, investimentos em infraestrutura tecnológica (Ahmed, 2018).

No Brasil, o Governo Federal tem elaborado medidas para o emprego e incremento desta tecnologia no país, sendo por decretos de leis ou criação de grupos estudos sobre o assunto. O Quadro 1 a seguir, adaptada de Magalhães et al (2024), apresenta de maneira resumida Medidas de fomento a utilização da Metodologia BIM na esfera pública no Brasil de 2009 a 2024:

Quadro 1 - Medidas de fomento a utilização da Metodologia BIM na esfera pública no Brasil de 2009 a 2024

Ano	Medias de fomento a utilização da Metodologia BIM na esfera publica	Objetivo
2009	Criação da Comissão de Estudo Especial (CEE) de Modelagem de Informação da Construção pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a ABNT/CEE-134	Formular uma estratégia para alinhar ações e iniciativas do setor público e do privado, impulsionar a utilização do BIM no país; promover as mudanças necessárias e garantir um ambiente adequado para seu uso
2017	Criação do Comitê Estratégico de Implementação do BIM - CE-BIM	Propor a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM
2018-2019	Decreto nº 9.377/2018 que institui a Estratégia BIM BR, substituído em 2019 o decreto nº 9.983	Promover a modernização e transformação digital indústria, trazendo maior transparência para setor de obras públicas no Brasil.
2020	Decreto nº 10.306/2020	Implementação do BIM, em três fases ao longo de 7 anos, em órgãos e entidades da administração pública federal direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, no âmbito da Estratégia BIM BR.

2021	Lei nº 14.133/2021	Criação normas gerais de licitação e contratação para as administrações públicas federais, estaduais e municipais, com o emprego do BIM na licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura.
2024	Decreto nº 11.888/2024	Promover um ambiente adequado ao investimento em BIM; estruturar o uso dos processos BIM na administração pública tornando a mais transparente e eficiente.
2024	Plano de Trabalho da Nova Estratégia BIM BR	Busca estruturar a utilização do BIM no período de 2025 a 2027, através de três eixos estratégicos que envolvem o setor público, a formação profissional e o apoio a pesquisas de inovação.

Fonte: Autora adaptado de Magalhães et al. (2024).

A criação de políticas públicas para a modernização da indústria nacional da construção civil reforça o compromisso do Governo Federal em promover inovação e mais eficiência para setor. Essas medidas tornarão a metodologia BIM uma ferramenta essencial na administração pública e no setor privado, fortalecendo a competitividade da indústria nacional.

Além da esfera Federal, os estados brasileiros também trabalham para a sua implantação. Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, através da Rede BIM GOV SUL, em 2014, criaram grupos de técnicos para promover ações integradas de fomento para implantação de BIM na esfera pública estadual da região sul (BIM PR,2017). Dentre os trabalhos, se desta o projeto piloto PROARTE para a implementação do BIM no DNIT, cujo objetivo é de realizar a manutenção e reabilitação em arte especiais AOE, (como pontes, túneis, viadutos, passarelas e

estruturas de contenção), que compõem a malha rodoviária federal em todo o país (DNIT, 2021).

2.2.5 Estratégia BIM BR

Em 2024, o Governo Federal publicou o Decreto nº 11.888, de 22/01/2024 que instituiu a atualização da Estratégia BIM BR do Decreto nº 9.377 de 2018, um marco na obrigatoriedade do emprego da tecnologia no país.

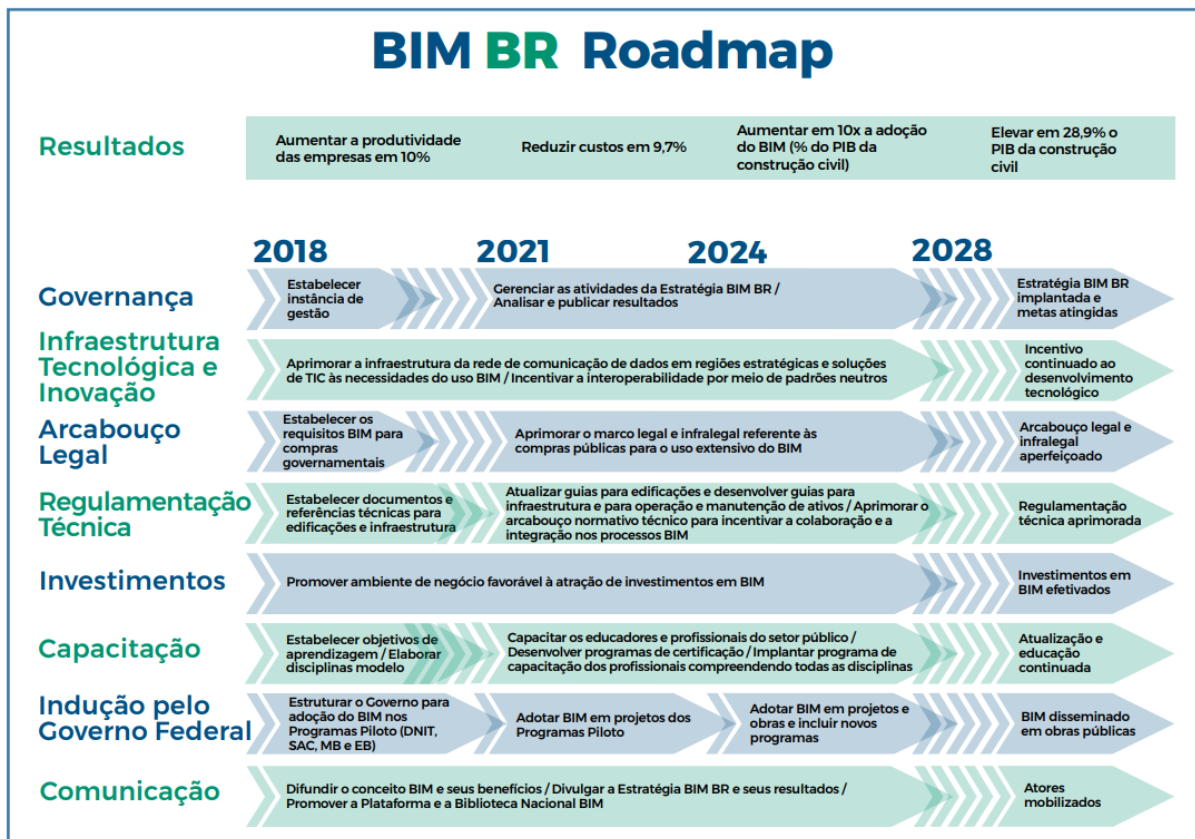
A nova Estratégia BIM BR é parte das ações do programa Nova Indústria Brasil cujo objetivo busca a modernização e transformação digital nas cadeias produtivas nacional de construção e obras de infraestrutura. A medida faz parte da segunda etapa do plano de disseminação do BIM. A atualização da BIM BR possui dez objetivos a serem alcançados até 2028 (Brasil,2024):

- I – Difundir o BIM e os seus benefícios;
- II – Coordenar e apoiar a estruturação da administração pública federal para a adoção do BIM;
- III – apoiar as administrações públicas estaduais, distrital e municipais para a adoção do BIM;
- IV – Criar condições favoráveis para o investimento público e privado em BIM;
- V – Estimular a capacitação e a formação profissional em BIM;
- VI – Propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;
- VII – orientar o desenvolvimento de normas técnicas e apoiar a elaboração de guias e protocolos específicos para adoção do BIM;
- VIII – definir diretrizes para o aperfeiçoamento da Plataforma e da Biblioteca Nacional BIM e incentivar o seu uso;
- IX – Estimular o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM;
- X – Incentivar o uso de especificações técnicas abertas para a interoperabilidade em BIM com o propósito de:
 - a) estimular a concorrência no mercado;
 - b) aumentar a participação e o acesso dos profissionais de projetos e obras ao mercado; e
 - c) estimular o desenvolvimento da documentação digital de ativos de projetos e obras da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e ampliar suas possibilidades de uso; e

XI – estimular o uso do BIM para o fomento da construção industrializada e da sustentabilidade na construção (Brasil,2024)”.

Os dez objetivos visam direcionar as ações, iniciativas e projetos necessários para atingir os resultados esperados, que se alinham a três eixos principais. O primeiro eixo visa a estruturação do Setor Público para utilização do BIM; o segundo a capacitação e formação profissional; e, por fim, o terceiro incentivo de políticas de apoio à pesquisa, inovação e desenvolvimento de aplicações em BIM e Sustentabilidade Ambiental. Para alcançar suas metas, a Estratégia BIM está dividida em três fases e devem ter duração de 10 anos, como mostra o RoadMap da Figura 7.

Figura 7- RoadMap BIM BR



Fonte: MDIC (2018)

Espera-se, que ao final do cronograma programado das fases de implementação, a Estratégia BIM BR alcance resultados significativos para o setor de engenharia civil do país. As expectativas são de aumento em dez vezes na adoção da metodologia; aumento em 10% produtividade e eficiência das empresas; redução de 9,7% dos custos de produção dos trabalhos, contribuindo para competitividade do setor, elevando 28,9% do PIB da construção civil (MDIC,2018).

2.3 *Geographic Information System (GIS)*

Existe uma discussão entre os estudiosos a respeito da conceituação do Sistema de Informação Geográfica (SIG), ou *Geographic Information System (GIS)* em inglês. Miranda (2005), aponta que a variedade de definições é em decorrência da sua versatilidade de usos e áreas de aplicação.

Entre diversos campos de estudo e tecnologia estão a ciência da computação, gerenciamento das informações, cartografia, geodésia, fotogrametria, topografia, processamento digital de imagens e geografia (Silva, 2003). Pina (1998), complementa que além do seu potencial de áreas de atuação, é suporte para ações de tomada de decisão e planejamento.

Os GISs encoparam em sua definição vários aspectos de Geoprocessamento, prática que consiste na utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. São amplamente utilizados as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional evidenciando interdisciplinar sua característica interdisciplinar (Câmara et al, 2001),

Entre as definições clássicas encontradas na literatura, destacam-se aquelas que apresentam o GIS como uma ferramenta “de coleta processamento, armazenamento e análises de dados georreferenciados” (Stolf,2019). A seguir serão apresentadas algumas encontradas durante a pesquisa.

Para Almeida e Andrade (2015), um GIS consiste em um conjunto de ferramentas consolidadas nas áreas de estudos da cartografia, planejamento territorial e geografia. São bases de dados digital atrelados ao sistema de coordenadas espaciais.

Fitz (2008) apresenta os GISs como “sistemas computacionais que possuem programas especiais para a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise digital de dados georreferenciados visando à produção de informação espacial.

Para Foote e Lynch (1995), o GIS permite a tomada de decisão devido a sua capacidade de manipular e associar diferentes bases de dados, como textos e gráficos georreferenciados, resultando em gráficos, vetores ou rasters.

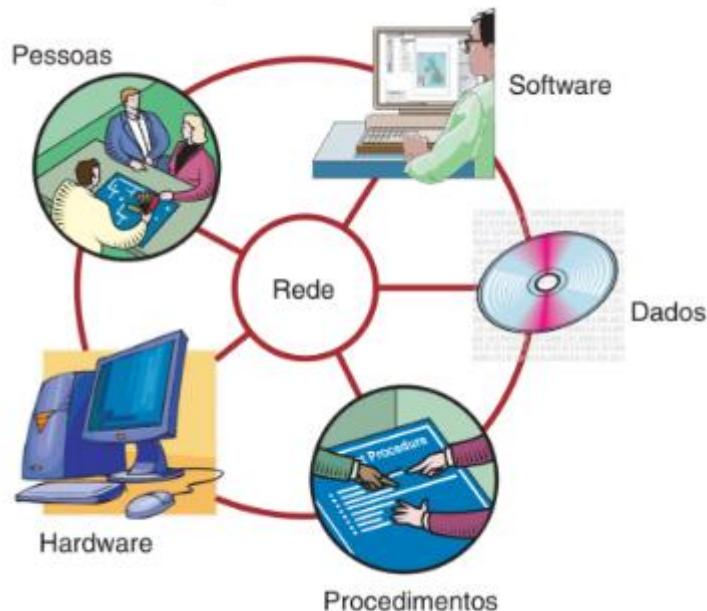
Por sua vez, Rosa (2005) diz que o GIS é composto por equipamentos e programas computacionais que integram pessoas, instituições e diferentes dados,

capaz coletar, armazenar, processar, analisar e disponibilizando informações georreferenciadas, com o intuito de, no que se refere ao espaço geográfico, tornar mais eficiente as atividades de monitoramento, planejamento e tomada de decisão.

Para Cardoso (1999) a implantação da tecnologia GIS agregam diversos benefícios como: eliminação de informações redundantes e problemas de múltiplos conjuntos de dados; revisão de mapas facilitados; Aumento da produtividade da mão de obra; Centralização de dados de mapas em um banco de dados, com sua manutenção em tempo real, e processamento de grande volume de dados e produção de relatórios e estatísticas do interesse do usuário. Estes aspectos proporcionam suporte a funções de Engenharia e Planejamento, propiciada por melhor e mais ampla capacidade de análise e da melhora da qualidade da elaboração de planos.

Silva (2003) apresenta a Estrutura Lógica ou Organizacional de um SIG constituída pelos seguintes elementos: hardware (equipamentos físicos), software (programas), usuários e o banco de dados. Longley et al. (2013) rompendo com a ideia de hierarquia da composição do sistema, adicionando um sexto componente, a rede com função de agente integrador do sistema que possibilita o armazenamento e processamento remoto em nuvem (Figura 8).

Figura 8 - Componentes de um Sistema de Informações Geográficas



Fonte: Longley et al. (2013).

Os dados espaciais, em GIS, são estruturados de duas maneiras: matricial (raster) e vetorial (vetor). Na estrutura matricial as informações espaciais são

representadas por células ou pixels associadas um valor, permitindo o reconhecimento de um objeto como uma imagem digital. Já o formato vetorial o espaço é representado por entidades que podem ser pontos, linhas ou polígonos, orientados por um sistema de coordenadas (Rocha, 2007)

O GIS é uma forte ferramenta da georreferenciação. Sua modelagem de dados é baseada em servidor, no qual são possíveis realizar de forma bastante simples e rápida análises de sobreposição e proximidade de elementos, da superfície terrestre, temporais e estatísticas (Berlo; Laat, 2011).

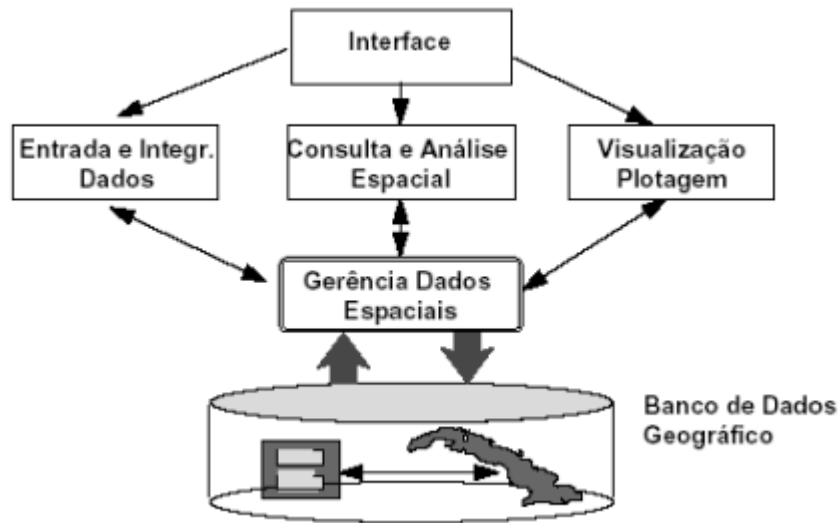
A principais formas de utilização do GIS são: a produção de mapas, suporte na análise espacial dos fenômenos e banco de dados geográficos na função de armazenamento e recuperação de informação espacial (Jesus, 2024).

Em síntese, pode-se dizer que o Sistema de Informação Geográfica é uma tecnologia de geoprocessamento de dados que integra usuários, hardware, software e o banco de dados. A partir de coleta de dados georreferenciados, de fontes heterogenias, o sistema armazena, processa e os sintetiza, associando informações gráficas e textuais, por meio de processo computacionais e matemáticos. Permite, com base de um modelo do mundo real, a interpretação do espaço e informações geográficas, contribuindo para tomada de decisões e estratégias em diferentes áreas da ciência.

2.3.1 Componentes do fluxo GIS

Um sistema GIS, usualmente, é composto por 5 componentes ou subsistema (Figura 9). Podem ser utilizados de modo adaptado conforme seja o seu objetivo final. São eles: interface com usuário; entrada e integração de dados; gerenciamento de dados espaciais; visualização e plotagem; e consulta e análise de dados espaciais. De acordo com (Câmara et al., 2001).

Figura 9 - Estrutura geral de um sistema de informação



Fonte: Câmara (2001)

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica, e podem ser operados em 3 níveis. No primeiro, é definido como o sistema é operado a partir da interface entre o usuário e a ferramenta. O segundo nível, é o nível de processamento dos dados espaciais. Por fim, o terceiro consiste no gerenciamento do banco de dados espaciais, seu armazenamento e associação aos atributos (Camara et al., 2011)

O GIS também pode ser utilizado na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Parsons e Fronst (2000), desenvolveu modelos 3D de subsuperfície com dados de sondagem, capazes de fornecer uma estimativa quantitativa da adequação das informações baseadas em coordenadas usadas para tomar decisões específicas, com ênfase particular nas informações de investigação geotécnica e agroambiental do local. Além disso, pode ser empregado o gerenciamento de projetos, como cronogramas e estimativas de custos, auxiliando no planejamento de segurança da construção, gerenciamento de projetos, como cronogramas e estimativas de custos (Shrestha; Shrestha, 2014).

2.4 Integração GIS e BIM

A integração entre as tecnologias BIM e GIS pode ser considerada como “quaisquer conversões de arquivos, métodos de importação ou interconexões que possibilitem o consumo de dados de uma tecnologia na outra” (Barros, 2023).

O BIM mesmo com a capacidade de reter informações detalhadas da construção, elaborar modelos de diferentes níveis de representação que carregam

informações semânticas, geométricas e paramétricas, possui a limitação no que se refere a interpretação e ordenamento espacial ao qual a representação virtual está inserida (Liu et al., 2017). Sua visualização limita-se da edificação, em uma escala de análise micro. Para a representação de infraestrutura urbana, ou seja, em uma escala macro, por exemplo, é preciso lidar com coordenadas georreferenciadas (Trisyanti et al., 2019).

Por outro lado, o SIG se baseia em coordenadas espaciais, sendo uma base de dados digitais de múltiplas finalidades, aplicado em diversas áreas como a geografia, cartografia, planejamento urbano e regional (Almeida; Andrade, 2015).

Ao relacionar dados textuais (dados tabulares) a gráficos georreferenciados (mapas e fotos aéreas, por exemplo), permite a análise e interpretações das informações da superfície, representando-as de forma matricial ou vetorial (Foote; Lynch, 1995). Tornou-se uma ferramenta importante para gestão de informações espaciais, no que se refere as infraestruturas urbanas, pois auxiliar a visualização das formas territoriais em grande escala (Melo, 2022).

Ao passo que as ferramentas SIGs são utilizadas para a gestão de informação espaciais, não possuem características para a elaboração de modelagem e projetos, desse modo. Por outro lado, o BIM não foi desenvolvido para lidar com dados com referência espacial ou coordenadas geográficas, precisando de um complemento se for empregado em projetos grandes. Desse modo, estas tecnologias, quando combinadas, se complementam (Figura 10) (Soulé; Bueno, 2021).

Figura 10 - Modelo de escala BIM-SIG



Fonte: Almeida e Andrade (2015)

Embora o BIM tenha sido pensado para projetos de edificações, a metodologia tem sido empregada no ciclo das infraestruturas (Oliveira, 2022) dos setores como de transporte, incluindo estruturas como rodovias, ferrovias, pontes, túneis e portos; de energia, em refinarias, minas e estações de produção; de redes, como a de oleodutos, redes elétricas e saneamento; de recreio, em parques e estádios; e ambientais, como barragens e aterros (Liu et al., 2017).

A integração GIS e BIM permite a gestão eficaz do ciclo de vida que englobam as etapas de planejamento, projeto, construção, operação e manutenção do ativo; tratar de informações de qualquer escalas espaciais e temporal; e, coletar dados de diferentes fontes. Essas atribuições permitem aos operadores de sistema integrado, a análise e interpretações, servindo assim, como base para a tomada de decisões e elaboração de planos de gestão de ativos (Liu et al., 2017)

Para que a integração do BIM com o GIS ocorra de forma a favorecer a gestão da informação de construção e geográfica, as ferramentas adotadas devem trazer o suporte dos quesitos de geometria de objetos e de semântica (Barros,2023).

Por se tratar de ferramentas computacionais com características distintas, a integração entre BIM e GIS não é simples. Não existe formato de arquivo que seja capaz, isoladamente, atender todos os tipos de informações do desenvolvimento de projetos. Por isso, é necessário meios nos quais o intercâmbio de dados entre diferentes ferramentas possa acontecer, de maneira segura (Eastman et al., 2014).

O BIM utiliza o IFC, de formato neutro de transferência de dados entre diferentes ferramentas com essa tecnologia, mas esse formato não é compatível com ferramentas GIS, que utilizam o padrão CityGML (Soulé; Bueno, 2021).

O *Industry Foundation Classes* (IFC) desenvolvido pela *BuildingSMART* é utilizado para dar suporte aos diferentes formatos de arquivos que se relacionam com o BIM. Sua finalidade é garantir o máximo de interoperabilidade entre os distintos softwares sem a perda informação, por isso possui um formato de arquivo neutro e aberto sem o domínio de um fabricante específico (DER/PR,2022). A versão IFC 4.3, lançada em 2013, suporta domínios de infraestruturas como de estrada, ferrovias, portos, hidrovias e pontes (BibLus,2022) A partir da versão de 2013, o IFC4, incorpora várias extensões do IFC, inclusive algumas interoperabilidades entre BIM e GIS (Liebich, 2013).

O *City Geography Markup Language* (CityGML), assim como o IFC, possui padrão aberto o armazenamento da forma e da geometria tridimensional dos objetos, entretanto, é utilizado para representar, armazenar e trocar informações com diferentes modelos virtuais de cidades tridimensionais, facilitando a integração de geodados urbanos (DER/PR, 2022).

O integração ainda possui alguns percalços no seu desenvolvimento. A associação dos IFC e o CityGML ainda enfrentam dificuldades. Ambos os tipos de arquivos apresentam dificuldade na conversão de dados geométricos e semânticos devido à complexidade e especificidades da estrutura de cada. Os dados IFC são complexos e com diferentes atributos, enquanto os do CityGML apresentam estrutura mais simples Wang et al (2019). Assim, o processo de conversão, segundo Chen et al. (2018), exige retificações manuais e computacionais, tornando a integração mais onerosa para escala urbana.

Wang et al. (2019), enfatiza a necessidade de aprimorar a interoperabilidade entre ambos os formatos, a criação de uma plataforma e softwares capazes de manterem os aspectos e particularidade de cada ferramenta

2.4.1 Modos de integração GIS e BIM

Em sua revisão sistemática, Wang et al. (2019), apontou a existência de três forma de interações e conversão de dados que podem ocorrer. O BIM pode ser aplicado com a ferramentas principal, auxiliar ou de modo proporcional com o GIS e vice-versa. O quadro 2 a seguir apresenta a síntese das vantagens e desvantagens de cada modo.

Quadro 2 - Modos de integração GIS x BIM

Integração	Benefícios	Desvantagens
BIM como ferramenta principal e GIS apoio	melhor capacidade de expressar o próprio projeto e suas informações internas	Falta de capacidade de integração com informações de outros edifícios ou do ambiente espacial
GIS como ferramenta principal BIM	Excelentes capacidades de processamento de dados espaciais	Falta de informações detalhadas sobre atributos para entidades de construção
BIM e GIS igualmente	Boa combinação, capacidades de aplicação e processamento de informações edifício e no espaço circundante	Os dados pesados aumentam a carga do processamento do computador

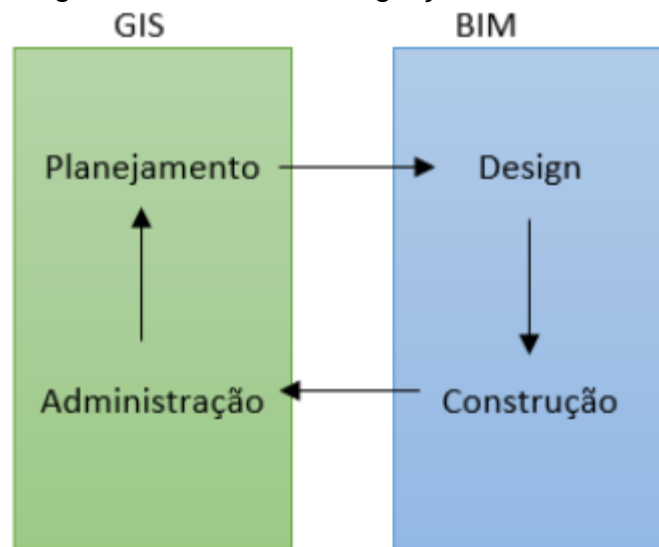
Fonte: Adaptado de Wang et al. (2019).

Quando o BIM é a ferramenta principal e o GIS atua como apoio, há maior capacidade de representar o projeto e suas informações internas, porém existem limitações na integração com informações do ambiente espacial. Na abordagem em que o GIS é a ferramenta principal e o BIM atua como apoio, há capacidade de processamento de dados espaciais, mas faltam informações detalhadas sobre os atributos das entidades construtivas. Por fim, na integração equilibrada entre BIM e GIS, a combinação permite a aplicação e o processamento de informações do edifício e do espaço ao redor, contudo, os dados aumentam a carga de processamento nos computadores.

2.4.2 Fluxo de trabalho GIS e BIM

A interação entre o GIS e o BIM não ocorre linearmente, mas de maneira cíclica, o que torna o fluxo de informação contínuo e dinâmico. Para Andrews (2019), há um ordenamento entre as etapas de planejamento, administração, design e construção. A partir das características é representada esta dinâmica da seguinte maneira (figura 11):

Figura 11 - Fluxo da integração GIS e BIM



Fonte: Adaptado Andrews (2019)

O GIS é uma tecnologia que fornece informações no contexto espacial e o BIM fornece informações detalhadas sobre ativos.

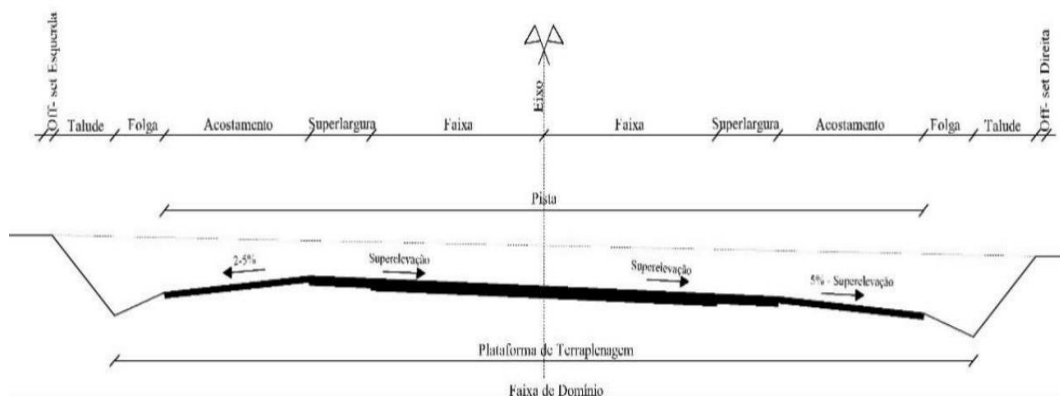
2.5 Modo Rodoviário

O modo rodoviário pode ser considerado como o sistema de transporte que utiliza estradas e rodovias para movimentação de cargas e pessoas através de veículos automotores, caminhões, carretas, ônibus e outros veículos de grande porte (Barreto; Ribeiro, 2020).

Para Moreira et al. (2018), o transporte rodoviário atua como elo de conexão entre os diferentes modais de transporte, desempenha um papel essencial nas fases iniciais e/ou finais das cadeias de transporte. Sua principal característica é a flexibilidade operacional, que facilita a movimentação.

De acordo com Freitas (2000), “a seção transversal de via é o formato da seção perpendicular à direção de movimento de veículos. Esse formato é representado por projeções de componentes de vias em plano perpendicular ao eixo da direção de movimento de veículos” (figura 12). É composta por duas linhas que resultantes da intersecção com o perfil transversal do terreno natural ou de projeto (Padillo et al., 2023).

Figura 12 - Seções Transversais de pista simples de rodovia



Fonte: Padillo et al. (2023)

Para Padillo et al., (2023), as seções transversais possuem os seguintes componentes geométricos:

- Taludes: é a superfície inclinada que delimita o corte e o aterro lateralmente.
- Off-Set: é a intersecção dos taludes de corte e aterro e a superfície topográfica natural;
- Plataforma de terraplenagem: é a superfície convexa final, construída por terraplenagem e limitada lateralmente pelos taludes de corte ou aterro.

- Plataforma de pavimentação: é a largura superior do pavimento de uma rodovia e está constituída pela pista, faixa de tráfego, terceira faixa e acostamento;
- Faixa de domínio: é uma área de terreno destinada à instalação, manutenção e proteção da rodovia. É reservada para uso exclusivo da operação rodoviária e compreende o espaço da plataforma de terraplenagem e áreas adjacentes

2.5.1 Rodovias Federais

O manual Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas, de 2017, DO DNIT reúne as terminologias, serviços e atividades referentes ao modo rodoviário. Nele, as rodovias federais são definidas como aquelas rodovias citadas na lei 5.917/73 e suas alterações, que estabelece o Plano Nacional de Viação (PNV). Além disso, apresenta as suas divisões, no que se refere a forma de administração. São elas:

i. Administração Direta: É aquela cuja responsabilidade pelos programas de operação, manutenção, conservação, restauração e construção de rodovias está a cargo do DNIT.

ii. Rodovia Delegada: É aquela cuja responsabilidade pelos programas de operação, manutenção, conservação, restauração ou construção de rodovias foi transferida ao Município, Estado ou Distrito Federal através de convênio de delegação com o DNIT.

iii. Rodovia Concedida: É aquela sob gerenciada pela iniciativa privada, concedida por processo transferência à empresa vencedora de uma licitação, por um prazo determinado. A instituição fica responsável por todos os trabalhos necessários para manter a integridade da rodovia e proporcionar serviços adequados aos usuários contra a cobrança de pedágio. O todos os trabalhos necessários para garantir as boas condições da estrada além de proporcionar serviços adequados aos seus usuários contra a cobrança de pedágio. No final do período de concessão a rodovia deve ser devolvida ao poder concedente em perfeito estado de condição física operacional.

iv. Rodovia Delegada ao Município, Estado ou Distrito Federal para Concessão: É aquela, a qual um determinado Município, Estado ou Distrito Federal, após celebração de convênio com o Ministério dos Transportes de acordo com a Lei 9.277/96, transfere à iniciativa privada para exploração. Segue a mesma condição das rodovias concedidas.

Quanto a classificação, podem ser urbanas, rurais ou vicinais. A primeira é aquela cujo trechos estão dentro do perímetro urbano das cidades e municípios. As rurais se referem aos trechos que atravessam a área rural, ligando área urbana e industrial, pontos de geração e atração de tráfego a pontos significativos dos segmentos modais. Por fim, a rodovia vacinal é a estrada local que permite o acesso a propriedades lindeiras ou caminho que liga povoações relativamente pequenas e próximas.

2.5.2 Faixa de Domínio de Rodovias Federais

As faixas de domínio (figura 13) são áreas importantes para engenharia de tráfego, pois garantem a segurança e eficiência do transporte rodoviário. São áreas destinadas à implantação, ampliação, melhoramento, manutenção e operação de rodovias (DNIT,2023). De acordo com DNIT (2021), são definidas como:

“Faixas de domínio - base física sobre a qual se assenta uma rodovia, constituída pelas pistas de rolamento, canteiros, obras-de-arte, acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança, com limites definidos conforme projeto executivo da rodovia, decretos de utilidade pública, ou em projetos de desapropriação” (DNIT, 2021).

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em seu Anexo 1, “Dos Conceitos e Definições”, a conceitua como:

“Superfície lindeira às vias rurais, delimitada por lei específica e sob responsabilidade do órgão ou entidade de trânsito competente com circunscrição sobre a via” (CTB, 1997).

Figura 13 - Ilustração da Faixa de Domínio



Fonte: DAER (2018)

O Art. 50 do CTB responsabiliza o uso de faixas laterais de domínio e das áreas adjacentes a seguir as determinações de segurança de trânsito estabelecidas pelo órgão responsável sobre a via. Como parte essencial para o funcionamento da rodovia é considerada um Bem Público de uso comum do povo (art. 99, I, do Código Civil). Por ato administrativo é declarada como Utilidade Pública (DUP) do qual o uso é regulamentado pelo órgão executivo rodoviária. As rodovias federais são geridas pelo DNIT, órgão responsável por promover o desenvolvimento sustentável e integrado do sistema de transportes (DNIT,2023).

Com a finalidade de regulamentar a largura ideal para faixa de domínio, em 1948, foram estabelecidos as Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem com o decreto Lei N° 8.463 em conjunto ao decreto N°25.151. Os artigos 24 e 25 preveem reduções as dimensões das faixas a certas circunstâncias. O art. 24 diz que em zonas rurais, a largura mínima da faixa de domínio será de 10 metros, a partir das cristas dos cortes ou dos pés dos aterros, para cada um dos lados, não podendo ser inferior ao valor estabelecido para classe que a rodovia se enquadra (Tabela 1).

Tabela 1 - Larguras ideais em relação a classe e terreno das rodovias

CLASSES	TERRENO		
	Relevo plano (m)	Relevo ondulado (m)	Relevo montanhoso (m)
I	60	70	80
II	30	40	50
III	30	40	50

Fonte: Adaptado de Brasil (1973)

Já o art. 29 prevê a possível redução da largura em projetos de aperfeiçoamento da via, quando os imóveis a serem desapropriados possuírem elevado custo. A Tabela 2 apresenta as larguras mínimas cuja faixa poderá ser reduzida (BRASIL, 1973).

Tabela 2 - Larguras mínimas em caso de aperfeiçoamento da via

Número de faixas de tráfego	Zonas urbanas ou aproximadamente urbanas (m)	Zonas rurais (m)
2	20	30
4	40	60

Fonte: Adaptado de Brasil (1973)

Ao longo do perímetro urbano, dispositivos de retornos, próximos de praças de pedágios e características geometria do terreno e o projeto de engenharia, as larguras das faixas podem sofrer variações. O art. 27, acrescenta que em trechos urbanos as dimensões devem permitir construções de vias marginais para atender o tráfego local, se economicamente viável, sem afetar a segurança da via e estabilidade dos terrenos (Brasil, 1973).

O art. 25, da lei supracitada, ressalta a importância da presença arborização com finalidade de proteção contra erosões, servindo também como sinalização e paisagístico para região (Brasil, 1973).

A área adjacente a faixa de domínio é Faixa não edificante ou “non aedificandi”, figura 14, consiste em, de acordo com a resolução N°7 do SEI/DNIT, na área ao longo da faixa de domínio na qual não é permitido edificar. Deve ter no mínimo 15 metros de cada lado, podendo esse limite ser reduzido por lei municipal ou distrital até o limite mínimo de 5 metros de cada lado, e tem como objetivo garantir que qualquer desenvolvimento urbano ou rural nas proximidades das rodovias não comprometa a segurança dos usuários da rodovia e a eficiência do tráfego.

Figura 14 - Ilustração da Faixa não edificante



Fonte: Fonte: CCR Via Oeste (202?)

A implementação da faixa não edificante também facilita o trabalho de expansão e manutenção das rodovias. Sem a presença de edificações, é mais simples e menos custoso realizar obras de infraestrutura, como alargamento de pistas ou instalação de novas sinalizações e sistemas de drenagem.

2.5.3 Serviço de Operações Terrestres

O Serviço de Operações Terrestres (SOT) consiste em setor de trabalho da estrutura de frente de serviços que contempla o DNIT. O SOT está subordinados às Coordenações de Engenharia ou às Coordenações de Engenharia Terrestre, têm várias responsabilidades dentro de suas respectivas Superintendências Regionais. Em resumo, suas competências podem ser compreendidas como (DNIT, 2020):

- Planejar e executar o orçamento e a programação para operações de infraestrutura terrestre. Analisar e supervisionar projetos e estudos para melhorar a segurança viária.
- Manter uma base de dados para controle de operações.
- Elaborar documentação técnica para licitação de estudos e projetos de infraestrutura.
- Acompanhar e assessorar a fiscalização de contratos e convênios.
- Gerenciar e controlar programas e serviços de operações, bem como as ações

dos agentes de trânsito.

- Realizar programas educativos e de fiscalização, distribuindo e implantando equipamentos de controle viário e sinalização.
- Implementar e operar o controle de peso nas rodovias e fiscalizar a faixa de domínio.
- Atualizar informações sobre a infraestrutura terrestre e analisar a emissão de AET (Autorização Especial de Trânsito).
- Analisar e supervisionar projetos de acessos, sinalização, ocupação da faixa de domínio e projetos de terceiros que possam interferir em rodovias e ferrovias.

2.5.4 Gestão de Faixa de Domínio

A gestão da faixa de domínio da rodovia federal é realizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O órgão foi instituído pela lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, com a finalidade de reestruturar os sistemas de transportes rodoviário, aquaviário e ferroviário nacional. Esta autarquia federal substituiu o antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), fundado em 1937, durante o Governo de Getúlio Vargas, como parte do também extinto Ministério da Viação e Obras Públicas.

Conforme o art. 82 da Lei nº 10.233, de 05 de junho de 2001, é responsabilidade do DNIT a implementação, manutenção e operação da infraestrutura de transportes terrestres no Brasil, como as rodovias federais e ferrovias, garantindo condições adequadas para o tráfego seguro e eficiente (Brasil, 2001).

A responsabilidade sobre a administração patrimonial das faixas de domínio das rodovias federais pertencentes ao SNV, foi atribuído ao DNIT no decreto nº 8.376, de 15 de dezembro de 2014. Dentre as competências a serem realizadas, estão regularizar e fiscalizar as faixas dentro do prazo máximo de vinte anos, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Ministério dos Transportes.

O art. 50, do CTB, determina que "uso de faixas laterais de domínio e das áreas adjacentes às estradas e rodovias obedecerá às condições de segurança do trânsito estabelecidas pelo órgão ou entidade com circunscrição sobre a via."

A resolução nº7 de 2023 regulamenta o uso da faixa sob circunscrição do DNIT por concedentes. Qualquer ocupação, de qualquer finalidade depende de sua anuência, devendo seguir especificações para preservar a segurança e a integridade da rodovia. A resolução também prevê a fiscalização e aplicação de multas para ocupações irregulares, além de cuidados ambientais na faixa de domínio.

Enquanto o DNIT é responsável pela regulação das atividades relacionadas a infraestrutura rodoviária sob o poder público, a ANTT é a autarquia encarregada por fiscalizar e regular os contratos de concessão de exploração rodoviária pela iniciativa privada (Brasil,2021)

Enquanto o DNIT é responsável pela regulação das atividades relacionadas à infraestrutura rodoviária sob gestão do poder público, a ANTT é a autarquia encarregada de fiscalizar e regular os contratos de concessão para exploração rodoviária pela iniciativa privada (Brasil, 2021).

2.5.5 Ocupação da Faixa de Domínio

De acordo com o DNIT (2020), a ocupação da faixa de domínio pode ser temporária ou permanente, ficando responsável por instalações de serviços públicos ou particulares. A área pode ser utilizada para hospedagem de infraestruturas urbanas.

O Art. 4º da Resolução nº7, prevê que toda e qualquer ocupação da faixa de domínio, de qualquer finalidade que seja, com ônus ou sem, deverá ter seu respectivo Termo de Permissão Especial de Uso (TPEU). Essa exigência abrange instalações como:

- Linhas de transmissão ou distribuição de dados (telefonia, TV a cabo, fibra óptica);
- Redes de transmissão ou distribuição de energia elétrica;
- Polidutos, incluindo adutoras, oleodutos, gasodutos, galerias de esgoto e tubulações diversas;
- Estruturas publicitárias, como painéis luminosos, placas indicativas e painéis eletrônicos;
- Acessos para estabelecimentos comerciais, propriedades particulares ou espaços públicos

Quando a ocupação não segue as diretrizes previstas na Resolução nº 7 ou qualquer tipo descumprimento legal, estas são consideradas irregulares, identificadas durante a fiscalização do DNIT estarão sujeitas à remoção e à aplicação das penalidades.

2.5.6 Fiscalização

A fiscalização dessas áreas públicas é regulamentada pela Resolução Nº 7, de março de 2021. Essa atividade intenta garantir condições de segurança nas rodovias, prevenindo invasões de interesse privado em áreas públicas.

A regulamentação define instâncias de governança com responsabilidades específicas para cada área, estabelece procedimentos e protocolos que garantem qualidade operacional na fiscalização.

De acordo com Albuquerque (2023), a Chefe do Serviço de Operações Terrestre do DNIT/SC atribui ao Agente Público as atividades de ações de fiscalização como vistoriar e inspecionar, notificar e analisar os processos.

2.5.7 Documentação e Reconhecimento

O reconhecimento da faixa de domínio é um procedimento técnico e administrativo que consiste em identificar e delimitar as áreas de terra que pertencem ou estão associadas à implantação e operação de rodovias. Esse processo envolve determinar os limites físicos e legais da faixa de domínio, considerando elementos como projetos executivos de rodovias, portarias de utilidade pública e registros cartoriais (DNIT, 2020).

Albuquerque (2023), complementa que nos casos de trechos rodoviários onde os processos de desapropriação ocorreram corretamente e se há o histórico de processos que documentam as limitações da faixa, o reconhecimento tende a ser uma tarefa mais simples. Por outro lado, quando não se tem esses conhecimentos, em cumprimento de tarefas técnicas, o trabalho se torna complexo e multidisciplinar, envolvendo desafios da esfera topográfica, de geoprocessamento, análise cartorial e decisões de ordens jurídicas.

O programa PROFAIXA, por exemplo, é uma iniciativa que padroniza e atualiza dados sobre faixas de domínio, utilizando tecnologias como geoprocessamento e

sistemas de informações públicas para facilitar o processo e minimizar conflitos sobre o uso do solo, conforme as normativas do DNIT (DNIT, 2020).

A faixa de domínio, segundo a Instrução Normativa Nº 20/DNIT pode ser classificada como:

- Faixa de Domínio Consolidada: faixa de domínio efetivamente ocupada por via federal, fisicamente delimitada pelas cercas que separam a via dos imóveis marginais, ou, na ausência de cercas, delimitada pelas benfeitorias lindeiras, pelos limites da roçada, poda ou limpeza realizada pela autoridade administrativa competente, pelos limites da área fiscalizada pela autoridade administrativa competente, ou por qualquer delimitação física existente entre a área destinada ao uso público da via e a área de uso privado.
- Faixa de Domínio Documentada: faixa de domínio de via federal referente a empreendimento viário já executado, registrada textualmente ou representada graficamente em projeto geométrico, as built, portaria de declaração de utilidade pública, projeto de desapropriação, ou qualquer outro documento que disponha sobre faixa de domínio;
- Faixa de Domínio Existente: representação gráfica da faixa de domínio de rodovia ou ferrovia implantada a partir de regular procedimento desapropriatório ou definida conforme procedimento de "Reconhecimento de Faixa de Domínio Existente"
- Faixa de Domínio Projetada: faixa de domínio de empreendimento viário a ser executado, representada graficamente em projeto geométrico aprovado.

2.6 Control Objectives for Information and Related Technology (COBIT)

A adoção de uma estrutura de governança que integre os conceitos de gestão organizacional e tecnologia da informação é fundamental para que uma instituição, seja ela pública ou privada, para que cumprir seus propósitos. Para isso, o auxílio de ferramentas de gestão pode servir como modelo para elaboração de estratégias.

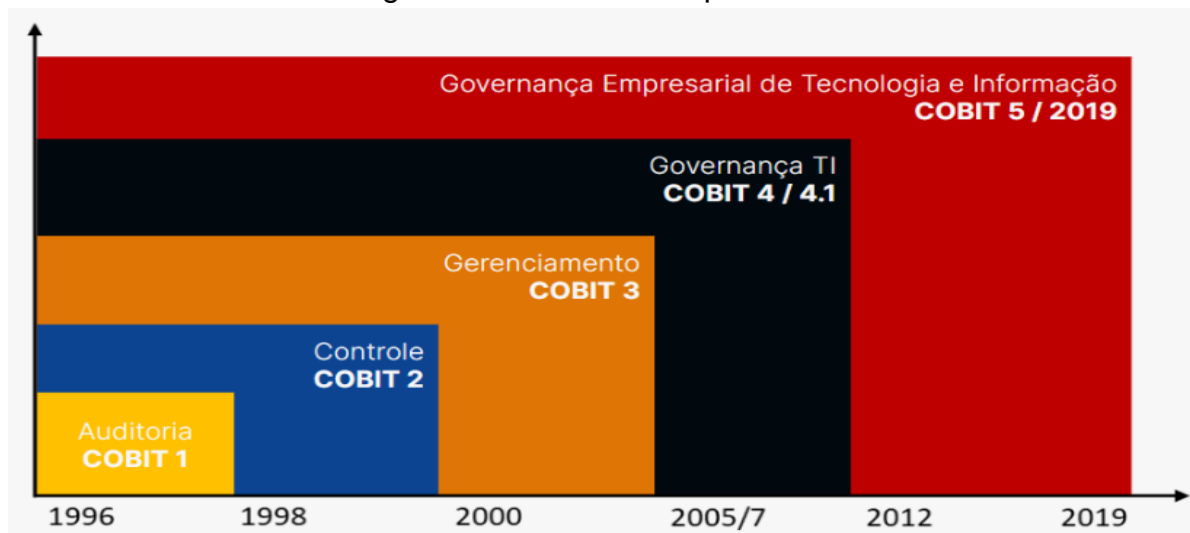
Desenvolvido pela *Information System Audit and Control Association* (ISACA) e o *IT Governance Institute* (ITGI), na década de 1990, o *Control Objectives for Information and related Technology* (COBIT), pode ser definido como uma ferramenta de auxílio para implantação e gestão de processos, a partir de princípios de governança e gerenciamento efetivo de TI (Lobo, 2021).

Colbert e Bowen (1996) apontam que essa ferramenta pode ser considerada o framework que possibilita o alinhamento entre os objetivos do negócio, de modo que esses sejam atendidos, a partir dos objetivos de controles, com o uso do TI.

Guerra e Martins (2024) simplificam: "COBIT é um framework de governança e gestão de TI que fornece um conjunto de melhores práticas para orientar o gerenciamento de TI em todas as áreas de uma organização". Este modelo de governança de TI permite a identificar padrões, previsibilidade riscos, maior visibilidade sobre os controles de informação (Barros, 2014).

O COBIT foi inicialmente criado como um framework voltado para auditoria de TI. Ao longo de mais de 20 anos, evoluiu significativamente. A Figura 15 a seguir apresenta a linha do tempo de seus modelos.

Figura 15 - Linha do tempo COBIT



Fonte: Alura (2024).

Sua primeira versão, era focado na auditoria de TI. Na versão 2, tornou-se um framework de controle de TI. Já versão 3, passou a ser um framework de gerenciamento de TI. As versões 4 e 4.1, foi consolidado como um framework de governança de TI (Magalhães et al. 2023).

A quinta versão o, COBIT 5, de 2012, ampliou seu escopo para incluir a governança corporativa de TI, alinhando-se às necessidades estratégicas das organizações, com foco na criação de valor, gestão de riscos e desempenho organizacional. Em 2019, a versão mais atualizada, o COBIT 2019, sua estrutura foram modernizados para ser mais flexível e adaptável às mudanças e desafios trazidos pela transformação digital, oferecendo uma abordagem mais dinâmica para

a governança de TI, mantendo-se alinhada às práticas contemporâneas e às necessidades das instituições atuais (Magalhães et al. 2023).

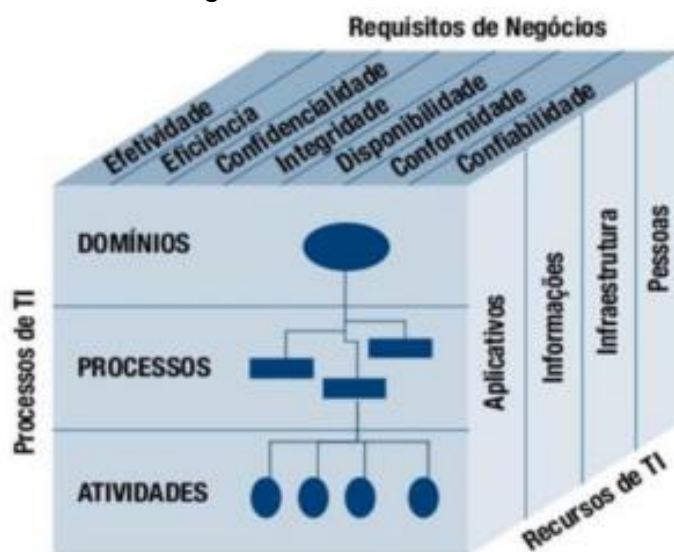
Oliver (2023), sintetiza cada versão da seguinte maneira:

- COBIT 1.0 (1996): Foi criado com o objetivo de estabelecer um conjunto de controles para a gestão de TI, organizados em quatro categorias: planejamento e organização, aquisição e implementação, entrega e suporte, e monitoramento. Além disso, incluiu orientações para a avaliação do desempenho de TI e a medição do sucesso dos controles de TI.
- COBIT 2.0 (1998): A versão COBIT 2.0 adotou uma abordagem baseada em processos, agrupando 34 processos de TI nas mesmas quatro categorias de COBIT 1.0. Além disso, introduziu o conceito de "objetivos de negócios" para garantir que a governança de TI estivesse alinhada com as necessidades do negócio.
- COBIT 3.0 (2000): Continuou utilizando a abordagem baseada em processos das edições anteriores, mas com mudanças significativas, como a adição de processos de gerenciamento de segurança da informação e a incorporação de práticas de TI. Também introduziu o conceito de "modelos de maturidade" para ajudar as organizações a avaliarem a eficácia de seus processos.
- COBIT 4.0 (2005): Introduziu a estrutura em domínios, que agrupam logicamente os processos de TI em diferentes áreas de governança e gestão, como governança, gestão de serviços, gestão de segurança e gestão de riscos. Também introduziu o conceito de "mapas de auditoria", que são ferramentas que auxiliam os auditores a avaliarem os controles de TI de uma organização.
- COBIT 4.1 (2007): Manteve a estrutura em domínios da versão COBIT 4.0. A edição de 2007 forneceu orientações mais detalhadas sobre como implementar as práticas de governança de TI em uma organização e como avaliar a maturidade dos processos e a efetividade dos controles de TI.
- COBIT 5.0 (2012): O COBIT 5.0 foi projetado para ser uma estrutura mais abrangente, integrada e orientada para o negócio. Ele integrou a governança de TI à governança corporativa, oferecendo recomendações sobre como gerenciar a complexidade dos sistemas de TI. Esta versão também introduziu o modelo de maturidade de processos (Process Capability Model - PAM), ampliando a abordagem de governança de TI.

- COBIT 2019 (2019): O COBIT 2019 oferece uma abordagem ainda mais integrada, abrangente e atualizada para a governança e gestão de TI, com foco na criação de valor, gestão de riscos e conformidade. Este modelo reforça uma orientação mais forte para a transformação digital e a inovação, incluindo novos conceitos, como a governança de dados, inteligência artificial e automação.

O cubo COBIT (Figura 16) é utilizado para explicar a relação entre os conceitos de processos de TI, recursos de TI e requisitos de negócio (ou critérios da informação) dentro desse framework.

Figura 16 - Cubo COBIT



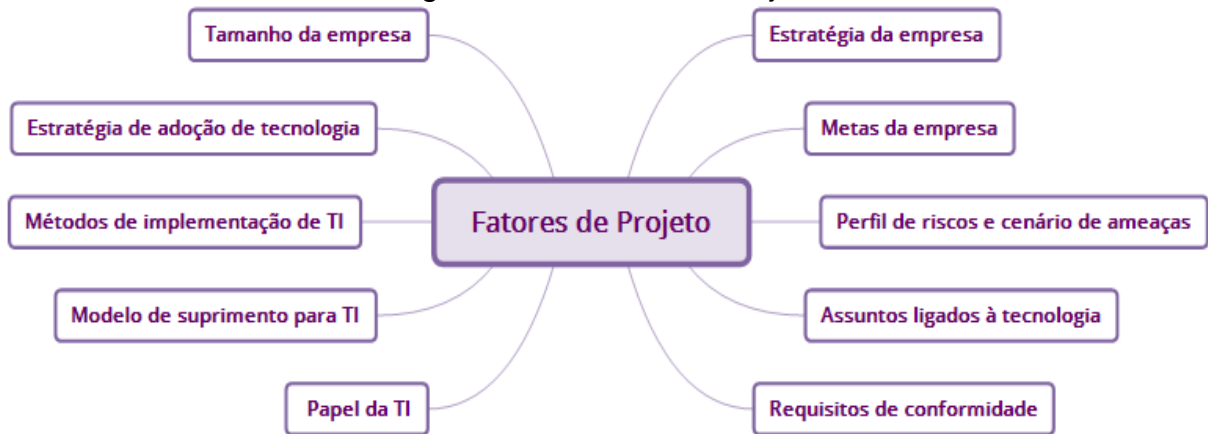
Fonte: ITGI, 2007

O cubo COBIT possui uma estrutura tridimensional de múltiplas camadas. Em sua face, a de Processos de TI, localizam-se os domínios, processos e atividades. Sua lateral é constituída pelas camadas de aplicativos, informações, infraestrutura e pessoas, que em formam, então a dimensão dos Recursos de TI. Por fim, a última dimensão, a face superior, é face de Requisitos de Negócios formada pelas camadas de efetividade, eficiência, confidencia, integridade, disponibilidade, conformidade e confiabilidade.

2.7 Os fatores de projeto

De acordo com o COBIT 2019, os fatores de projeto ou desenho são os parâmetros que ajudam a compor o sistema, ou seja, guiam a abordagem do sistema de governamental requerida por uma organização ou empresa. A versão mais recente do modelo conceitual apresenta os seguintes fatores (Figura 17):

Figura 17 - Fatores de Projeto



Fonte: Autora (2024) adaptado de COBIT (2019).

Estes fatores podem ser descritos como:

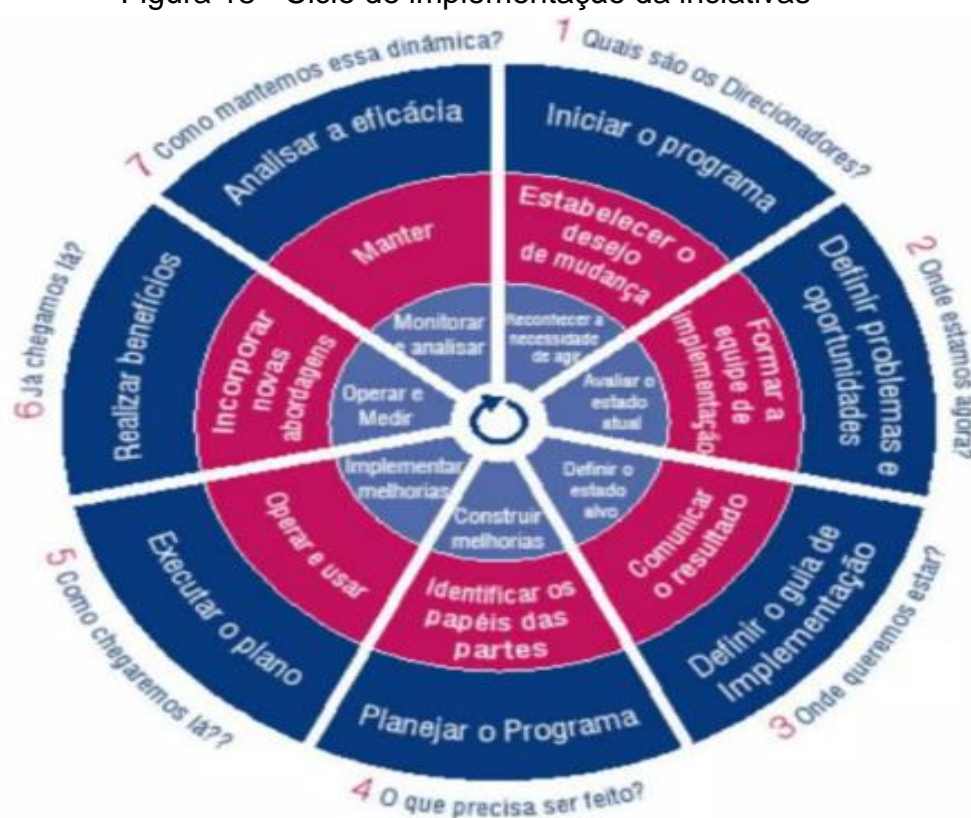
- Estratégia da empresa: definida a estratégia da organização pública norteado por documento de plano de desenvolvimento.
- Metas da empresa: São metas da organização a serem atingidas, baseadas por um documento de gestão interna.
- Perfil de riscos e cenário de ameaças: Aqui são considerados fatores internos e externos que podem ameaças à concretização dos objetivos e metas institucionais.
- Assuntos ligados à tecnologia: São as bases tecnológicas relacionadas a infraestrutura da empresa, como equipamentos, redes, equipes e software.
- Requisitos de conformidade: São considerados documentos legislativos como objetivo de estabelecer transparência e controle dos recursos da organização.
- Papel da TI: Se relaciona as atribuições e características da organização onde será implementado o modelo de governança.
- Modelo de suprimento para TI: Pode ser a maneira que se busca por auto sustentabilidade para o modelo.
- Métodos de implementação de TI: É a maneira de implantação do modelo de governança.
- Estratégia de adoção de tecnologia: Esse é um fator intrínseco ao próprio desenvolvimento do modelo de governança, já que, ao ser importado da área de TI, entende-se que a estratégia de adoção tecnológica constitui o próprio desenvolvimento do modelo, podendo ainda ser combinada com o fator anteriormente mencionado.

- Tamanho da empresa: O tamanho que compreende a empresa.

2.8 Implementação de iniciativas

O COBIT 5 propõe a Implementação das iniciativas para uma das faces do seu modelo tridimensional. Esse processo é composto pelas sete fases apresentadas no RoadMap (Figura 18). Cada fase descreve atividades consideradas essenciais para o progresso do emprego das iniciativas na empresa. O procedimento parte de uma etapa exploratória e desenvolve até a implantação por completa. Na etapa final, pode ser realizados ajustes e revisões para uma maior eficiência.

Figura 18 - Ciclo de implementação da iniciativas



Fonte: ISACA (2012) traduzido por Marques (2015)

As fase propostas por ISACA (2012) são:

- Fase 1 - Reconhecimento e Concordância

Inicia-se com o reconhecimento da necessidade de governança de TI e a concordância entre as partes interessadas sobre sua importância.

- Fase 2: Definição do Escopo

Nesta etapa, o foco é definir claramente o escopo da iniciativa, seja de implementação ou de melhoria, delimitando os objetivos e abrangência.

- Fase 3: Estabelecimento de Metas

Define-se uma meta de melhoria específica, seguida por uma análise mais detalhada das necessidades e condições para alcançá-la.

- Fase 4: Planejamento de Soluções

São planejadas soluções práticas por meio da definição de projetos, sustentados por casos de negócios bem fundamentados e justificáveis.

- Fase 5: Implementação

As soluções propostas são integradas às práticas do dia a dia, garantindo sua aplicação efetiva na organização.

- Fase 6: Operação Sustentável e Monitoramento

A ênfase recai sobre a operação contínua e sustentável dos facilitadores novos ou aprimorados, além do monitoramento dos benefícios esperados.

- Fase 7: Revisão do Sucesso

Finaliza-se com a revisão global do sucesso da iniciativa, avaliando os resultados obtidos e as lições aprendidas.

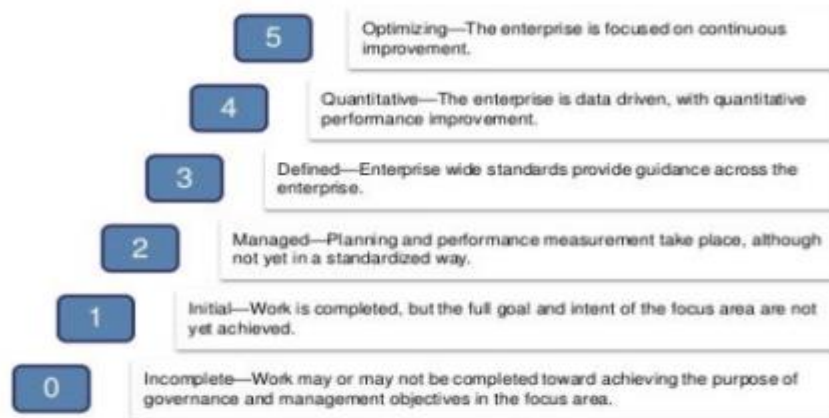
Essa organização garante clareza no entendimento das etapas, demonstrando como cada fase contribui para o sucesso da governança de TI.

2.9 Avaliação de maturidade

A avaliação de maturidade ou a performance da gestão é utilizada no modelo proposto para classificar o desempenho da organização da execução e segue as diretrizes do COBIT 2019 (Figura 19).

Figura 19 - Avaliação de maturidade do COBIT 2019 COBIT 2019 – Performance management

Maturity levels for focus areas:



Fonte: COBIT (2019)

Os níveis de classificação de maturidade do modelo proposta vão de zero a cinco. Zero é atribuído quando há ausência de qualquer mecanismo de governança, e cinco, quando alcançado todos os objetivos. A seguir são apresentados os níveis de maturidade do modelo proposto no Quadro 3.

Quadro 3 - Níveis de maturidade do modelo proposto

Níveis	Características da Situação
Nível 0: Incompleto ou não iniciado	Não há governança. Os elementos da integração foram iniciados ou não estão completos.
Nível 1: Inicial	o trabalho está completo, mas a meta principal está sendo desenvolvida. O emprego dos elementos da integração GIS x BIM está concluído, mas não operante.
Nível 2: gerenciado	Os processos ocorrem, mas não de forma padronizada.
Nível 3: definido	É implantação da integração é concretizo e existe uma organização nas práticas
Nível 4 quantitativo	É possível retirar dados e indicadores numéricos para se basear e apresentam melhorias quantitativas
Nível 5: otimização	Atingiu o nível de busca por otimização, pois o processo está bem empregado.

Fonte: Autora (2024), adaptado de COBIT (2019).

O Nível 0, marca a ausência de governança. No Nível 1, a os processos de governança é iniciado, mas ainda não está operante, refletindo uma situação preliminar. No Nível 2, os processos já ocorrem, embora de maneira não padronizada. O Nível 3 caracteriza a formalização da integração com práticas organizadas. No Nível 4, há um avanço para a coleta e uso de dados numéricos, permitindo medições e melhorias quantitativas. Finalmente, no Nível 5, o processo atinge uma fase de busca contínua por otimização e aplicação eficiente. Os níveis mostram, assim, uma progressão estruturada no desenvolvimento da maturidade, desde a fase inicial até a busca por aprimoramento constante.

2.10 Fechamento do capítulo

Neste capítulo, foram abordados os conceitos das tecnologias SIG e BIM, bem como as capacidades de sua integração. Em seguida, foi apresentada as características das faixas de domínio federais e seus componentes de gestão, e os resultados da revisão sistemática integrativa sobre a integração GIS BIM aplicada a Infraestruturas rodoviárias. Por fim, foi introduzido os conceitos a respeito da ferramenta de governança de TI, o COBIT.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA

3.1 Introdução ao capítulo

Com o objetivo de atualizar e ampliar a pesquisa sobre integração GIS e BIM no cenário da infraestrutura rodoviária, realizou-se uma revisão sistemática integrativa da literatura, buscando encontrar o maior número possível de estudos relacionados e apresentar os avanços mais recentes relacionados ao tema. Este item apresenta os resultados obtidos a partir dessa revisão.

3.1.1 Tipos de Revisão da Literatura e Busca Sistemática

A revisão sistemática é definida por De-La-Torre-Ugarte et al. (2011) como uma metodologia rigorosa, destinada a identificar estudos sobre um tema específico. Este método, diferente do tipo tradicional ou narrativa, intenta responder uma pergunta específica a partir processos sistemáticos de busca.

Além disso, a revisão sistemática visa avaliar a qualidade, a aplicabilidade e a validade dos estudos que serão analisados, de modo a minimizar o viés e erros aleatórios, utilizando critérios explícitos e reproduzíveis para a seleção de estudos, além de empregar métodos rigorosos para analisar e interpretar os resultados (De-La-Torre-Ugarte et al., 2011).

Este modo pode ser considerado confiável e robusto para a revisão da literatura. No entanto, Cook et al., (1997) alerta para algumas limitações, como a de ser um processo longo e trabalhoso, exigindo mais de um pesquisador

Conforme Silva e Menezes (2005), a pesquisa tem como ponto de partida a formulação de um problema, expresso por meio de uma pergunta de pesquisa. Desse modo, para revisão sistemática a pergunta elaborada foi **“Qual o atual Estado da Arte da Integração GIS e BIM aplica em Infraestrutura de transporte rodoviária?”**

Ferenhof e Fernandes (2016) apresenta que há outras classificações para os tipos de revisão além da sistemática, como a narrativa e a integrativa. A revisão narrativa, ou tradicional, uma temática mais aberta, sem seguir um protocolo rígido de execução. A seleção dos artigos pode ser definida de modo subjetivo, pode limitar a compreensão do conhecimento sobre o tema pesquisado, dificultando a identificação de lacunas no conhecimento e áreas que precisam de mais investigação (Roman; Friedlander, 1998)

Por outro lado, a revisão integrativa, possui uma abordagem abrangente e flexível, capaz de integrar e sintetizar diferentes tipos de estudos e evidências sobre um determinada questão. Ela inclui em seu escopo tanto a análise de estudos de natureza teórica ou experimental, pesquisas qualitativas ou quantitativa. Sua metodologia é estruturada, o que permite a participação apenas de um pesquisador. Seu protocolo possui uma formulação problemática, seleção de estudos, avaliação e análise crítica, e pôr fim a síntese dos resultados e sua apresentação em um relatório final (Roman; Friedlander, 1998).

3.1.2 Estrutura do Método *Systematic Search Flow* (SSF)

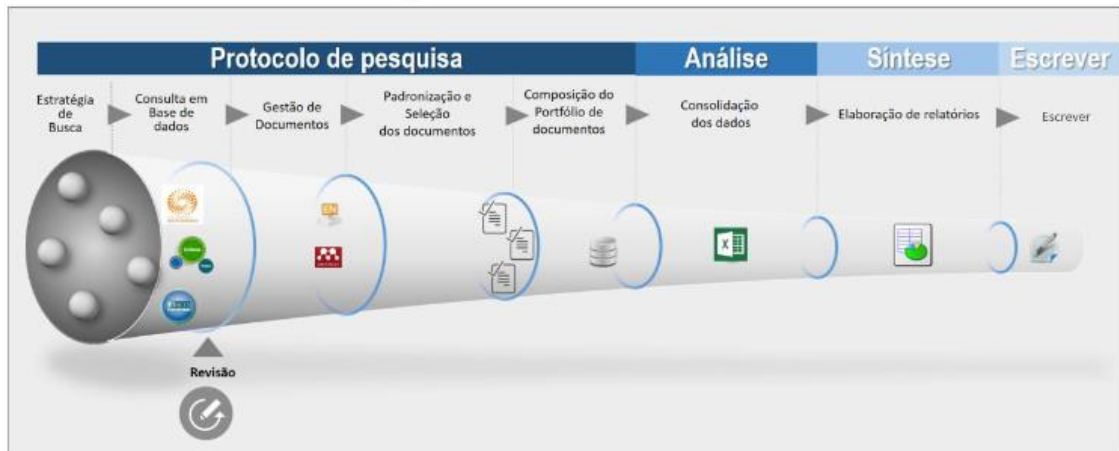
A pesquisa iniciada em julho de 2024 utiliza a metodologia da revisão sistemática da literatura que, de acordo com Cook et al., em 2007, consiste em um rigoroso processo claro e ordenado de investigação científica a partir da seleção, coleta dados, análise e a redação dos resultados e limitando qualquer tendencia da autoria.

De modo que o trabalho siga as condições de uma pesquisa sistemática foi escolhido o Método *Systematic Search Flow* (SSF) de Ferrenho e Fernandes (2016), pois, intenta a sistematização do protocolo de busca de dados científicos, de maneira a, que estes possam ser replicado por outro pesquisador.

Com o intuito de tornar os passos da pesquisa científica mais ágil e prático, Ferenhof e Fernandes (2016) propuseram o Método *Systematic Search*. Esta metodologia se baseia nos Seis Princípios de Jason, que formularam uma estratégia de pesquisa que consulta base de dados, organiza e padroniza um conjunto de artigos selecionados para compor um portfólio, consolida os dados encontrados e, por fim, sintetiza e redige os seus resultados em um relatório (Matheson; Lacey, 2011).

Dessa maneira, o Método SSF se constituiu em 8 atividades divididas em 4 etapas, como apresentada na Figura 20, Etapas do Método SSF.

Figura 20 - Estrutura do Método SSF
SSF - SystemSearchFlow



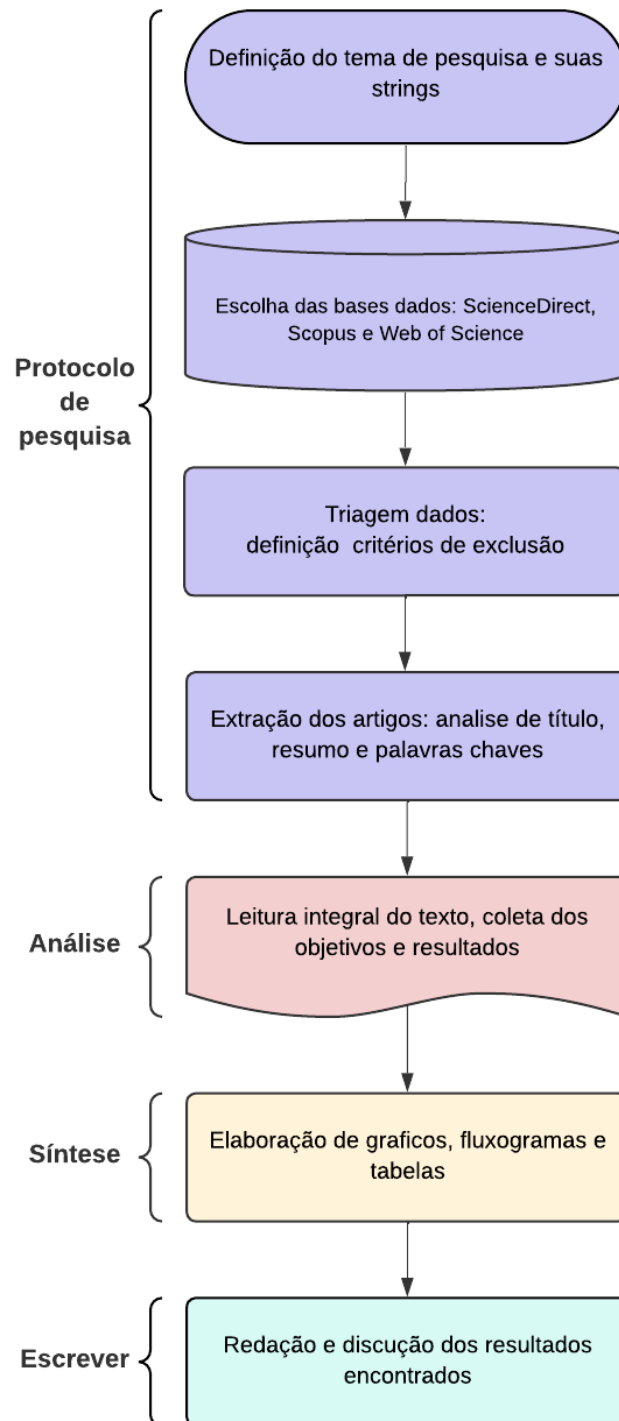
Fonte: Ferenhof; Fernandes (2016)

As etapas do método se dividem em:

- 1) Protocolo de Pesquisa;
- 2) Análise;
- 3) Síntese;
- 4) Escrever ou redação e discussão dos resultados.

O fluxograma das etapas do método SSF é apresentado a seguir na Figura 21.

Figura 21 - Fluxograma das Etapas da Revisão



Fonte: Autora adaptado de Ferenhof e Fernandes (2016)

3.1.3 Protocolo de Pesquisa

Quando se pretende iniciar uma busca, é fundamental que se defina um protocolo da pesquisa. Isso envolve identificar as questões de pesquisa, os objetivos e os parâmetros específicos que direcionam a busca. Para que isso aconteça, a primeira fase chamada protocolo de pesquisa se divide em cinco atividades.

Estas atividades são interdependentes e seguem os princípios de Jesson, Matheson e Lacey (2011). Sua divisão acontece da seguinte forma: definição da estratégia de busca, consulta de base de dados, gestão de documentos, padronização e seleção dos documentos e composição do portfólio de documentos.

A primeira atividade, definição da estratégia, desenvolve-se uma tática de busca em fontes. É um passo importante no processo de realização de uma revisão sistemática pois, uma investigação eficiente possibilita obter artigos mais relevantes de maneira mais veloz (Akobeng, 2005). No Quadro 4, foram apontados os critérios definidos na primeira atividade, de acordo com a definição de Nakamura, Mutti e Reginato (2022).

Quadro 4- Critérios definidos na estratégia de busca

Estratégia de busca	Critério definido
Base de dados: utilização de bases de dados relevantes e internacionais	"Scielo", "Science Direct", "Scopus" e "Web of Science"
Palavras-chave da busca: utilização de quatro palavras-chave no escopo da temática	"Building Information Modeling" "BIM" "Geographic Information Systems" "GIS" "integration" "highway" "road" "roadway" "infrastructure"
Filtros a serem aplicados: idioma, área temática, tipo de publicação, intervalo temporal de busca	Português, inglês e espanhol; Engenharia; Artigos científicos publicados em periódicos, 2018 a 2024
Estratégias de busca: pelas palavras-chave definidas nos artigos buscados nas bases de dados	Título, Palavras-chave e Resumo

Fonte: Autora Adaptado de Nakamura, Mutti e Reginato (2022)

A atividade seguinte, a definição da estratégia de busca, consiste na consulta em base de dados. Desta maneira, buscas em bases de dados foram realizadas através de combinações de termos e expressões estabelecidas na primeira atividade. Além disso, é necessário o conhecimento dos operadores lógicos e relacionais, pois, sua utilização influencia diretamente no retorno da busca, tornando-a mais ou menos preciso. Os principais operadores lógicos são:

- 1) AND (“E” lógico): apresentam dados com documentos que contenham ambos os termos pesquisados. Ex.: (*infrastructure*) AND (*road*).
- 2) OR (“OU” lógico): retorna documentos que apresentam um dos dois termos. Ex.: (*infrastructure*) OR (*road*).
- 3) NOT (Negação lógica): apresenta como resultado o contrário da primeira expressão, ou seja, retornará documentos que contemplem o termo *management* e não possuam *infrastructure*. Ex.: (*infrastructure*) NOT (*road*).

A partir da determinação das palavras chaves para a pesquisas, realizou-se três buscas iniciais nas base de dados “*Scielo*”, “*Scopus*”, “*Web of Science*” e “*Science Direct*”. Estas bases são consideradas relevantes para realizar a investigação, pois permitem indexar artigos publicados, autores e citações. Na primeira tentativa, foram utilizados os termos “*BIM*” e “*GIS*”, com operadores lógicos do tipo “E”, e filtros para encontrar artigos científicos, na área da engenharia, no período de 2018 a 2024, em português e inglês. Como resultado, foram encontrados 163 artigos na base da “*Scopus*”, 116 na “*Web of Science*”, 127 *Science Direct*” e zero na “*Scielo*”. Por retornar um resultado nulo, a plataforma “*Scielo*” foi descartada para o andamento da pesquisa. Essa tentativa gerou um conjunto de 406 documentos, um volume impraticável para a execução deste projeto.

Em seguida, foi realizada uma segunda tentativa de busca com a alteração de algumas palavras-chave para especificar o objeto de pesquisa, como “*BIM*”, “*GIS*”, “*Building Information Modeling*”, “*Geographic Information System*”, “*integration of BIM and GIS*”, em conjunto com os demais termos “*highway*” “*road*” “*roadway*” “*infrastructure*”. Nesta tentativa, foram obtidos 90 documentos, sendo 18 artigos na base da “*Scopus*”, 15 na “*Web of Science*” e 57 na base do “*Science Direct*”.

A atividade 3, gestão de documentos, e a 4 padronização e seleção dos documentos da fase de protocolo de pesquisa 1 foram realizadas concomitantemente

através do critério de seleção estabelecido pela leitura superficial das seções resumo, introdução e conclusão. Com a finalidade de se obter o conhecimento das principais temáticas. Além disso, nesta etapa, foram descartados todos os artigos que não estavam relacionados à integração de BIM e GIS em de infraestruturas rodoviária e apareciam em duplicidade.

Após a última filtragem, 33 artigos foram selecionados para contemplar o portfólio de documentos. Na etapa de leitura integral dos textos chegou-se ao número de 17 artigos para composição do estudo da arte.

3.1.4 Análise dos documentos e síntese

A segunda etapa, a fase de Análise, envolve a leitura de todos os artigos selecionados nas atividades anteriores na íntegra. É nesta etapa que se realiza a interpretação dos dados, com a possibilidade de levantar as lacunas de conhecimento existentes e sugerir pautas para futuras pesquisas sobre o tema de seu interesse. (GANONG, 1987; MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008; BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011).

Após realizar uma busca organizada e criteriosa (sistemática), os dados ou informações coletadas foram resumidos, organizados e sintetizados, seguindo os critério de inclusão. Nesta etapa, os artigos foram analisados criticamente, com a extração de seus objetivos, resultados e práticas encontradas, que foram compilados no Excel.

3.1.5 Painel de indicadores para análise de artigos

Antes da análise de um documento como um artigo científico é importante conhecer informações a respeito dos autores, títulos, ano da publicação, bem como dados bibliométricos. Estes dados são fornecidos também pela base de dados, e podem ser coletados para análise de indicadores.

Após coleta dos artigos de interesse para a pesquisa, estes foram analisados quanto a sua relevância para o estado da arte. Verificou-se a princípio se o título, resumo e palavras chaves continham os termos escolhidos para as buscas nos acervos online ou termos que se relacionam com o tema do trabalho.

Para auxiliar a autora quanto uma possível categorização das informações cuja cada artigo poderia contribuir para a elaboração deste trabalho, a partir de uma

visão abrangente, foi criada uma coluna para se atribuir o título “assunto”. Esta coluna foi preenchida com o tema principal abordado pelos artigos. Além disso, também foi adicionada a coluna metodologia.

3.1.6 Resultados e discussão

Este tópico apresenta os resultados encontrados através da revisão sistemática integrativa da literatura. Por meio da metodologia apresentada no item xx, foram selecionados 17 artigos para compor o portfólio e as referências a respeito da integração das tecnologias GIS e BIM utilizadas em infraestruturas rodoviárias. Os estudos selecionados são apresentados no quadro 5 a seguir:

Quadro 5 - Artigos selecionados através da Revisão Sistemática

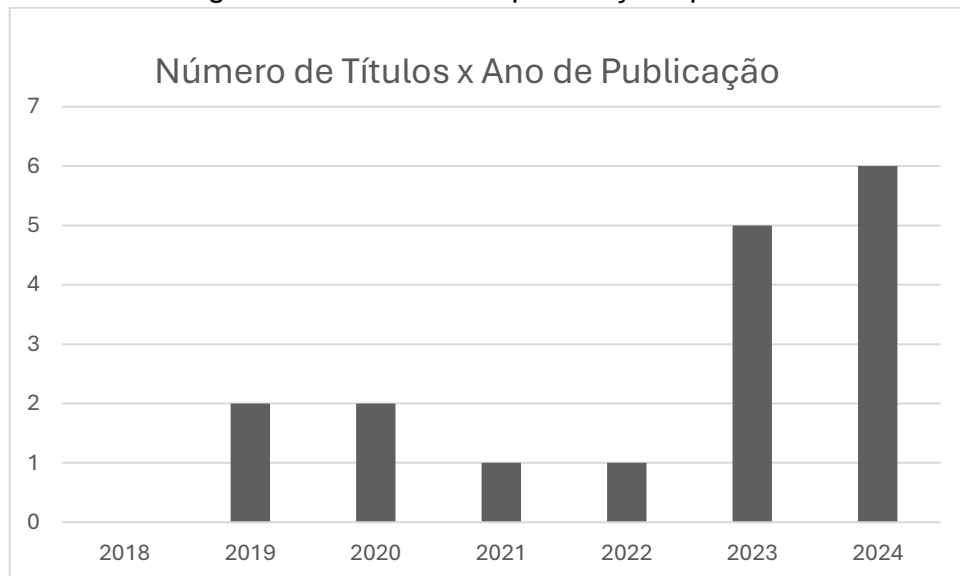
autores	Ano de publicação	Título
Barazzetti, L; Previtali, M; Scaioni, M	2020	Roads Detection And Parametrization In Integrated BIM-GIS Using Lidar
Cepa, JJ; Pavón, RM; Alberti, MG; Caramés, P	2023	Towards Bim-Gis Integration For Road Intelligent Management System
Davletshina, Diana; Reja, Varun Kumar; Brilakis, Ioannis	2024	Automating Construction Of Road Digital Twin Geometry Using Context And Location Aware Segmentation
Gao, Yan; Li, Haijiang; Xiong, Guanyu; Song, Honghong	2023	Aiot-Informed Digital Twin Communication For Bridge Maintenance
Herlé, Stefan; Blankenbach, Jörg	2024	Hypermedia-Driven Restful API For Digital Twins Of The Built Environment
Justo, Andrés; Lamas, Daniel; Sánchez-Rodríguez, Ana; Soilán, Mario; Riveiro, Belén	2023	Generating IFC-Compliant Models And Structural Graphs Of Truss Bridges From Dense Point Clouds
Lv, HB; Wu, GQ; Song, JP; Mo, CH; Yao, GW; He, XB	2024	Data Management Framework For Highways: An Unreal Engine-Based Digital Sandbox Platform
Pavard, A; Dony, A; Bordin, P	2023	Road Modelling For Infrastructure Management - The Efficient Use Of Geographic Information Systems
Petti, L; Lupo, C; De Gaetano, CM	2023	A Methodological Framework For Bridge Surveillance
Shamraeva, V.; Savinov, E.	2021	Infra-Bim For Business Processes' Management In Road Construction And Operation

Soilán, M; Justo, A; Sánchez-Rodríguez, A; Riveiro, B	2020	3D Point Cloud To BIM: Semi-Automated Framework To Define IFC Alignment Entities From MLS-Acquired Lidar Data Of Highway Roads
Stepien, Marcel; Jodehl, Annika; Vonthron, André; König, Markus; Thewes, Markus	2022	An Approach For Cross-Data Querying And Spatial Reasoning Of Tunnel Alignments
Whitmore, David; Krystallis, Ilias; Papadonikolaki, Eleni; Ford, Jordan; Cleaver, Matthew; Alexander, David	2024	Digital twins in the asset life cycle: are we there yet?
Zhang, P; Lv, CR; Li, QY; Cong, BR; Liu, J	2024	Research On Intelligent Platform Construction And Pavement Management Of Expressway Operation And Maintenance Based On BIM+GIS Technology
Zhao, LL; Liu, ZS; Mbachu, J	2019	Highway Alignment Optimization: An Integrated BIM and GIS Approach
Zhou, D; Pei, BD; Li, XQ; Jiang, D; Wen, L	2024	Innovative BIM Technology Application In The Construction Management Of Highway
Znobishchev, S.; Shamraeva, V.	2019	Practical Use Of Bim Modeling For Road Infrastructure Facilities

Fonte: Autora (2024).

O conjunto de estudos foram publicados no períodos dos últimos 6 anos e estão distribuídos conforme o gráfico da Figura 22.

Figura 22 - Número de publicações por ano



Fonte: Autora (2024)

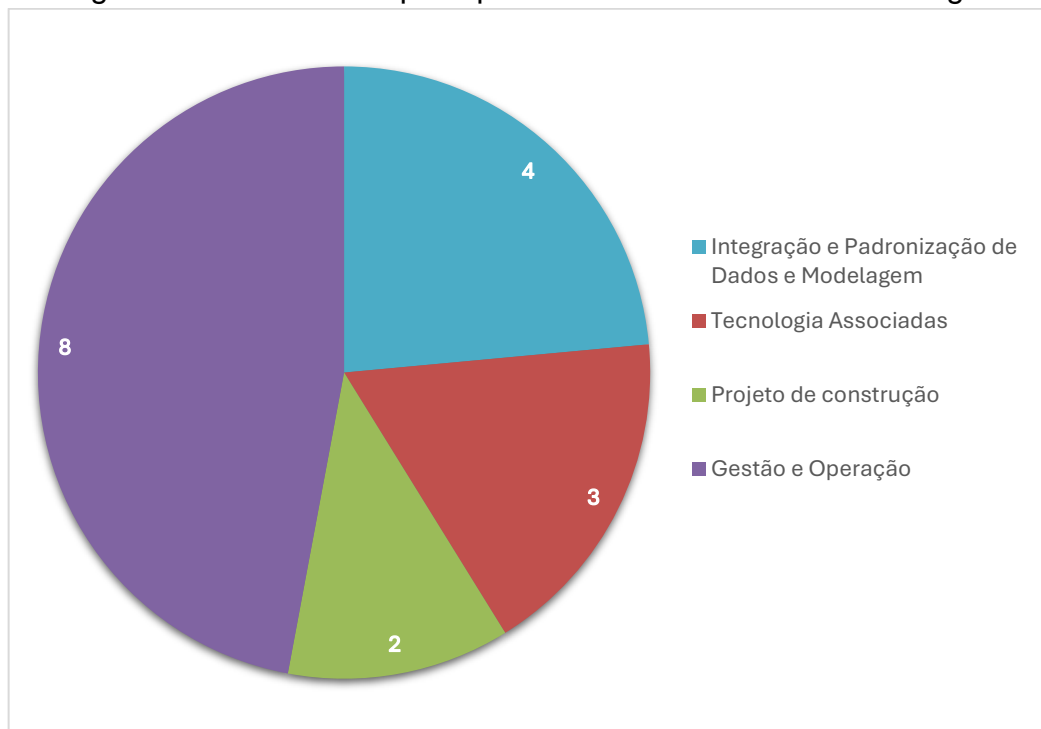
Do conjunto de artigos selecionados, o maior número de publicação encontra-se nos anos de 2023 e 2024, com o 5 e 6 títulos, respectivamente. Os anos anteriores,

apresentaram um volume menor, o ano de 2018 não apresenta trabalhos encontrados. Os demais anos, 2019 e 2020, seguem ambos com 2 artigos, enquanto o 2021 e 2022 apenas 1.

3.1.7 Assuntos e metodologias abordadas

Através da leitura dos estudos selecionados na revisão sistemática integrativa, foi possível identificar os assuntos abordados e suas metodologias, descritos no quadro da Figura 23.

Figura 23 - Gráfico dos principais assuntos abordados nos artigos



Fonte: Autora (2024)

Com intuito de organizar os temas discutidos, a respeito da integração e sua aplicação no modo rodoviário, foi criada a categorização “Assunto” que se refere ao foco principal dos artigos conforme a análise era realizada e surgiam padrões categorizáveis. Os assuntos se dividem em:

- **Gestão e Operação:** Aborda como a integração GIS e BIM pode melhorar processos contínuos de gerenciamento e operação da infraestrutura rodoviária, como por exemplo, otimizar recursos e custos operacionais, garantir a durabilidade e segurança das rodovias.

- **Integração, Padronização de Dados e Modelagem:** Envolve o desenvolvimento de metodologias para integrar dados provenientes de BIM e GIS, além de padronizar formatos, linguagens e práticas para permitir interoperabilidade entre plataformas. Alguns exemplo são o uso de ontologias e padrões como IFC (Industry Foundation Classes) para BIM. Quanto a modelagem refere-se desenvolvimento de modelos digitais e simulações para prever comportamentos, planejar intervenções e analisar diferentes cenários para rodovias.
- **Tecnologias Associadas:** Refere-se às tecnologias complementares que viabilizam ou potencializam a integração GIS-BIM, como sensores LiDAR, drones, gêmeos digitais e IoT
- **Projetos de Construção:** Explora como a integração GIS-BIM é aplicada desde o planejamento até a execução de projetos de construção rodoviária, incluindo design, cronogramas e logística.

A seguir, o Quadro 6 apresenta informações como autores, ano de publicação, título, metodologia e assunto dos artigos utilizados na revisão.

Quadro 6: Resumo dos artigos selecionados

Autor	Ano de publicação	Título	Metodologia	Assunto
Barazzetti, et al.	2020	Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR	Detecção e classificação automática de estradas a partir de dados lidar, gerando camadas GIS que são transformadas em objetos BIM paramétricos para gestão inteligente de infraestrutura rodoviária	Gestão, Operação e Manutenção
Cepa et al.	2023	Towards BIM-GIS Integration For Road Intelligent Management System	Cria um modelo híbrido BIM-GIS semi-automatizado para a gestão inteligente de infraestrutura rodoviária, utilizando dados abertos e uma plataforma de gestão inteligente para visualização e integração de dados em tempo real.	Gestão, Operação e Manutenção
Davletshina et al.	2024	Automating construction of road digital twin geometry using context and location aware segmentation	Utiliza segmentação automatizada utilizando redes neurais para classificar nuvem de pontos. Reconstrução 3D a partir de algoritmos como Gisson Surface Reconstruction	Tecnologia Associadas
Gao et al.	2023	AIoT-informed digital twin communication for bridge maintenance	integra dispositivos AIoT, LPWAN, protocolos MQTT, servidores em nuvem e uma plataforma web com GIS e BIM, utilizando uma rede de Petri para modelar o fluxo de dados e avaliar a resiliência estrutural com tokens e probabilidade condicional.	Integração e Padronização de Dados e Modelagem
Herlé; Blankenbach	2024	Hypermedia-driven RESTful API for digital twins of the built environment	Integração BIM, GIS e IOT pela interface de programação API4BE	Tecnologia Associadas
Justo et al.	2023	Generating IFC-compliant models and structural graphs of truss bridges from dense point clouds	Segmentação inicial da nuvem de pontos, seguida por etapas de ajuste para criar um modelo e gráfico estrutural de treliças	Integração e Padronização de Dados e Modelagem

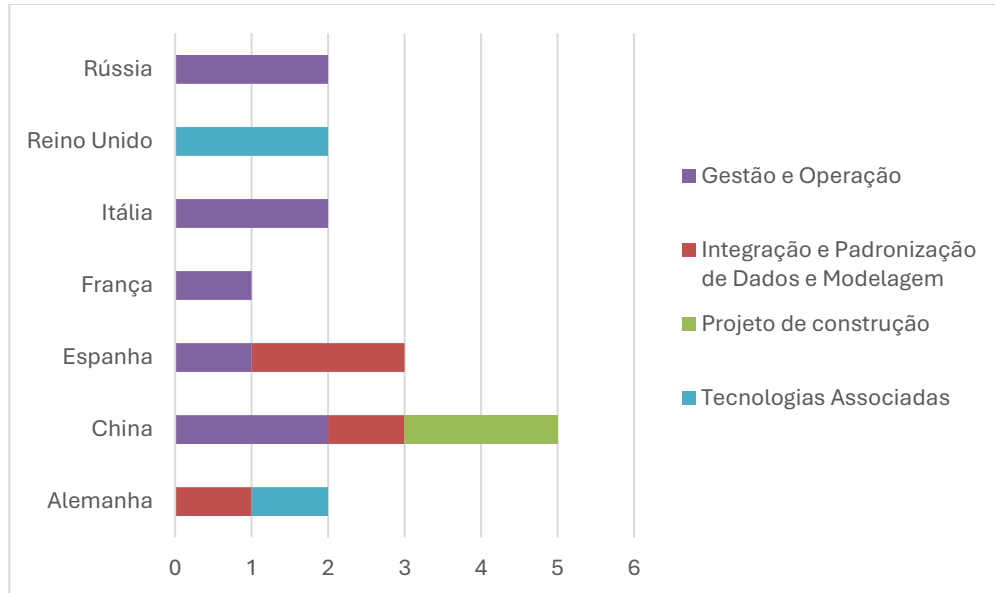
Lv et al.	2024	Data Management Framework for Highways: An Unreal Engine-Based Digital Sandbox Platform	Desenvolvimento de modelo GIS BIM a partir de software Bentley integrando dados com diferentes formatos e coordenadas com o apoio da tecnologia o AHT, para formar uma sandbox digital	Gestão, Operação e Manutenção
Pavard et al.	2023	Road Modelling For Infrastructure Management - The Efficient Use Of Geographic Information Systems	Abordagem iterativa e colaborativa de modelagem, estruturada em duas fases principais, com foco na integração de diferentes perspectivas de stakeholders através de estudos de caso internacionais	Gestão, Operação e Manutenção
Petti et al.	2023	A Methodological Framework for Bridge Surveillance	Desenvolvimento de um modelo operacional vigilância de pontes da rodovia A3 na Itália, a partir das diretrizes LG20 e do CUGRI	Gestão, Operação e Manutenção
Shamraeva; Savinov	2021	Infra-bim for business processes management in road Construction and operation	Análise o GIS da empresa Avtodor em conjunto de um modelo InfraBIM	Gestão, Operação e Manutenção
Soilán et al.	2020	3D Point Cloud to BIM: Semi-Automated Framework to Define IFC Alignment Entities from MLS-Acquired LiDAR Data of Highway Roads	Desenvolvimento Modelo que integra informações de georreferenciamento da rodovia a um IFC	Integração e Padronização de Dados e Modelagem

Stepien et al.	2022	An approach for cross-data querying and spatial reasoning of tunnel alignments	Utiliza tecnologias da Web Semântica com estruturas de dados baseadas em ontologias (RDF e OWL), combinando transformação de modelos e dados vinculados	Integração e Padronização de Dados e Modelagem
Whitmore et al.	2024	Digital twins in the asset life cycle: are we there yet?	Aplicação de DTs e questionário sobre a exploração dos DTs a gestores dos setores de indústrias de processo, infraestrutura e manufatura.	Tecnologia Associadas
Zhang et al.	2024	Research on Intelligent Platform Construction and Pavement Management of Expressway Operation and Maintenance Based on BIM+GIS Technology	Análise integrada BIM-GIS para gestão detalhada e macro de rodovias, aprimorando a detecção e gestão do pavimento.	Gestão, Operação e Manutenção
Zhao et al.	2019	Highway Alignment Optimization: An Integrated BIM and GIS Approach	Utiliza ontologias semânticas (RDF e OWL) para integrar dados de BIM e GIS, a partir de algoritmos genéticos para otimizar o alinhamento rodoviário	Projeto de construção
Zhou et al.	2024	Innovative BIM technology application in the construction management of highway	Desenvolvimento do modelo BIM criado por meio da integração de tecnologias como GIS e IoT	Projeto de construção
Znobishchev; Shamraeva	2019	Practical use of bim modeling for road infrastructure facilities	Análise de tecnologias russas, incluindo escaneamento 3D e processos formais de BIM, para otimizar a gestão e manutenção de infraestrutura rodoviária.	Gestão, Operação e Manutenção

Fonte: Autora (2024).

Com base nos resultados apresentados na Figura 24, é possível identificar os 7 países de origem dos artigos que compuseram o portfólio da busca sistemática.

Figura 24 – Grafico do número de publicações por país



Fonte: Autora (2024)

A China foi o país com mais diversidade de assuntos, explorando os tópicos de Gestão e operação, Integração e Padronização de dados e modelagem e Projetos de construção. Alemanha e Espanha concentram-se em Integração e Padronização de Dados e Modelagem, enquanto outros países, como Rússia e Itália, mostram foco em Gestão e Operação.

3.1.8 Gestão e operação de infraestrutura rodoviária

Gestão e operação de infraestrutura rodoviária referem-se ao conjunto de atividades e processos voltados para o planejamento, monitoramento, manutenção e controle das rodovias, visando garantir sua funcionalidade, segurança e eficiência. A gestão envolve a tomada de decisões estratégicas sobre investimentos, inspeção periódica, reparos e melhorias necessárias ao longo do tempo. Já a operação se concentra no uso diário da infraestrutura, como o gerenciamento do tráfego, sinalização, controle de pedágios, serviços de emergência e aplicação de tecnologias para otimizar o fluxo de veículos.

Cepa et al. (2023) sintetiza na tabela da Figura 25, base de dados do inventário de uma rodovia, apresenta os componentes que formam a estrutura

rodoviária, os quais necessitam do gerenciamento de todos os seus aspectos relacionados.

Figura 25 - Base de dados do inventário de uma rodovia

0.0. Gestão da Rede Rodoviária		
0.1. Inventário de Estradas		
1.0. Rodovia	1.1. Seções de Pista de Rolamento	1.1. Alinhamentos
		1.2. Plataforma
2.0. Estruturas Singulares	2.1. Túneis	2.1.0. Relatório de Status
		2.1.1. Lajes
		2.1.2. Paredes
		2.1.3. Fundações
		2.1.4. Revestimentos
	2.2. Pontes	2.2.0. Relatório de Status
		2.2.1. Lajes
		2.2.2. Pilares
		2.2.3. Fundações
		2.2.4. Parapeitos
		2.2.5. Mesas
	2.3. Passarelas	2.2.6. Rolamentos
		2.3.0. Relatório de Status
		2.3.1. Lajes
		2.3.2. Pilares
		2.3.3. Fundações
		2.3.4. Guarda-corpos
	2.4. Paredes	2.3.5. Mesas
2.3.6. Rolamentos		
2.4.0. Relatório de Status		
2.5. Sistema de Drenagem		2.5.0. Relatório de Status
3.0. Superestrutura	3.1. Pavimento	3.1.1. Tipos de Pavimento
	3.2. Calçada	3.2.1. Tipos de Calçada
	3.3. Meio-fio	3.3.1. Tipos de Meio-fio
	3.4. Barreiras	3.4.1. Tipos de Barreiras

Fonte: Traduzido de Cepa et al. (2023).

Esse modelo de banco de dados evidencia uma abordagem sistemática para gerenciar e monitorar o estado e os componentes das infraestruturas rodoviárias. Esta promove a organização detalhada e funcional, permitindo a coleta, análise e manutenção de informações essenciais para tomadas de decisão mais eficazes no planejamento e na operação rodoviária. Além disso, essa estrutura facilita a

integração de tecnologias como GIS e BIM, em suas etapas de coleta e classificação das informações.

O Asset Information Model (AIM) foi criado para refletir o funcionamento operacional da infraestrutura, incorporando dados sobre o desgaste e a operação dos equipamentos instalados. O iBIM (Integrated BIM), por sua vez, representa o nível mais alto de integração e maturidade, utilizando o modelo GIS para monitorar e gerenciar a infraestrutura de transporte em operação, refletindo o estado real da instalação (Znobishchev; Shamraeva, 2019).

Baseado em preceitos do CUGRI (Centro Interuniversitário de Pesquisa para Previsão e Prevenção de Grandes Riscos) e a SAM (*Southern Highways Company*), considerado inovador por sua abordagem multidisciplinar, capaz de combinar o uso do Geography Markup Language (GML), ferramentas BIM e análises de múltiplos riscos, (Petti et al. 2023) elaborou um modelo operacional para o processo de vigilância de pontes. A sua metodologia de Sistema de Gerenciamento Pontes (BMS) permite treinamento in loco de inspetores, a criação de modelos BIM adaptados às diretrizes do AINOP (Arquivo Nacional de Infraestruturas Públicas) e um processo especializado de avaliação de pontes e validação de dados, otimizando a gestão da manutenção.

A plataforma BMS do CUGRI (Figura 26), parte do Sistema de Informação (SI), oferece uma solução ao integrar dados em tempo real georreferenciados e modelos BIM desenvolvidos pelo processo "Scan-to-BIM". Este inclui etapas detalhadas desde o levantamento tridimensional até a exportação em formato IFC. A Acca Software Spa apoia essa estrutura com a usBIM.platform, que permite acesso remoto e edição colaborativa de modelos, promovendo uma gestão mais abrangente e eficiente de infraestruturas.

Figura 26 - Plataforma BMS e Integração GIS-BIM



Fonte: Petti et al. (2023)

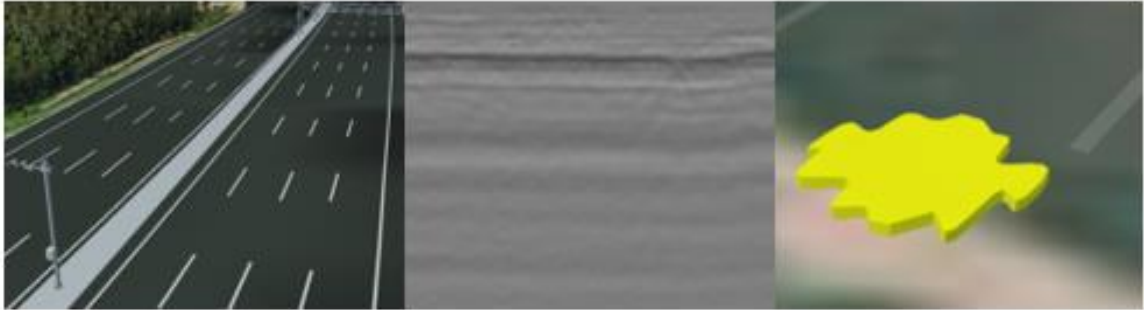
Outros pontos de limitação citados por Petti et al. 2023, se refere aos possíveis custos e tecnológicos envolvidas no processo, além do tempo necessário para a implementação das ferramentas. A gestão de grandes volumes de dados de múltiplas fontes e os processos de inspeção detalhados também podem aumentar a carga operacional, exigindo um planejamento robusto, recursos e mão de obra especializada.

A estrutura e o protótipo propostos por Gao et al (2023) validou a integração de tecnologias da informação e web, em conjunto de BIM e GIS, na elaboração de uma modelo virtual que pode ser aplicado diferente situações de gestão de pontes. Os casos de inspeção foram realizados por drones, com o monitoramento permitindo análise de vibração e a execução de planos de evacuação em situações emergenciais. O desempenho demonstrou a alta eficiência, baixa latência e excelente tolerância a falhas, o que pode contribuir diretamente para aumentar a eficiência e a segurança da operação e manutenção (O&M) de pontes.

Cepa et al. (2023) utilizou o seus modelo digitais para fazer simulações para gestão do tráfego e a derivação de Modelos Digitais de Terreno (DTM) por meio de ferramentas como Pointools e Descartes.

Zhang et al., (2024) acrescentam que a combinação BIM e GIS, possibilitou a detecção falhas, como rachaduras, no pavimento, o que melhorou significativamente a tecnologia de gestão de desse componente rodoviário em vias expressas operacionais (Figura 27).

Figura 27 - Pavimento modelado, imagem da superfície da estrada e detecção de deformação no pavimento.



Fonte: Zhang et al. (2024).

O conceito *Facilities Management* (FM) abordado por Cepa et al. (2023), consiste na gestão de recursos físicos e serviços em instalações para garantir eficiência operacional durante seu ciclo de vida. Infraestruturas lineares, como estradas, historicamente usam GIS para FM devido à sua capacidade de gerenciar informações em grandes escala.

No entanto, os modelos GIS são geométricos e simplificados, por isso insuficientes para FM detalhado. A integração BIM-GIS surge como solução para unir dados de infraestrutura e ambiente, apoiando decisões. Apesar disso, ainda faltam padrões claros e há resistência na adoção de modelos integrados por profissionais da área (Cepa et al., 2023).

Cepa et al. (2023) acrescenta que grande beneficiados das possibilidades de integração GIS x BIM proporcionada são os agentes governamentais, pois são os principais fornecedores de mapas e dados de tráfego, responsáveis pela O&M de infraestruturas utilizam dessas informações para tomada de decisão.

3.1.9 Projeto de construção

O estudo de Zhou et al., (2024) aborda o uso BIM na gestão da construção da *Yuanchen Expressway*, uma via expressa chinesa, e evidencia que a ferramenta se mostrou capaz e impactar o setor de infraestrutura rodoviária. No projeto, foram utilizadas diferentes tecnologias além do BIM, como GIS e IoT. Essas ferramentas possibilitaram a identificação de pontos críticos e soluções inovadoras, pela possibilidade de um modelo digital detalhado e uma plataforma de gestão com diferentes níveis de informação.

Cepa et al. 2023 acrescenta que a integração das tecnologias supracitadas, em conjunto com outras como a realidade virtual (VR) permitiu o monitoramento em tempo real e a análise inteligente, gerando benefícios econômicos notáveis, como uma economia de custos de 5,94% e uma redução de 8,3% no tempo de construção.

Tecnologias como essas, acrescentam Zhou et al. (2024), permitiram em conjunto a construção de túneis, pontes e interseções complexas fosse tratada de forma eficaz, alcançando avanços na construção inteligente ao longo da rodovia.

Zhao et al. (2019) aplicou a integração a etapa de planejamento de alinhamento de rodovias, caracterizado como um processo, geralmente, complexo e demorado. O modelo proposto integrou sistemas BIM e GIS utilizando tecnologias de web semântica e ontologia para facilitar a troca de dados e melhoram a interoperabilidade.

Dentre as facilidades possibilitadas, está a análise de alternativas de alinhamento. Essa atividade otimizou o processo de design geotécnico e da infraestrutura, oferecendo um modelo de rodovia 3D (Zhao et al.,2019).

Embora apresente resultados positivos aplicados a fase de análise de traçado, Zhao et al. (2019) ressalta que o modelo ainda possui limitações, como a sua aplicação restrita a projetos de como rodovias. No entanto, ele pode ser expandido para outros projetos horizontais, como oleodutos, túneis e pontes, e integrado a tecnologias avançadas para otimizar processos, como a elaboração de layout do canteiro de obras ou a evacuação de incêndio em edifícios.

Shamraeva e Savinov (2021) avaliaram um programa GIS, da empresa Avtodor company, com o modelo infraBIM para otimizar os processos de construção e operação de seções lineares de estradas, de uma via expressa chamada Desvio do Extremo Oeste de Krasnodar (FWKB), que faz parte do corredor de transporte Norte-Sul da Rússia. O InfraBIM possibilitou a otimização de tempo e dinheiro durante a etapa de execução do projeto e a operação das instalações da rodovia russa.

Na etapa de construção, a integração InfraBIM-GIS contribui permitindo visualizar o andamento das obras, controlar o volume de construção e instalação, evitar colisões e erros durante trabalhos geodésicos, além de possibilitar análise de plano versus realizado. O seu modelo permitiu organizar o sequenciamento das etapas das obras através da conexão entre diagramas lineares e elementos do

modelo. Na operação dos canteiros, contribui para planejamento de trabalhos e recursos de manutenção, como reparos, reformas e reconstrução de seções rodoviárias. Além disso, permitiu certificação, inventário, diagnóstico de estruturas e registro técnico de obras (Shamraeva; Savinov, 2021)

3.1.10 Tecnologias associadas

A associação de tecnologias à integração GIS e BIM, potencializa o benefício que ambas as ferramentas oferecem, possibilitando o avanço de importantes áreas de aplicação, como as infraestruturas rodoviárias.

Um gêmeo digital (em inglês Digital Twins – DT), por exemplo, consiste em uma representação virtual do mundo físico. Seu modelo é gerado de modo contínuo, por meio de engenharia reversa (mapeamento de fotografias e digitalização 3D) e modelagem do objeto construído. Pode aplicado em grande estruturas com pontes durante todo seu ciclo de vida (Dang, 2020; Kang, 2021; Shim,2019).

Existem também os chamados gêmeos digitais geométricos (*Geometric Digital Twins - GDT*). Esses são aplicados a infraestruturas como estradas e, envolvem o uso de dados geométricos, extraídos de um ativo físico real (*Physical Twin - PT*) para criar uma representação digital (DT). Os PTs junto a um DT, compreende um sistema gêmeo com uma conexão bidirecional (Davletshina, 2024 apud Jiang et al., 2021; Hu K et al., 2023; Osadcha I, 2023).

Gao et al (2023), desenvolveu um framework utilizando tecnologias de inteligência artificial (AIoT) e Internet das Coisas (IoT), integradas a um gêmeo digital para operação e manutenção de pontes. O modelo virtual foi hospedado em uma plataforma baseada na web com GIS e BIM. O estudo de procurou minimizar problemas de comunicação restrita causados pelas redes de suporte de dados.

Cepa et al. (2023) utilizou em uma metodologia de criação de modelo BIM, tecnologias como como 5G, drones, fotogrametria e VR, bem como softwares especializados como OpenBridge Modeler, Rhino, MicroStation e OpenRoads Designer. Seu modelo contribuiu para redução de gastos e tempo e mais de 5%.

Whitmore et al. (2024), em sua pesquisa a respeito da atuação dos Gêmeos Digitais no ciclo de vida de ativos, aponta um potencial dos GDs para projetar e operar ativos de forma mais eficiente em todo o ciclo de vida do produto ou do projeto. No

que se refere às infraestruturas, pode ser empregado nas fases de projeto, construção e operação.

Os GDs vinculam-se a integração GIS BIM associadas a sistemas de controle de supervisão e aquisição de dados para fins de manutenção e operação. Os dados de entrada para sua composição partem de sensores e a Internet das Coisas (IoT) que registram seu estado em tempo real. O processamento e análise das informações capturadas, simulando cenários e condições externas, é realizado por simulações multifásicas, análise de dados e inteligência artificial (IA). Por fim, as tecnologias de realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV) são usadas para enviar as informações processadas de volta aos usuários e/ou ao mundo físico (Whitmore et al., 2024 apud Love; Matthews, 2019).

Zhao et al. (2019) destaca a importância do uso de algoritmos de otimização chamados de *genetic algorithms* (GAs). Os GAs facilitaram a seleção do alinhamento ideal de traçados rodoviário, maximizando o controle de riscos geológicos e minimizando os custos do projeto

Baseando-se em Sacks et al., 2020 e Radzi et al. (2023), Whitmore et al., (2024) explica que pode haver confusão entre as definições relacionados a BIM e GD, atribuindo aos dois o mesmo significado. o BIM e os GDs têm semelhanças e sobreposições, mas são distintos. Enquanto o BIM é amplamente usado para modelagem e planejamento de construções, os GDs vão além, incorporando dados em tempo real e simulações para representar o comportamento e o estado de um ativo físico durante todo o seu ciclo de vida. O entendimento dessas diferenças é importante para o uso eficaz de ambas as tecnologias em projetos de construção e gestão de ativos.

A partir da interoperabilidade entre os domínios GIS, BIM e IoT, para Herlé e Blankenbach (2024), foi possível a elaboração de um gêmeo digital, com uma interface de programação chamada API4BE. Essa interface facilitou a navegação, modificação e visualização de modelos IFC e dados GIS, permitindo análise e interpretação que podem influenciar na tomada de decisão, melhorando a gestão e o monitoramento de infraestruturas, como o planejamento de rodovias e a saúde estrutural de pontes. No entanto, a solução ainda possui limitações, como a necessidade de mecanismos avançados de controle de versão e gerenciamento de

tarefas, além de um desenvolvimento futuro planejado para expandir os recursos e integrar mais tecnologias.

Zhang et al. (2024), para o levantamento de dados espaciais e do pavimento, utilizou a abordagem da fotografia oblíqua, que consiste na obtenção de fotografias aéreas tiradas com o eixo da câmera em um ângulo entre o plano horizontal do solo e o plano vertical perpendicular ao solo, permitindo capturar detalhes precisos da infraestrutura. Essa metodologia é eficaz para representar com fidelidade as condições reais das rodovias, proporcionando uma visão detalhada e precisa para análise e manutenção. O GIS real 3D combinado com a fotografia oblíqua fornece uma solução abrangente de gerenciamento de mapas para construção de informações e torna as informações espaciais presentes na visualização 3D.

3.1.11 Softwares comuns a integração GIS BIM

Durante a revisão sistemática foi possível levantar softwares utilizados na integração GIS x BIM. O quadro 7, a seguir, mostra os softwares utilizados para tecnologia GIS e BIM.

Quadro 7 - Software utilizados nos artigos analisados

Tecnologia	Software
GIS	<u>Mapinfo</u> Dorgis (Intelnova): Arcgis (ESRI) <u>Mapinfo</u> Indorroad (Indorsoft) Dorgis (Intelnova) QGIS (Versão Gratuita) Avtodor Company Autocad
BIM	<u>S-Info</u> Autodesk Navisworks <u>Hexagon Geosystems</u> Civil3D® <u>Infraworks</u> Revit <u>Sketchup®</u> Autocad <u>Microstation</u> OpenBridge Rhino

Fonte: Autora (2024).

Os softwares identificados na revisão sistemática apresentam diferentes características que os tornam mais adequados conforme a finalidade, seja no contexto de GIS ou BIM. Para análise espacial e mapeamento, o ArcGIS se destaca por suas ferramentas avançadas de geoprocessamento e pela capacidade de lidar com

grandes volumes de dados, sendo amplamente utilizado em análises complexas e na criação de mapas detalhados. Por outro lado, o QGIS, uma alternativa gratuita, é ideal para quem busca flexibilidade e compatibilidade com diversos formatos de dados, oferecendo recursos robustos para análise espacial sem custos de licenciamento. Já softwares como MapInfo, Dorgis e IndorRoad são mais utilizados para gestão e visualização geoespacial, oferecendo funcionalidades práticas de mapeamento e integração com outras ferramentas (Znobishchev; Shamraeva et al., 2019).

No contexto de BIM, a escolha do software depende da fase e do tipo de aplicação no ciclo de vida da infraestrutura. O Revit é a ferramenta mais indicada para a modelagem de componentes construtivos, sendo amplamente utilizado na elaboração de projetos detalhados. Para projetos de infraestrutura, como rodovias e pontes, o Civil 3D e o InfraWorks se destacam, pois oferecem recursos voltados ao design geométrico, análise de terrenos e integração com dados geoespaciais.

Já o Navisworks é ideal para a coordenação de modelos e a detecção de interferências, sendo muito aplicado em fases de verificação e simulação. Ferramentas como OpenBridge e MicroStation são mais específicas para modelagem de pontes e estruturas lineares, facilitando a integração de projetos viários com a metodologia BIM (Zhou et al., 2024).

A escolha dos softwares GIS e BIM deve considerar a finalidade e a fase do ciclo de vida do projeto. O ArcGIS se destaca por análises avançadas e o QGIS como alternativa gratuita e flexível. No BIM, o Revit é ideal para modelagem, enquanto o Civil 3D e o InfraWorks são voltados para projetos de infraestrutura. Ferramentas como Navisworks, OpenBridge e MicroStation atendem necessidades específicas, como coordenação de modelos e design de estruturas lineares.

3.1.12 Integração e padronização de dados

Um dos grandes desafios que se tem na construção de modelos que utilizam a integração GIS BIM é a troca de informações de diferentes formatos e fontes.

A integração entre BIM e GIS é um dos grandes desafios na construção de modelos para rodovias, principalmente devido às diferenças nas estruturas de dados e nos níveis de informação. Embora os modelos geométricos no CityGML e no IFC possam oferecer um alto nível de detalhamento, eles têm dificuldades em representar objetos de forma livre ou com deformações devido à sua natureza paramétrica. Uma

alternativas do setor, como o CityGML via Autodesk, FBX via Autodesk, Google Street View e Maps, e IFC via Autodesk, apresentam combinações variadas de recursos, com diferentes níveis de modelagem geométrica e informações semânticas, mas ainda carecem de automação suficiente (Davletshina et al., 2024).

O BIM, por si só, não realiza análises espaciais, mas pode ser integrado ao GIS para explorar relações topográficas. No entanto, a integração entre BIM e GIS enfrenta desafios devido às diferenças nas estruturas e formatos dos dados.

Nesse contexto, tecnologias da web semântica podem promover a interoperabilidade entre os dois sistemas, superando limitações do formato IFC, como representações geométricas incorretas e a perda de dados semânticos. A ontologia, que é um conjunto de dados e informações específicas, facilita a interoperabilidade semântica, melhorando a análise dos dados BIM ao adicionar uma camada semântica (Zhao et al., 2019).

Os principais desafios da integração incluem questões de interoperabilidade entre sistemas e visualização de dados, além da necessidade de desenvolver bibliotecas de elementos paramétricos simples (Cepa et al., 2023).

Além disso, o grande volume de informações nos modelos pode afetar a eficiência em sistemas com recursos limitados, exigindo, por vezes, o armazenamento de informações associadas separadamente, impactando diretamente a visualização, edição e análise de dados (Cepa et al., 2023).

Elemento importante para auxiliar na integração de informações provenientes de diferentes fontes é o *Common Data Environment* (CDE), um ambiente comum de dados essencial para a gestão de informações sobre os ativos. Sua principal vantagem é permitir que os projetistas desenvolvam documentação de forma mais rápida e com menor custo (Shamraeva; Savino, 2021).

A “plataforma de negócios BIM Cloud”, termo que Zhang et al (2024) atribui ao CDE, em sua pesquisa, ao complementar que a plataforma integra dados de diferentes participantes, funde dados de diferentes fontes de dados e diferentes tipos de dados e, em seguida, converte dados em processamento, estatísticas, análise, mineração e mineração profunda do valor dos dados.

3.1.13 Modelagem da Infraestrutura Rodoviária

Os modelos 3D são uma parte importante da simulação e criação de ambientes virtuais: modelos realistas aprimoram a experiência imersiva e permitem a interação em espaços de realidade virtual ou aumentada.

O BIM não é amplamente aplicado na indústria rodoviária, uma vez que a construção vertical é um processo completamente diferente da construção horizontal. O *City Information Modeling* (CIM), por outro lado, utiliza uma metodologia análoga ao BIM, mas em uma escala espacial (Costin et al., 2018).

Cheng et al. (2016) afirmam que o CIM pode ser usado durante o ciclo de vida do projeto, incluindo o projeto conceitual e a fase de planejamento, detalhamento e documentação, construção e operação e manutenção. É um termo amplamente usado na indústria AEC para se referir à aplicação de BIM em projetos de infraestrutura civil, como rodovias, pontes e túneis.

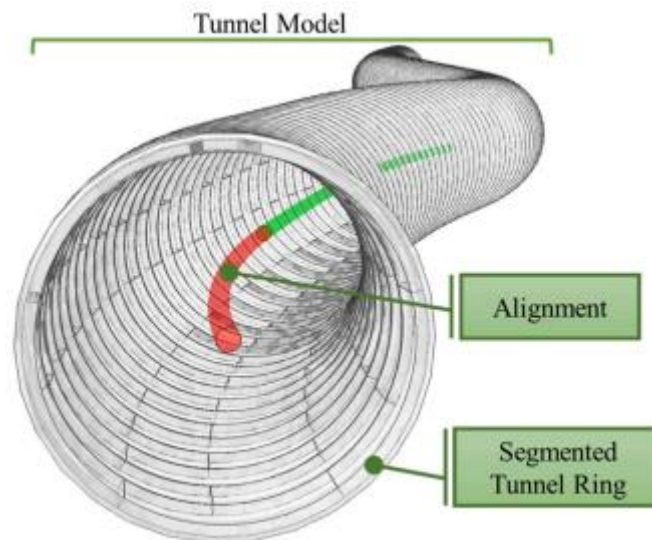
Os softwares convencionais para modelagem refinada de infraestrutura de transporte está concentrado em quatro plataformas principais: Autodesk, Bentley, Dassault e Graphisoft (Nível et al., 2024).

Os modelos 3D são uma parte importante da simulação e criação de ambientes virtuais: modelos 3D realistas aprimoram a experiência imersiva e permitem a interação em espaços de realidade virtual ou aumentada.

Em projetos de tunelamento, Stepien et al. (2022) apontam que as informações geométricas frequentemente apresentam um deslocamento na elevação, especialmente ao investigar modelos de solo, furos de sondagem, estruturas subterrâneas ou a própria estrutura do túnel. Portanto, a representação geométrica geralmente precisa ser transformada antes de ser feita a investigação das relações espaciais, de seus requisitos e restrições.

Além disso, um modelo de túnel pode ser criado usando métodos de modelagem paramétrica baseados em orientação e localização de um alinhamento, que também processa o projeto de uma seção transversal (Figura 28).

Figura 28 - Modelo de alinhamento de túnel



Fonte: Stepien et al. (2022)

A metodologia de Stepien et al. (2022) utiliza malhas poligonais e modelagem no formato IFC para representar cenas tridimensionais, como rodovias, a partir de nuvens de pontos. As malhas poligonais oferecem uma boa relação entre qualidade e uso de memória, sendo eficazes para modelar objetos de formas livres.

Por outro lado, o formato IFC é útil para capturar ativos rodoviários e suas características semânticas. No entanto, essa abordagem enfrenta limitações, como a dependência de dados extensivos para treinamento em soluções baseadas em aprendizado de máquina e a necessidade de ajustes adicionais em ambientes rodoviários devido à natureza dos dados de digitalização. A falta de automação completa também restringe sua aplicabilidade em larga escala.

Shamraeva e Savinov (2021) ressaltam a importância de compreender o propósito para o qual o modelo está sendo desenvolvido, ou seja, o modelo deve possuir o nível de informação e atributos adequados para a fase em que será utilizado.

Em seu trabalho, destacam que, por exemplo, os modelos BIM são desenvolvidos principalmente para a fase de projeto, e não devem ser usados na operação ou manutenção de rodovias, pois, nesta fase do ciclo de vida, devem refletir a instalação construída real. Eles contêm muitos dados 3D e poucos dados de atributos, tornando-os inadequados para tarefas de operação e manutenção (Shamraeva; Savinov, 2021).

Além disso, complementam que o modelo BIM deve ser preenchido com informações ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, para minimizar a necessidade de redesenho devido ao nível insuficiente de detalhe. Dessa maneira, é necessário compreender a qual uso o modelo final quer atender, para que o objeto construído virtualmente receba o nível de detalhamento mais correto.

O modelo de um túnel é desenvolvido utilizando métodos de modelagem paramétrica, nos estudos de Stepien et al., (2022). Essa abordagem baseia-se na orientação e localização do alinhamento, considerando também o projeto de uma seção transversal. No contexto do BIM, as informações semânticas são organizadas por meio da estrutura do modelo e das propriedades dos objetos, enquanto a representação geométrica é declarada de forma independente. Para essa representação, utiliza-se o padrão IFC, uma norma ISO que possibilita a troca interoperável e aberta de modelos BIM.

O processo de desenvolvimento de modela da integração GIS BIM é dividido em estágios, sendo o primeiro a filtragem dos dados. Nesse estágio, as informações provenientes de modelos BIM e GIS são reduzidas e classificadas, considerando apenas os dados semânticos e geométricos relevantes, como identificação, categorização e propriedades.

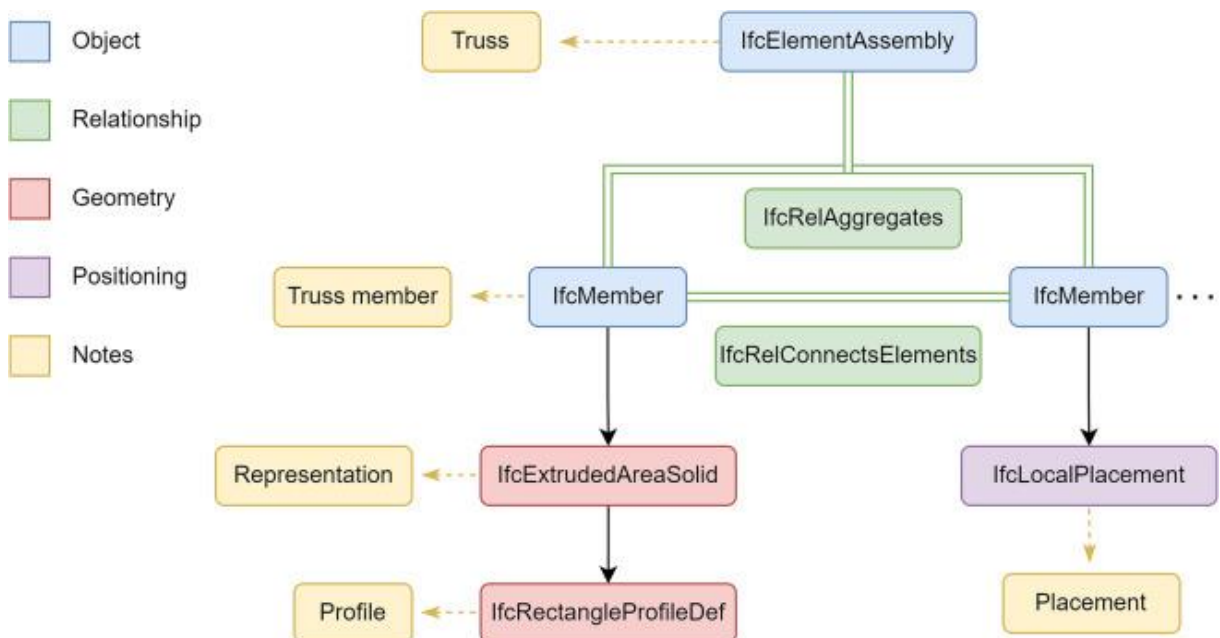
A inclusão de dados espaciais ocorre com base em sua disponibilidade e relevância, enfrentando desafios decorrentes de inconsistências geradas por terminologias distintas entre diferentes comunidades. Essa etapa de filtragem organiza os dados e os prepara para a criação de ontologias, reduzindo seu tamanho e reorganizando-os para integração em uma ontologia comum. Para isso, são utilizadas tecnologias como Model View Definitions (MVD), aplicadas a modelos IFC, e XQuery, empregada em documentos GIS estruturados em XML.

O formato IFC também pode ser útil para capturar ativos rodoviários e suas características semânticas. No entanto, essa abordagem enfrenta limitações, como a dependência de dados extensivos para treinamento em soluções baseadas em aprendizado de máquina e a necessidade de ajustes adicionais em ambientes rodoviários devido à natureza dos dados de digitalização. A falta de automação completa também restringe sua aplicabilidade em larga escala (Stepien et al., 2022).

Justo et al. (2023) complementa que o IFC 4.3, formato com atributos para construções horizontais, ainda não está amplamente disponível em bibliotecas de programação e software de visualização, por isso o IFC 4.1 foi usado em seu lugar para a modelagem de uma ponte treliçada.

Para o desenvolvimento de seu modelo, Justo et al., levou em consideração a documentação existente sobre o IFC 4.3 para tornar o software o mais compatível possível, pois dentre as potencialidades da utilização desta versão, a pesquisa e modelagem de diferente entidades podem carregar diferentes níveis de informações de treliças em pontes. A Figura 29 - Diagrama de entidade IFC para treliça de pontes a seguir, apresenta um diagrama simplificado das diferentes entidades IFC usadas.

Figura 29 - Diagrama de entidade IFC para treliça de pontes



Fonte: Justo et al. (2023).

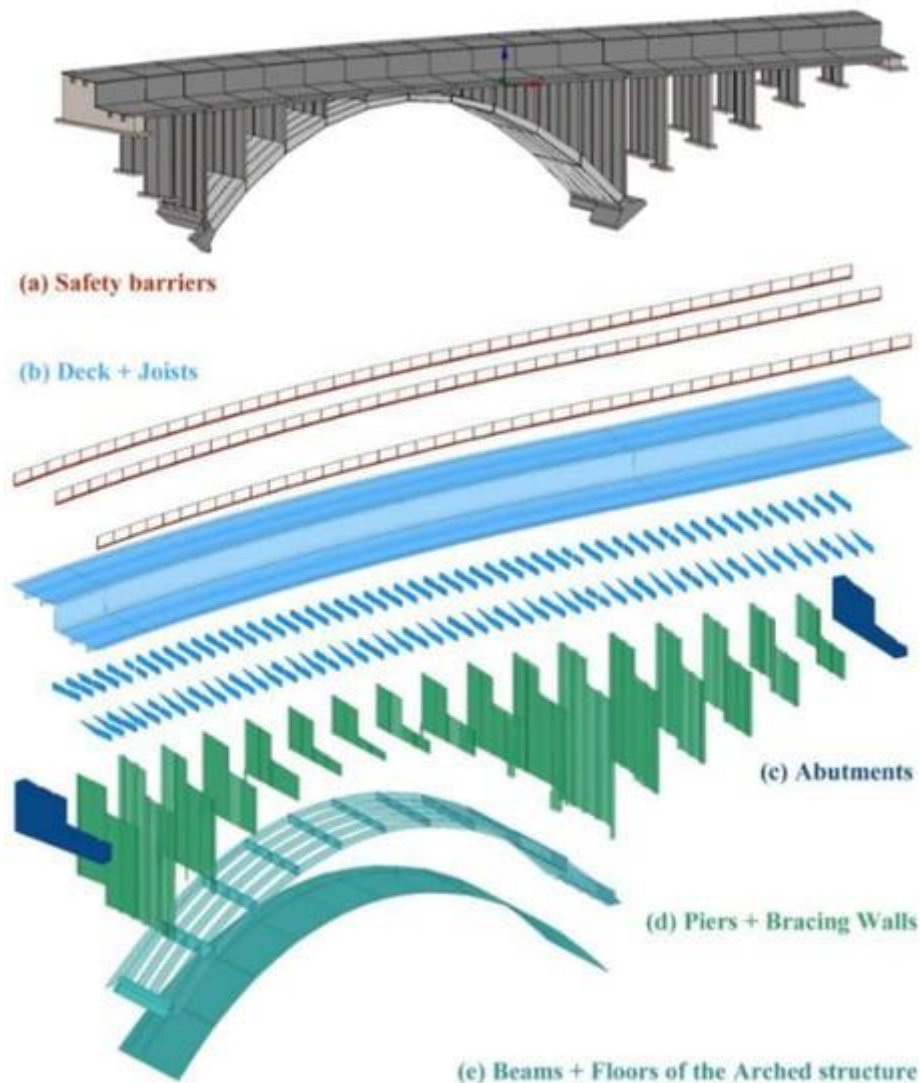
Shamraeva e Savinov (2021) ressaltam a importância do entendimento do propósito para qual o modelo é está sendo desenvolvido, isto é, o modelo deve possuir o nível de informação e atributos adequados para a fase que seu uso é destinado. Em seu trabalho destaca que, por exemplo, os modelos BIM são desenvolvidos principalmente para a fase de projeto e, estes não devem ser usados na operação ou manutenção de estradas, pois, nesta fase do ciclo de vida, devem refletir a instalação construída real. Eles contêm muitos dados 3D e poucos dados de atributos, tornando-os inadequados para tarefas de operação e manutenção. Desse modo, é importante

o entendimento e adoção correta dos níveis de detalhes que cada representação requer.

Petti et al. (2023), ao modelar uma ponte (para o monitoramento de vibrações e operações de manutenção, utilizou níveis mais completos de informações, permitindo que o modelo realizasse análises mais realistas e eficientes da estrutura.

Figura 30) para o monitoramento de vibrações e operações de manutenção, utilizou níveis mais completos de informações, permitindo que o modelo realizasse análises mais realistas e eficientes da estrutura.

Figura 30 - Segmentação da modelagem de uma ponte



Fonte: Petti et al., (2023).

Além disso, Shamraeva e Savinov (2021) complementam que o modelo BIM deve ser preenchido com informações ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, para minimizar a necessidade de redesenho devido ao nível insuficiente de detalhe.

Apesar dos avanços da representação dos modelos digitais, a pesquisa de Cepa et al., (2023) destacam limitações como a ausência de modelos de custo 5D e de segurança 6D, limitando atividades com precisão em gerenciamento. Além disso, a falta de integração com IA impede uma otimização mais inteligente e automatizada dos processos BIM. Ainda assim, o estudo oferece um exemplo prático e insights valiosos para o uso de BIM em projetos de infraestrutura viária, apontando caminhos para melhorias futuras por meio da integração com outras tecnologias.

3.1.14 Considerações finais a respeito da Integração GIS BIM aplica em Infraestruturas do modo Rodoviário

A Revisão sistemática integrativa procurou identificar quais os principais aspectos do estado da arte da integração GIS BIM aplicada a infraestruturas rodoviária. Com essa análise foi possível perceber que apesar de ambas as tecnologias já serem utilizadas em seu campos de trabalho, quando combinadas possuem um grande potencial para aplicação para infraestruturas lineares, como o modo rodoviário e seus componentes, seja como tecnologias de gestão de projetos ou operação do ambiente construído.

O GIS oferece ferramentas para o mapeamento, análise e visualização de dados geoespaciais, enquanto o BIM acrescenta uma camada de dados paramétricos e informações detalhadas sobre os elementos da infraestrutura. Quando trabalhados juntos, permitem uma visão holística e precisa das infraestruturas, melhorando o planejamento, a execução e a manutenção de projetos.

Entretanto, este é campo recém explorado, por isso sua integração possui alguns percalços, como ausência de bibliotecas de domínio comuns, hardwares capazes de processar grandes volumes de dados, profissionais habilitados, interoperabilidade entre softwares GIS e BIM.

Com o avanço da tecnologia, o uso de softwares especializados tem se tornado cada vez mais sofisticado, ampliando as potencialidades do BIM e do GIS. Softwares de modelagem 3D, como Revit, Civil 3D, InfraWorks, ArcGIS, e QGIS, por exemplo, agora oferecem soluções avançadas para integrar e processar dados de

forma mais eficiente. Isso inclui desde o planejamento da construção até a gestão operacional, com suporte a tecnologias como gémeos digitais, LiDAR, sensoriamento remoto, GNSS, *scan-to-BIM* e IoT.

Essas tecnologias permitem a captura de dados em tempo real, como a topografia de uma área, o monitoramento das condições de uma estrada, ou o comportamento de infraestruturas ao longo do tempo, contribuindo para a criação de modelos altamente precisos e dinâmicos.

A evolução dos modelos BIM para AIM (Asset Information Modeling), CIM e iBIM (Infrastructure BIM) é um reflexo direto dessa integração, ampliando a aplicação do BIM ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura.

O BIM inicial, focado na fase de projeto e construção, evolui para o AIM, que é utilizado para a operação e manutenção de ativos, de modo a garantir que as informações sobre o desempenho da infraestrutura sejam continuamente atualizadas.

O iBIM é focado especificamente nas infraestruturas de transporte, otimizando a gestão rodoviária de redes essenciais. O CIM, por sua vez, integra as informações de múltiplos ativos urbanos, permitindo o gerenciamento completo de cidades inteligentes, podendo ser alimentado e integrado pelos outros modelos citados.

No entanto, essa evolução e a integração de múltiplas tecnologias trazem desafios, sendo a complexidade da interoperabilidade entre diferentes plataformas de software um deles. A falta de um padrão único de integração de dados entre BIM, GIS e outras tecnologias pode resultar em dificuldades para compartilhar e utilizar informações de forma eficiente, o que pode comprometer a eficácia do fluxo de trabalho.

A interoperabilidade entre sistemas exige o uso de formatos e protocolos de dados comuns, como o IFC e o CityGML, mas a implementação de tais soluções ainda está em desenvolvimento, o que limita sua aplicabilidade em larga escala.

Ferramentas de programação e conversão de dados são amplamente utilizadas, mas isso pode fazer com o que o fluxo de trabalho não seja totalmente automatizado, podendo gerar erros ou interpretação de dados desatualizados.

Outro desafio importante é a escassez de profissionais qualificados capazes de operar e integrar essas tecnologias complexas. A falta de uma equipe especializada pode ser um obstáculo significativo para a adoção bem-sucedida de

soluções GIS BIM. Esses sistemas exigem conhecimento técnico profundo não apenas de software, mas também dos conceitos de modelagem de dados, sensoriamento remoto e outras tecnologias emergentes.

Para superar esses desafios, é importante o investimento em treinamento e capacitação de equipes multidisciplinares que lidam com a crescente complexidade dos processos integrados.

A integração de BIM com GIS e outras tecnologias inovadoras abre uma de possibilidades para a gestão de infraestruturas rodoviárias, mas também impõe desafios relacionados à interoperabilidade, capacitação e adoção de padrões globais.

O uso de gêmeos digitais, LiDAR, *scan-to-BIM*, IoT e outras tecnologias permitem a criação de modelos dinâmicos e precisos, transformando o modo como as infraestruturas são projetadas, operadas e mantidas ao longo de seu ciclo de vida.

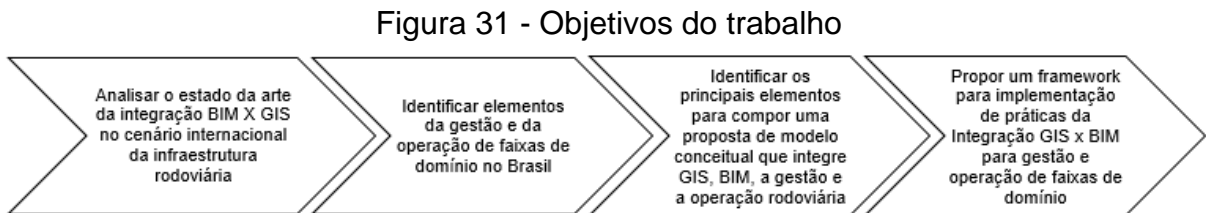
A integração pode estar presente em todo ciclo de vida da infraestrutura rodoviária, desde a fase de viabilidade para realização do projeto como o estudo de viabilidade de traçados de vias e tuneis; levantamento de custos e cronogramas de execução; simulações de cenários; manutenção e operações de estruturas implantadas como de pontes treliçadas.

4 METODOLOGIA

4.1 Introdução Ao Capítulo

Ao realizar qualquer trabalho científico é necessário seguir uma metodologia. Segundo Damo (1985), a metodologia pode ser descrita como uma preocupação instrumental que trata das formas, cuida dos procedimentos, das ferramentas e caminhos para atingir uma objetivos.

Com isso, este capítulo tem como objetivo descrever as características e a estrutura metodológica para alcançar os objetivos deste trabalho, recapitulados na Figura 31 a seguir:



Fonte: Autora (2024).

4.2 Estrutura metodológica

Para a classificação desta pesquisa, foram adotadas as categorias propostas por Oliveira e Giraldi (2020), apresentadas de forma remida no Quadro 8. Dessa maneira, o trabalho enquadra-se nas classificações típicas de pesquisas acadêmicas, sendo caracterizado como uma pesquisa pura, qualitativa, descritiva, documental e bibliográfica.

Quadro 8: Classificação da pesquisa

1. Quanto à utilização dos resultados	Pesquisa pura; Pesquisa aplicada;
2. Quanto à natureza do método	Qualitativa; Quantitativa
3. Quanto aos fins	Exploratória; Descritiva; Explicativa; Intervencionista;
4. Quanto aos meios	Pesquisa de campo; De laboratório; Documental; Bibliográfica; Experimental; Ex post facto; Participante; Pesquisa-ação; Levantamento (survey); Estudo de caso.

Fonte: Oliveira e Giraldi (2020).

O método que se propõem a resolver problemas de natureza teóricos clássica a pesquisa como pura (Oliveira; Giraldi, 2020). Neste trabalho foi elaborada uma revisão sistemática integrativa e desenvolvido um *framework* conceitual, sem a sua aplicação prática, permanecendo, assim, apenas no campo teórico.

Quanto à natureza, se enquadra ao método qualitativo. Este tipo de pesquisa permite ao pesquisador aprofundar-se a temática, sem requerer um estudo estatístico durante as avaliações (Oliveira e Giraldi, 2020). Esta pesquisa utilizou deste método para compreender a complexidade do tema e obter informações detalhadas a respeito da gestão de faixas de domínio em rodovias federais, da integração GIS e BIM no modo rodoviário e características do modelo COBIT.

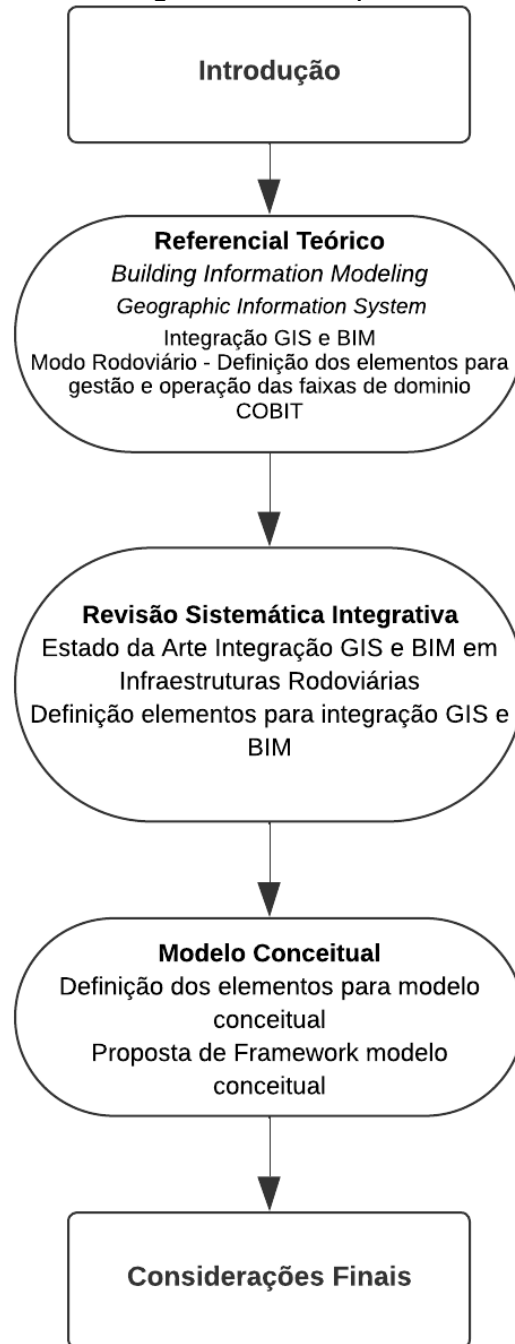
No que diz respeito aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, pois se propõe a caracterizar um tema, baseando-se em conhecimentos já existentes sobre o tema (Oliveira e Giraldi, 2020). Esta pesquisa teve como objetivo descrever os conceitos a respeito de BIM e GIS, e sua integração, os elementos que compõem a rodovia federal como as faixa de domínio e sua gestão pelo DNIT, para então propor um modelo de governança de TI que possa ser aplicado para implementação de práticas da Integração GIS x BIM para gestão e operação de faixas de domínio.

Quanto aos meios, esta pesquisa é classificada como documental e bibliográfica. De acordo com Oliveira e Giraldi (2020), a pesquisa documental envolve a análise de diversos documentos, sejam eles públicos ou privados, com o objetivo de embasar suas conclusões. Por sua vez, a pesquisa bibliográfica utiliza referências e documentos já publicados para explicar um problema ou fundamentar uma ideia, explorando fontes confiáveis como livros, artigos científicos e outros materiais acadêmicos. Nesta pesquisa, foram utilizadas diversas fontes de dados, incluindo documentos oficiais, normativas e resoluções, artigos científicos e livros. Além disso, foram utilizadas ferramentas online, como o *Google Scholar*, e repositórios acadêmicos especializados, incluindo as bases de dados *SciELO*, *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*, garantindo que as referências selecionadas como garantindo que as referências sejam relevantes e confiáveis.

4.2.1 Estratégia de pesquisa

O processo metodológico deste trabalho é estruturado em cinco etapas principais. A figura a seguir apresenta o fluxograma das etapas metodológicas (Figura 32).

Figura 32 – Fluxograma das etapas da metodologia



Fonte: Autora (2024).

A primeira etapa do estudo consiste na introdução, que realiza a contextualização do tema, apresentando as motivações, os objetivos (geral e específicos) e a estrutura do trabalho. Essa seção estabelece a relevância do estudo, situando-o no campo da gestão de infraestruturas rodoviárias e definindo os caminhos a serem seguidos ao longo da pesquisa.

Na segunda etapa, é desenvolvido o referencial teórico, que reúne os principais conceitos e fundamentos necessários para embasar o estudo. São abordados tópicos como BIM e GIS, suas aplicações no setor de infraestrutura e a integração entre essas tecnologias no contexto rodoviário. O referencial também apresenta os elementos essenciais para a gestão das faixas de domínio, com base em normas e legislações identificadas em fontes como os sites governamentais e literatura acadêmica (artigos, teses e TCCs). Adicionalmente, são exploradas as diretrizes do modelo de governança de TI COBIT que orientam a proposta metodológica e a estruturação do modelo conceitual.

A terceira etapa corresponde à revisão sistemática integrativa, que analisa o estado da arte da integração GIS-BIM em infraestruturas rodoviárias. Essa revisão sistemática busca identificar estudos relevantes, aplicações existentes, benefícios e desafios da integração, bem como consolidar os elementos fundamentais para embasar a construção do modelo conceitual. A pesquisa utilizou ferramentas como bases indexadas como “*Scielo*”, “*Science Direct*”, “*Scopus*” e “*Web of Science*”.

Na quarta etapa, foi desenvolvido o modelo Conceitual, que consiste na definição dos elementos necessários para o framework proposto. Esse modelo tem como objetivo viabilizar a aplicação da integração GIS-BIM na gestão e operação das faixas de domínio rodoviárias federais sob o poder público. Para sua construção, foram preservadas as principais características das versões mais atualizadas do COBIT, realizando-se apenas os ajustes necessários para adaptá-las ao contexto do estudo. O modelo conceitual proposto alinha-se às diretrizes do COBIT e contempla as necessidades técnicas e operacionais específicas das atividades de gestão e operação das faixas de domínio rodoviárias.

A etapa final do estudo sintetiza os resultados obtidos e apresenta as considerações Finais. São discutidas as principais conclusões do trabalho, com a avaliação do alcance dos objetivos propostos. Além disso, são abordadas as limitações do estudo e apresentadas sugestões para pesquisas futuras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Introdução ao Capítulo

Neste capítulo serão apresentados e comentados os resultados encontrados a partir da metodologia adotada a identificação dos elementos que compreendem a gestão e operação das faixas de domínio das rodovias federais e componentes da integração GIS x BIM.

Além disso, expõem-se aspectos necessários para a elaboração do modelo COBIT, a proposta do modelo desenvolvida e as estratégias para a avaliação da maturidade

5.2 Os fatores de projeto

A partir dos fatores apresentados, foi realizada a escolha de um grupo para a construção do modelo de governança. Esses fatores são apresentados no Quadro 9, juntamente com grupos de interesse e documentos para a proposta do modelo no âmbito da Gestão de Faixa pelo DNIT

Quadro 9: Fatores de projeto os documentos para a proposta do modelo no âmbito da Gestão de Faixa pelo DNIT

Fatores de projeto	Documentos Internos (existentes ou a serem construídos ou atualizados)	Documentos e referenciais externos
Estratégia da organização	Resolução nº 39/2020 CONSAD/DNIT	Lei nº 10.233/2001; Regimento Interno do DNIT
Metas da organização	Planejamento Estratégico Institucional (PEI); Planos Setoriais; Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS)	Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)
Perfil de Riscos e ameaças	PEI	Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)
Diagnóstico da TI	Plano Estratégico de Tecnologia da Informação e Comunicação (PTIC) Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação (PDTIC)	Legislação federal – normativas CGU e TCU
Requisitos de conformidade	Política de Governança e Gestão do DNIT Cadeia de Valor de Infraestrutura do	Diagnóstico de Recursos Humanos e Materiais.; Projetos de pesquisa e

	<p>DNIT Plano de Integridade do DNIT Relatório de Gestão e Prestação de Contas do DNIT Normas Operacionais e Procedimentos do DNIT Política de Comunicação Institucional do DNIT Plano de Logística Sustentável (PLS)</p>	<p>inovação em engenharia de transportes; Grupos de trabalho internos para avaliação de projetos e operações.</p>
<p>Perfil da Organização</p>	<p>Plano de Gestão de Recursos Humanos e Estrutura do DNIT; Relatórios de Auditorias Internas e Grupos de Trabalho (GTs); Grupos Técnicos do DNIT para Projetos Específicos</p>	<p>Decreto nº 8.489, de 4 de julho de 2015 - Regimento Interno</p>
<p>Fonte de recursos</p>	<p>Recursos de custeio (LOA); recursos de projetos institucionais autossustentados; Receitas Extraorçamentárias (Taxas, Multas, PPPs e Concessões)</p>	<p>Orçamento da União; Decreto nº 93.872/1986 - Descentralização de Recursos; convênios, parcerias e contratos de repasse; Lei nº 13.019/2014 (Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil) e a Lei nº 8.666/1993 (antiga Lei de Licitações, agora substituída parcialmente pela Lei nº 14.133/2021); PNCT</p>
<p>Implementação do modelo</p>	<p>Relatórios internos ao longo da implementação.</p>	<p>Relatórios anuais de gestão.</p>
<p>Estratégia de adoção de tecnologias</p>	<p>Relatórios internos ao longo da implementação.</p>	<p>Relatórios anuais de gestão.</p>

Fonte: Autora (2024)

O quadro apresentado organiza os fatores de projeto em relação aos documentos internos e referenciais externos necessários para a gestão e operação no âmbito do DNIT. Para a Estratégia da Organização e Metas Institucionais, são destacados documentos como o PEI, Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS) e o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), que orientam o planejamento e a estruturação das ações. No que diz respeito ao Perfil de Riscos e Ameaças e ao Diagnóstico de TI, a análise é embasada em planos estratégicos e diretrizes normativas federais, garantindo alinhamento com políticas nacionais e padrões técnicos. Já os Requisitos de Conformidade e o Perfil Organizacional evidenciam políticas de governança, auditorias e grupos técnicos internos, aliados a legislações específicas, como decretos e o Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil.

Por fim, a Fonte de Recursos e a Implementação do Modelo apontam para a necessidade de captação e gerenciamento eficiente de recursos, por meio de receitas orçamentárias e extraorçamentárias, além da elaboração de relatórios periódicos para monitoramento e prestação de contas. A Estratégia de Adoção de Tecnologias destaca a importância dos registros internos e relatórios anuais para acompanhar a implementação e adaptação das soluções tecnológicas no DNIT. O quadro evidencia, assim, a relação entre a documentação interna e externa, fornecendo a base necessária para a execução e o aprimoramento das ações propostas no contexto organizacional.

5.3 Grupos de interesse do modelo

O Quadro 10 apresenta os grupos de interesse que serão adotados no modelo, seguindo os preceitos do COBIT 2019.

Quadro 10 - Grupos de interesse e partícipes COBIT x Organização pública x DNIT –
Faixa de domínio

COBIT 2019	Organização Pública (LOBO; LOBO,2021)	Gestão de Faixa de Domínio
Ambiente Interno		
Boards: Conselhos	Conselhos superiores conforme organograma de cada organização	Diretorias Setoriais e Regionais; Diretoria Executiva ou Comitês Estratégicos
Executive management: Gestão executiva	Conselhos superiores conforme organograma de cada organização	Superintendência Regional; SOT
Business managers: Gerentes de negócio	Órgãos e Equipes de gestão (alta administração)	Chefia do departamento; Analista em Infraestrutura de Transportes; Técnico de Suporte em Infraestrutura de Transportes; Analista e técnico Administrativos
IT managers: Gerentes de TI	Chefia do departamento;	Chefia do departamento
Assurance providers: Seguradores, garantidores	Auditoria Interna; Corregedoria; Assessoria de Correição e Transparência CGU	Auditoria Interna; Corregedoria; Assessoria de Correição e Transparência CGU
Risk management: Gestão de riscos	Coordenação de Geral de integridade	Coordenação de Geral de integridade
Ambiente externo		
Regulators: Reguladores	Ministério de Transporte e Diretoria de Infraestrutura Rodoviária	Ministério de Transporte e Diretoria de Infraestrutura Rodoviária
Business partners: Parceiros (sócios)	Entidades públicas e privadas e demais órgãos e autarquias relacionadas	Entidades públicas e privadas e demais órgãos e autarquias relacionadas
Vendors: Fornecedores	Qualificação e listagem de fornecedores por processo	Qualificação e listagem de fornecedores por processo

Fonte: Autora (2024).

O quadro apresenta a relação entre os componentes de governança do COBIT 2019 e as estruturas de uma organização pública, distribuindo as funções e responsabilidades em dois ambientes distintos: interno e externo.

No ambiente interno, são listados os principais atores envolvidos na governança e gestão, como conselhos superiores, diretorias setoriais e regionais,

gerentes de negócios e de TI, além de auditorias internas e órgãos responsáveis pela gestão de riscos. Esses elementos são organizados de forma hierárquica, detalhando os níveis de decisão, gestão executiva e operacional.

Por outro lado, no ambiente externo, o foco está nas interações com entidades externas, como ministérios, entidades públicas e privadas, órgãos reguladores e fornecedores. Esses parceiros externos influenciam ou colaboram com a governança da organização, contribuindo para o cumprimento das políticas e processos.

Desse modo, o quadro organiza os papéis e responsabilidades conforme o modelo COBIT, oferecendo uma visão estruturada das partes interessadas e suas funções na governança de uma organização pública

5.4 Elementos de Integração GIS x BIM aplicada em infraestrutura

Após realizada a revisão sistemática integrativa foi possível identificar os elementos que compõem a estrutura da Integração GIS x BIM, que requer uma série de requisitos técnicos, metodológicos e organizacionais. Abaixo estão os principais aspectos necessários para alcançar uma integração eficaz:

I. Mapeamento de Dados: Um dos principais aspectos é o mapeamento de dados, que utiliza ferramentas avançadas de monitoramento e coleta de informações, como IoT, sensoriamento remoto, drones e Gêmeos Digitais, para criar um banco de dados preciso e atualizado. A coordenação espacial também é crucial, uma vez que GIS e BIM operam com sistemas de coordenadas distintos. O GIS usa coordenadas geográficas (latitude/longitude), enquanto o BIM trabalha com coordenadas locais ou relativas. A conversão entre esses sistemas e a adaptação das escalas de operação garantem o alinhamento espacial necessário para a gestão eficiente da faixa de domínio.

II. Modelos de Coordenação Espacial: Adoção de um sistema de coordenada pois o GIS usa sistemas de coordenadas geográficas (latitude/longitude), enquanto o BIM geralmente utiliza sistemas locais ou relativos. A conversão entre esses sistemas é crucial para alinhamento espacial. Além disso, BIM opera em escalas menores com alta precisão, enquanto o GIS lida com escalas territoriais maiores. A integração precisa considerar essas diferenças.

III. Interoperabilidade de Dados: É essencial que os formatos de dados sejam interoperáveis. Exemplos incluem: Em relação ao GIS Shapefile (.shp). O IFC é o padrão mais comum para interoperabilidade no BIM.

IV. Infraestrutura Tecnológica: utilização de software e plataformas compatível e que oferecem suporte integrado ou plug-ins para GIS e BIM, como ArcGIS, QGIS, Autodesk Revit, Bentley MicroStation, InfraWorks e ESRI ArcGIS. A uti

V. Ambientes Comuns de Dados: Infraestruturas baseadas em nuvem oferecem um ambiente centralizado para troca e armazenamento de dados, promovendo colaboração eficiente e acesso simultâneo a informações atualizadas em tempo real.

VI. Padronização: Padronização é um elemento essencial na integração, pois permite uma comunicação clara, eficiente e sem ambiguidades entre as diferentes partes envolvidas em um projeto. Para isso, é fundamental definir atributos claros e consistentes que sejam compreensíveis em ambos os contextos. Além disso, normas e ISOs, como a ISO 19650, são cruciais para uniformizar processos e assegurar a interoperabilidade em projetos integrados.

VII. Fluxo de Trabalho: ferramentas que utilizem pipelines automatizados para criar fluxos de trabalho dinâmicos são essenciais. Esses pipelines permitem a sincronização automática de dados geoespaciais e modelos do ambiente construído, garantindo atualizações em tempo real, redução de erros e maior eficiência nos processos colaborativos, de maneira transparente e organizada.

VIII. Colaboração e Capacitação: Profissionais de geoinformação e engenharia, gestores, além de outros trabalhadores, devem colaborar para alinhar expectativas, integrar fluxos de trabalho e padrões híbridos a partir das ferramentas que a integração permite, como a utilização de um espaço de dados comum. Deve haver a capacitação das equipes em tecnologias para que essas sejam aproveitadas da melhor forma.

IX. Modelo de Uso: O modelo de uso refere-se ao propósito ou aplicação para o qual o modelo de informação do ambiente construído é projetado e utilizado. Ele define os objetivos específicos de um projeto, como a simulação de desempenho (por exemplo, análise de rota de fuga), o planejamento de custos, a gestão de construção ou a operação e manutenção de uma infraestrutura. O modelo de uso

orienta a coleta de dados e as características que precisam ser representadas no modelo, assegurando que a informação seja adequada para o seu propósito final.

5.5 Elementos da Gestão da faixa de domínio

A gestão da faixa de domínio é fundamental para assegurar a utilização adequada das áreas adjacentes às rodovias federais, garantindo a segurança, integridade e eficiência das infraestruturas de transporte. Envolve uma série de processos legais, técnicos e administrativos, incluindo a regulamentação do uso do solo, fiscalização das ocupações, e o reconhecimento das áreas pertencentes à rodovia.

A efetiva gestão depende da colaboração entre órgãos competentes, como o DNIT, e a aplicação de normativas específicas que assegurem o cumprimento das leis e a correta utilização dessas áreas. Os elementos necessários para a gestão da faixa de domínio incluem:

- i. Normas e legislações: A legislação, como o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e a Resolução nº 7/2023, estabelece as condições para o uso da faixa de domínio, incluindo as exigências de Termo de Permissão Especial de Uso (TPEU) e normas de segurança e ambientais.
- ii. Uso e ocupação: A ocupação pode ser temporária ou permanente, sendo permitida para serviços públicos ou privados, como linhas de transmissão, estruturas publicitárias, e acessos comerciais, desde que regulamentada pelo DNIT. O Art. 4º da Resolução nº 7 estabelece que qualquer ocupação da faixa de domínio, independentemente de sua finalidade e com ou sem ônus, deve contar com o Termo de Permissão Especial de Uso (TPEU) correspondente.
- iii. Fiscalização: A fiscalização é regida pela Resolução nº 7/2023, garantindo a segurança e prevenindo invasões, com penalidades para ocupações irregulares.
- iv. Reconhecimento de faixa: O processo de reconhecimento e delimitação da faixa de domínio envolve a identificação física e legal das áreas, utilizando tecnologias de geoprocessamento e sistemas de informação, como o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), para facilitar a gestão e minimizar conflitos.

5.6 Integração GIS x BIM na gestão de faixas de domínio

A integração GIS x BIM pode contribuir para a gestão da faixa de domínio, pois é capaz de uma abordagem mais eficiente e precisa no mapeamento, monitoramento e gerenciamento das áreas adjacentes às rodovias federais. A utilização de ferramentas de geoprocessamento para a coleta de dados e a modelagem 3D permite uma visualização detalhada da faixa de domínio, facilitando o reconhecimento e a delimitação das áreas de interesse.

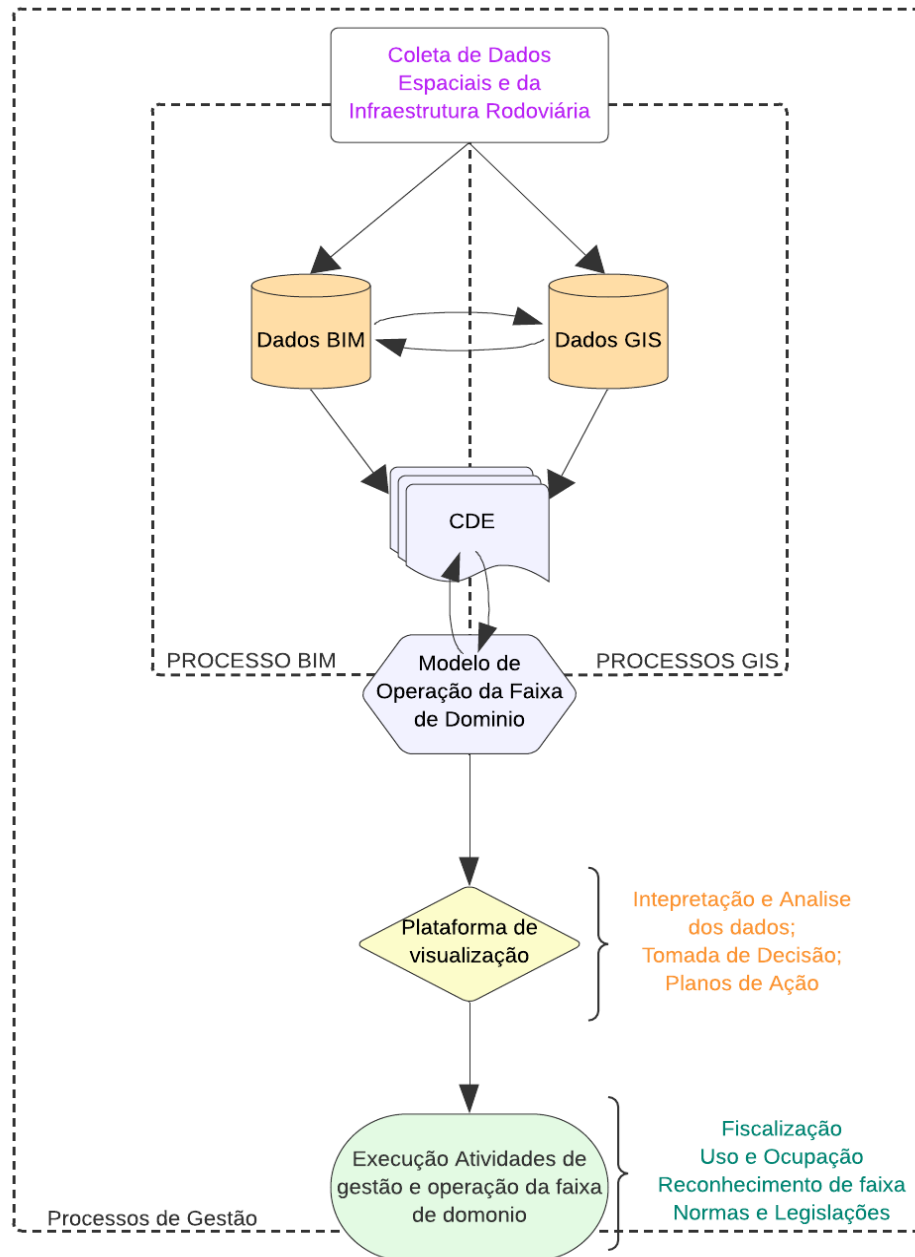
Além disso, a interoperabilidade entre GIS e BIM assegura que as informações sobre a ocupação e uso da faixa de domínio sejam integradas e acessíveis em tempo real, promovendo uma gestão mais dinâmica e colaborativa.

A integração também pode facilitar as atividades de fiscalização e o controle das ocupações, garantindo que todas as intervenções na faixa de domínio sejam devidamente regulamentadas e documentadas, em conformidade com as normas e legislações vigentes.

Pode-se dizer, que a aplicação dessa integração contribui significativamente para a segurança, a eficiência operacional e a redução de conflitos na gestão das faixas de domínio das rodovias federais.

A seguir é apresentado um fluxograma de uma possível aplicação da integração GIS x BIM no fluxo de trabalho da gestão das faixas (Figura 33).

Figura 33 - Fluxo operacional integração GIS x BIM nas atividades relacionadas a faixa de dominio



Fonte: Autora (2024).

O fluxo do processo da integração inicia-se com a coleta de dados espaciais e da infraestrutura rodoviária. Estes dados podem ser organizados em duas bases uma de BIM outra de GIS. Essas bases podem interagir de forma bidirecional permitindo a troca de informações entre elas.

Os dados BIM e GIS após processados convergem para um CDE, um ambiente comum de dados centralizando as informações da integração. A partir deste CDE, é produzido um modelo de uso, direcionado a um objetivo. Neste caso, é constituído um

modelo para operação da faixa de domínio, que reúne as informações necessárias para a sua gestão.

Esse modelo, então, é disponibilizado em uma plataforma de visualização cujo objetivo é interpretação e análise dos dados integrados. Estas informações auxiliam a tomada de decisões e a elaboração de planos de ação que podem ser aplicadas nas atividades de gestão e operação da faixa de domínio, tornando-a mais organizada, controlada e transparente.

5.7 Requisitos para Integração GIS x BIM

Em sua face superior, o cubo COBIT 2019, apresenta os Requisitos de Negócios. Estes elementos ajudarão na identificação dos elementos necessários para compor o modelo proposto. O Quadro 11 apresentado a seguir indica os requisitos teóricos juntamente com suas características e os requisitos para a implementação da integração GIS x BIM.

Quadro 11: Requisitos de negócio x Requisitos Integração GIS x BIM

Requisitos	Características dos Requisitos	Equivalente na Integração GIS x BIM
Efetividade	Informações relevantes e pertinentes para o processo de negócio, entregues de forma oportuna, correta, consistente e utilizável	Mapeamento de Dados
Eficiência	Entrega de informações com o uso otimizado de recursos, de maneira produtiva e econômica	Fluxo de Trabalho Infraestrutura Tecnológica
Confidencialidade	Proteção de informações sensíveis, prevenindo acessos ou divulgações não autorizadas	Interoperabilidade de Dados

Integridade	Garantia de que a informação é confiável, completa e válida para os propósitos do negócio	Padronização
Disponibilidade	Informações acessíveis e utilizáveis sempre que necessário, com salvaguarda dos recursos e capacidade adequadas	Ambientes Comuns de Dados Colaboração e Capacitação
Conformidade	Adesão a legislações, regulamentações e obrigações contratuais aplicáveis ao negócio	Padronização Modelo de Uso
Confiabilidade	Entrega de informações apropriadas para suportar a tomada de decisão	Modelos de Coordenação Espacial Interoperabilidade de Dados

Fonte: Autora (2024) adaptado de ISACA (2012).

Os elementos apresentados pela integração GIS-BIM são elementos técnicos e metodológicos que não se referem diretamente aos requisitos de negócio do COBIT 2019, entretanto, quando aplicados, podem alcançar os requisitos propostos pelo modelo conceitual.

5.8 Implementação da Integração GIS x BIM na Gestão e Operação de Faixas de Dominio

O modelo desenvolvido tem como objetivo aplicar a integração entre GIS x BIM nas atividades de gestão e operação das faixas de domínio federais. Essa integração busca a partir do modelo conceitual de governança de TI e o estabelecimento de requisitos da integração GIS x BIM, implantação de iniciativas e processos da organização.

O Quadro 12 a seguir apresenta a descrição dos elementos identificados para propor o modelo, aplicável a gestão e operação de faixas de domínio.

Quadro 12: Elementos do modelo de governança aplicado a gestão e operação de faixa de domínio.

Processos Da Organização	Domínios (Internos e Externos)
	Fatores de Projeto
	Atividades de Gestão e Operação da Faixa de domínio
Implantação das Inciativas	Reconhecimento e Concordância
	Definição do Escopo
	Estabelecimento de Metas
	Planejamento de Soluções
	Implementação
	Operação Sustentável e Monitoramento
	Revisão do Sucesso
Requisitos da Integração	Mapeamento de Dados
	Fluxo de Trabalho
	Infraestrutura Tecnológica
	Interoperabilidade de Dados
	Padronização
	Ambientes Comuns de Dados
	Colaboração e Capacitação
	Modelo de Uso
	Modelos de Coordenação Espacial

Fonte: Autora (2024).

Os elementos do modelo de governança aplicados à gestão e operação de faixa de domínio são organizados em três categorias principais: Processos da Organização, Implantação das Iniciativas e Requisitos da Integração.

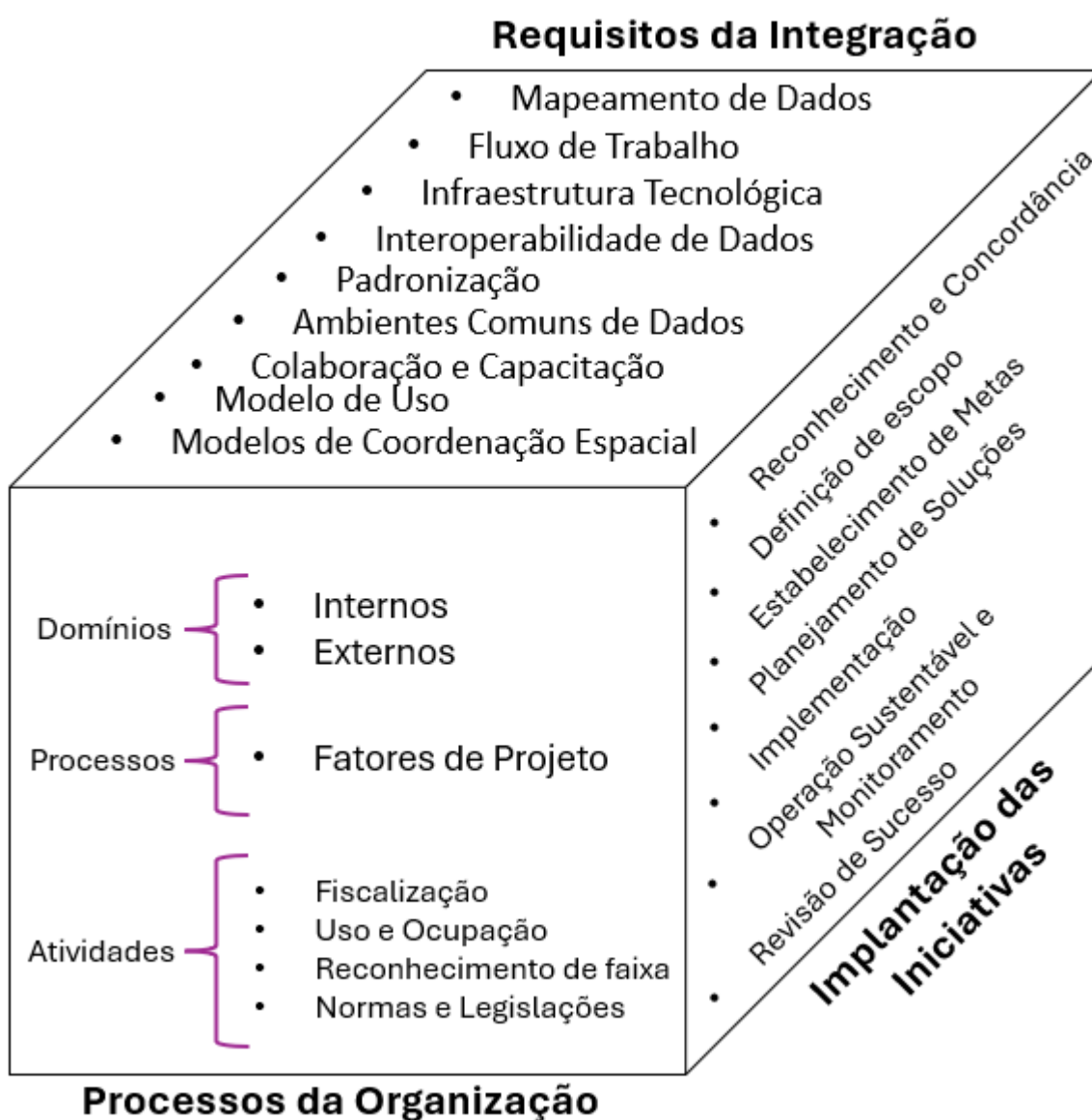
No que se refere aos Processos da Organização, são destacados os domínios internos e externos, os fatores de projeto e as atividades de gestão e operação relacionadas à faixa de domínio. Em Implantação das Iniciativas, o foco está nas etapas necessárias para a execução de projetos, como reconhecimento e concordância, definição de escopo, estabelecimento de metas, planejamento de soluções, implementação, monitoramento sustentável e revisão do sucesso. Já em Requisitos da Integração, são abordadas as necessidades técnicas e operacionais,

como mapeamento de dados, infraestrutura tecnológica, padronização, colaboração, capacitação e modelos de coordenação espacial.

Esses elementos estruturam o modelo de governança, destacando processos, etapas de implementação e requisitos de integração necessários para a gestão eficiente da faixa de domínio.

A seguir é apresentado o *Framework* com seus elementos estabelecidos (Figura 34):

Figura 34- *Framework* para implementação da integração GIS x BIM na gestão e operação de faixas de domínio federais



Fonte: Autora (2024).

O framework para a implementação da integração entre GIS-BIM na gestão e operação das faixas de domínio em rodovias federais é dividido em três faces: Requisitos da Integração, Domínios, Processos e Atividades e Implantação das Iniciativas. Os Requisitos da Integração incluem elementos como mapeamento de dados, infraestrutura tecnológica, interoperabilidade e colaboração, que são necessários para a integração dos sistemas.

A face de Processos da Organização apresenta os domínios internos e externos, além de processos relacionados a fatores de projeto e atividades, como fiscalização, uso e ocupação, reconhecimento de faixa e normas e legislações. A Implantação das Iniciativas descreve etapas, desde o reconhecimento de necessidades até a operacionalização das soluções, abordando a revisão de processos e a mensuração dos resultados. O modelo organiza as etapas e os elementos envolvidos na gestão das faixas de domínio, facilitando a integração entre GIS-BIM.

5.9 Fechamento de capítulo

Neste capítulo, foram discutidos e apresentados os resultados encontrados a partir das etapas metodológicas previamente estabelecidas. Primeiramente foram apresentados os elementos estruturais como fatores de projetos e grupos de interesse que compõem a organização na qual será implementada a ferramenta de governança, neste caso o DNIT. Em sequência, descreveu-se os elementos que compõem a integração GIS x BIM e sua interação com a gestão e operação de faixa de domínio, também desenvolvido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Introdução ao capítulo

O presente capítulo apresenta as considerações finais e conclusões acerca do desenvolvimento desta pesquisa. Serão discutidos os resultados, verificação do cumprimento dos objetivos propostos, considerações a respeito da pesquisa sistemática integrativa e a concepção do framework de integração das tecnologias GIS e BIM nas atividades de gestão e operação das faixas de domínio.

6.2 Considerações sobre os objetivo

O desenvolvimento deste trabalho foi guiado pela pergunta de pesquisa: **Como a integração das tecnologias GIS e BIM pode melhorar a gestão e operação da faixa de domínio nas rodovias?”**.

A partir da elaboração do referencial teórico foi possível identificar os conceitos que definem o BIM e GIS em suas aplicações comuns, as principais as atividades de gestão e operação da faixa de domínio das rodovias federais sob responsabilidade do DNIT. A revisão sistemática integrativa permitiu a investigação das potencialidades e atuais práticas da integração GIS e BIM aplicadas em infraestruturas de transporte rodoviária.

Com o levantamento destes dados e informações foi possível constatar a aplicação conjunta de BIM e GIS possibilita superar as limitações das abordagens tradicionais. Enquanto o BIM se destaca na modelagem detalhada de elementos construtivos e no planejamento em nível micro, o GIS oferece uma visão abrangente e geoespacial em nível macro, essencial para projetos de infraestruturas, como a gestão de rodovias.

A integração dessas tecnologias permite um gerenciamento mais eficiente das faixas de domínio, oferecendo ferramentas para a fiscalização mais precisa, planejamento de intervenções estratégicas e otimização de recursos; visualização e acesso de dados em ambiente unifica; processos de trabalhos mais dinâmicos, colaborativos e transparentes; mapeamento e padronização de informação; e a elaboração de modelos de uso e operação a partir da interoperabilidade dos dados.

Essa características e capacidades permitem, por exemplo, a visualização de dados detalhados georreferenciados em modelos integrados, reduzindo

inconsistências, e assim, facilitando a tomada de decisão e promovendo maior segurança e eficiência operacional. Além disso, quando empregadas a outras tecnologias como a IoT possibilita outras formas de abordagem de monitoramento, permitindo que essa atividade seja realizada em tempo real.

Entretanto, foi possível observar uma lacuna significativa na compatibilidade técnica entre os padrões BIM e GIS, bem como o estabelecimento de fluxos de trabalho automatizados e infraestrutura tecnológica capaz de suportar o volume de dados e produções. Essa barreira tecnológica, ainda presente em diversos projetos, aponta para a necessidade de inovação e desenvolvimento de ferramentas que facilitem a interoperabilidade e o fluxo de dados entre as plataformas.

Outro ponto importante a respeito a se destacar é capacitação das equipes que participam do fluxo de trabalho que podem envolver diferentes tipos de profissionais, como engenheiros, arquitetos e geólogos, por exemplo. Esses agentes quando não capacitados ou familiarizados com as ferramentas podem interferir no fluxo de trabalho e na eficiência dos resultados da integração.

A revisão da literatura também evidenciou um crescente interesse pela integração de BIM e GIS, com avanços sendo reportados em estudos recentes em países estrangeiros. Contudo, ainda é importante a validações práticas em mais casos reais e aplicados em solo nacional.

Neste sentido, a elaboração de um modelo conceitual que reúne os principais requisitos para a implementação da integração BIM-GIS nas atividades de gestão e operação das faixas de domínio das rodovias federais podem contribuir para o cenários futuros da implantação da integração no modo rodoviário.

O modelo elaborado aborda questões críticas como a interoperabilidade entre padrões de dados, a necessidade de padronização e a governança eficiente. Alinhado às diretrizes do COBIT, que comprovou a sua versatilidade para além da sua interação com governança de TI. O modelo conceitual proposto contém uma estrutura prática para a adoção dessa integração, apontando caminhos para a modernização da gestão rodoviária e a superação de desafios do setor.

Pode se concluir, dessa maneira a integração BIM x GIS pode oferecer benefícios para o gerenciamento de infraestruturas rodoviárias, promovendo maior eficiência, redução de custos e transparência nos processos. Este trabalho reforça a

importância de incentivar a adoção dessas tecnologias no Brasil, alinhando-se às diretrizes da Estratégia BIM BR e às demandas de modernização do setor público e privado.

6.3 Sobre os objetivos

Os objetivos específicos propostos foram analisados para garantir que tenham sido alcançados. A seguir serão apresentadas algumas considerações:

a) Analisar o estado da arte da integração BIM X GIS no cenário da infraestrutura rodoviária: O objetivo proposto foi alcançado por meio de uma pesquisa sistemática integrativa. Essa abordagem permitiu a análise de artigos científicos publicados nos últimos seis anos, coletados em diversos bancos de dados. O portfólio selecionado possibilitou identificar diferentes práticas, benefícios e desafios associados à integração de BIM e GIS no contexto de infraestrutura rodoviária, abrangendo desde as fases de viabilidade de projeto até a atividade de gestão e operação da infraestrutura. Os resultados obtidos permitiram uma visão abrangente sobre o estado da arte dessa integração, contribuindo para o entendimento de suas aplicações e implicações no setor.

b) Identificar elementos da gestão e da operação de faixas de domínio federais no Brasil: Por meio da pesquisa bibliográfica em sites governamentais e de trabalhos acadêmicos, aliadas a normativas e leis sobre o uso e gestão das faixas, foi possível identificar as principais elementos que compreendem as atividades de gestão e operação das faixas de domínio sobre tutela do DNIT. Entre as principais atividades, estão fiscalização e monitoramento, reconhecimento de seus limites, gerenciamento do uso e ocupação do solo e atendimento das normativas estabelecidas.

c) Identificar os principais elementos para compor uma proposta de modelo conceitual que integre GIS, BIM, a gestão e a operação rodoviária: A partir da realização dos objetivos anteriores, alinhadas aos atributos e diretrizes estabelecidas pelo modelo de governança de TI, foi possível agrupar e sintetizar os elementos técnicos e gerenciais necessários para desenvolver um framework. Foram identificadas e associados os fatores de projetos, requisitos de negócios, grupos de interesse, implementação de iniciativas e os processos organizacionais.

d) Propor um modelo conceitual (*framework*) para implementação de práticas da Integração GIS x BIM para gestão e operação de faixas de domínio:

Por fim, com base nos requisitos identificados foi elaborado o cubo COBIT. O *framework* que integra as tecnologias para melhorar a gestão e operação das faixas de domínio, alinhado a normas e práticas de governança como o COBIT.

6.4 Conclusões gerais

Este trabalho abordou a integração entre as tecnologias BIM e GIS na gestão e operação das faixas de domínio, no contexto da infraestrutura rodoviária. A pesquisa destacou como essas tecnologias, quando combinadas, podem superar limitações tradicionais na gestão de infraestrutura, promovendo maior eficiência, precisão e transparência nos processos.

Por meio de uma revisão sistemática integrativa, foi possível analisar o estado da arte sobre a temática, identificando as ações em prática e os estudos teóricos acerca do tema, bem como os benefícios e desafios relacionados à aplicação integrada de BIM e GIS. Além disso, a investigação permitiu mapear os principais elementos e requisitos para o desenvolvimento de um modelo conceitual de integração, levando em consideração tanto os aspectos técnicos das ferramentas quanto as atividades relacionadas à gestão e operação das faixas.

O modelo conceitual proposto alinha-se às diretrizes do COBIT e destaca os requisitos que relacionam a utilização da integração com a gestão e operação das faixas de domínio das rodovias federais.

Ademais, o estudo contribui para a compreensão e relevância da modernização tecnológica no setor rodoviário, reconhecendo que o uso integrado de BIM e GIS pode ser uma prática importante, com potencial de aplicação ao longo do ciclo de vida das infraestruturas de transporte, contribuindo significativamente para o setor.

6.5 Sugestões para trabalhos futuros

Com base nos resultados e lacunas identificadas ao longo deste trabalho, são apresentadas as seguintes sugestões para estudos futuros, visando aprofundar e expandir o conhecimento sobre a integração BIM-GIS no contexto da gestão de infraestruturas rodoviárias:

- I. **Validação prática do modelo proposto:** Realizar estudos de caso aplicados à gestão de faixas de domínio em diferentes regiões brasileiras, a fim de verificar a eficiência do framework sugerido.
- II. **Avaliação da aplicabilidade em escala nacional:** Examinar a viabilidade de implementar a integração BIM-GIS em projetos rodoviários de abrangência nacional, alinhando-se às diretrizes da Estratégia BIM BR e considerando as especificidades regionais, além de analisar os possíveis impactos gerados.
- III. **Implementação do modelo na ANTT:** Avaliar a integração do modelo conceitual BIM-GIS nas operações e sistemas da ANTT, com foco em aprimorar o monitoramento, a fiscalização e a gestão dos contratos de concessão rodoviária. Esse estudo pode explorar como o uso da integração BIM-GIS contribui para a tomada de decisões estratégicas, maior transparência e eficiência nos processos regulatórios.
- IV. **Análise da possibilidade de aplicação da integração em outras infraestruturas lineares:** Ampliar o escopo da pesquisa para incluir aplicações em outras infraestruturas lineares, como ferrovias, redes de saneamento e oleodutos, com o objetivo de compreender os benefícios, capacidades e limitações da integração BIM-GIS em diferentes contextos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Processo de projeto BIM: Coletânea Guias BIM**. Brasília: ABDI, 2017. Disponível em: https://plataformabimbr.abdi.com.br/guias-normas/GUIA_BIM_06.pdf.

AHMED, Shakil. **Barriers to implementation of building information modeling (BIM) to the construction industry: a review**. *Journal of civil engineering and construction*, v. 7, n. 2, p. 107-113, 2018.

AKOBENG, A. K. **Understanding systematic reviews and meta-analysis**. *Archives of Disease in Childhood*, v. 90, p. 845–848, 2005.

ALMEIDA, F.; ANDRADE, M. **A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana**. In: *Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 7.*, 2015, Recife. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2015.

ALURA. **COBIT 2019: Compreendendo princípios e estrutura**. 2024. Disponível em: <https://www.alura.com.br/conteudo/cobit-2019-compreendendo-principios-estrutura>.

ANDRADE, M. L. V. X. DE; RUSCHEL, R. C. **Building Information Modelign (BIM)**. In: D. C. C. K. Kowaltowski; D. de C. Moreira; J. R. D. Petreche; M. M. Fabrício (Orgs.); *O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia*, 2011. São Paulo: Oficina de Texto.

ANDREWS, C. **GIS and BIM Integration Leads to Smart Communities**. *Focus*, [s. l.], p.16-19, 2018. Disponível em: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/gis-and-bim-integration-leads-to-smart-communities/>.

ARNAL, I. P. **Why don't we start at the beginning?** *BIM Community*, 2018. Disponível em: <https://www.bimcommunity.com/news/load/490/why-don-t-we-start-at-the-beginning>.

BARAZZETTI, L.; PREVITALI, M.; SCAIONI, M. **Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR**. *Infrastructures*, v. 5, n. 7, jul. 2020.

BARRETO, Roberto Carlos Pessanha; RIBEIRO, Antônio José Marinho. **Logística no Brasil: uma análise do panorama dos modais rodoviários e ferroviários no cenário nacional demonstrando as vantagens e desvantagens das referidas modalidades.** v. 5, n. 3, 2020.

BARROS, Matheus Lima de. **Integração do BIM Geotécnico e GIS para avaliação de áreas de recarga de aquíferos no contexto de cidades inteligentes.** 2023. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

BERLO, L. V.; LAAT, R. D. **Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension.** In: KOLBE, T. H.; KÖNIG, G.; et al. (Ed.). *Advances in 3D Geo-Information Sciences.* Springer Berlin Heidelberg, 2011.

BibLus. **IFC 4.3: o novo padrão IFC para obras de infraestruturas.** 2022. Disponível em: <https://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-4-3-o-novo-padrao-ifc-para-obras-de-infraestruturas/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C.; MACEDO, M. O. **O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais.** *Gestão e Sociedade*, Belo Horizonte, v. 5, n. 11, p. 121–136, maio/ago. 2011.

BRASIL. Decreto n. 8.376, de 15 de dezembro de 2014. **Transfere para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT a administração patrimonial dos imóveis da União.**

BRASIL. **Decreto n. 8.376, de 15 de dezembro de 2014.** Transfere para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT a administração patrimonial dos imóveis da União.

BRASIL. Lei Federal nº 10.233 de 5 de junho de 2001. **Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, e dá outras providências.** Brasília: Diário Oficial da União, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10233.htm.

BRASIL. Lei n. 10.233, de 5 de junho de 2001. **Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.**

BRASIL. Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro.** *Lex: Coletânea de Legislação e Jurisprudência*, Brasília.

CÂMARA, Gilberto; QUEIROZ, Gilberto Ribeiro de. *Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica*. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu;

CARDOSO, Gilmar. **Utilização de um sistema de informações geográficas visando o gerenciamento da segurança viária no município de São José - SC.** 1999. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

CBIC, C. **Fundamentos BIM-Volume 1-Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras (Vol. I).** Brasília, DF: CBIC, 2016.

CEPA, J. et al. **Towards BIM-GIS Integration for Road Intelligent Management System.** *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 29, n. 7, p. 621–638, 2023.

CHEN, K. et al. **Automatic building information model reconstruction in high-density urban areas: Augmenting multi-source data with architectural knowledge.** *Automation in Construction*, v. 93, p. 22–34, set. 2018.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2023.** Brasília: CNT, SEST SENAT, ITL, 2023.

COLBERT, J.; BOWEN, P. A comparison of internal controls: COBIT, SAC, COSO and SAS 55/78. *IS Audit & Control Journal*, v. 4, p. 26-35, 1996

DANG, Ngoc Son; SHIM, Chang Su. **Bridge assessment for PSC girder bridge using digital twins model.** In: *CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure: Proceedings of the 5th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering Works and Structures*. Springer Singapore, 2020. p. 1241–1246.

DAVLETSHINA, D.; REJA, V. K.; BRILAKIS, I. **Automating construction of road digital twin geometry using context and location aware segmentation.** *Automation in Construction*, v. 168, p. 105795, 1 dez. 2024.

Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná – DER. Caderno BIM: Infraestrutura Rodoviária. Caderno de Especificações Técnicas Para Contratação de Projetos Em Bim. DER. Paraná, 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas.** Versão 11.1. Brasília: DNIT, ago. 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/download/rodovias/rodovias-federais/terminologias-rodoviaras/terminologias-rodoviaras-versao-11.1.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Núcleo BIM/DPP. **Caderno de requisitos técnicos BIM do DNIT.** Versão 1.2. Brasília: DNIT, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/mosaico-de-servicos/documentos-tecnicos-bim/CRTBIM_V012022.pdf. Acesso em: 29 nov. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **ProArt: conheça o programa.** Brasília: DNIT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/infraestrutura-rodoviaria/proarte/conheca-o-programa>. Acesso em: 29 nov. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Conceito BIM.** DNIT, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/o-que-e-o-bim>. Acesso em: ago. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Dispõe sobre o uso das faixas de domínio no DNIT.** Resolução n. 07/2021-DG/DNIT, Brasília – DF, 02 de março de 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Dispõe sobre o procedimento de Reconhecimento da Faixa de Domínio Existente no DNIT.** Instrução Normativa – IN. n. 75/DNIT SEDE, Brasília – DF, 30 de novembro de 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Dispõe sobre o procedimento de Reconhecimento da Faixa de Domínio Existente no DNIT.** Instrução Normativa – IN. n. 20/DNIT SEDE, Brasília – DF, 03 de junho de 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **Faixa de domínio: desenvolvimento, preservação e segurança nas rodovias brasileiras.** Brasília: DNIT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/portais-tematicos/br-319-am-ro/noticias/faixa-de-dominio-desenvolvimento-preservacao-e-seguranca-nas-rodovias-brasileiras>. Acesso em: 29 nov. 2024.

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

FITZ, P. R. **Cartografia básica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 143 p.

FOOTE, K. E.; LYNCH, M. **Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions.** The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder, 2018. Disponível em: <https://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/intro/intro.html>.

FRANZ, B.; MESSNER, J. **Evaluating the Impact of BIM on Project Performance.** *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 33, n. 3, p. 1–9, 2019.

FREITAS, Rubem Ribeiro de. **Seção transversal de rodovias vicinais, qualidade de viagens e comportamento de pavimentos.** 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GANONG, L. H. **Integrative reviews of nursing research.** *Research in Nursing & Health*, Hoboken, v. 10, n. 1, p. 1-11, mar. 1987.

GAO, Y. et al. **AIoT-informed digital twin communication for bridge maintenance.** *Automation in Construction*, v. 150, p. 104835, 1 jun. 2023.

GUERRA, Matheus Meireles; MARTINS, Ernane Rosa. ANÁLISE DA GESTÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO NA PREFEITURA MUNICIPAL DE LUZIÂNIA (PML).

HERLÉ, S.; BLANKENBACH, J. **Hypermedia-driven RESTful API for digital twins of the built environment.** *Automation in Construction*, v. 165, p. 105551, 1 set. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. **Introdução à ciência de geoinformação.** Disponível em: https://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1423/_introducao_a_ciencia_de_geoinformacao___inpe.pdf. Acesso em: 29 nov. 2024.

ISO 19650:2018: Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo gerenciamento de informações de modelagem de informações de construção (BIM) usando modelagem de informações de construção ISO (Organização Internacional para Padronização). 2018. Genebra, Suíça.

IT GOVERNANCE INSTITUTE. ITGI. **COBIT 4.1: Conceitos, Objetivos de Controle, Diretrizes de Gerenciamento, Modelos de Maturidade.** ISACA. 2007.

JESUS, Elaine Gomes Vieira de et al. Modelagem geométrica e semântica baseadas no padrão CityGML: uma aplicação SIG 3D para o Campus Universitário Federação Ondina da UFBA. 2024.

JIANG, F. et al. **Underpass clearance checking in highway widening projects using digital twins.** *Automation in Construction*, v. 141, p. 104406, 1 set. 2022.

JUSTO, A. et al. **Generating IFC-compliant models and structural graphs of truss bridges from dense point clouds.** *Automation in Construction*, v. 149, p. 104786, 1 maio 2023.

JUSTO, A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A.; RIVEIRO, B. **3D Point Cloud to BIM: Semi-Automated Framework to Define IFC Alignment Entities from MLS-Acquired LiDAR Data of Highway Roads.** *Remote Sensing*, v. 12, n. 14, jul. 2020.

KANG, Ji-Soo; CHUNG, Kyungyong; HONG, Ellen J. **Multimedia knowledge-based bridge health monitoring using digital twin.** *Multimedia Tools and Applications*, v. 80, n. 26, p. 34609-34624, 2021.

Kassem M, Kelly G, Dawood N, Serginson M and Lockley S (2015) BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. *Built Environment Project and Asset Management* 5(3):261–277, <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011>

LINDBLAD, H.; GUERRERO, J. R. **Client's role in promoting BIM implementation and innovation in construction.** *Construction Management and Economics*, v. 38, n. 5, p. 468-482, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2020.1716989>.

LOBO, E.; LOBO, M. E. **A adoção do Control Objectives for Information and related Technology–COBIT como ferramenta de governança e de compliance nas organizações públicas: uma proposta para os Institutos Federais de Educação Básica, Técnica e Tecnológica.** 2021.

LONGLEY, P.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science.** 2. ed. USA: Wiley, 2005. 259 p.

LV, H. et al. **Data Management Framework for Highways: An Unreal Engine-Based Digital Sandbox Platform.** *Buildings*, v. 14, n. 7, jul. 2024.

MAGALHÃES, Rachel Madeira; ZAPP, Luciana Ormond; SCHEER, Sergio. Avaliação da macro maturidade BIM no mercado brasileiro. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 20, p. 1-12, 2024.

MANZIONE, L. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM**. 2013. 311 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MELO, Francisca Ires Vieira de. **City information modeling como ferramenta na gestão urbana: aplicação da integração GIS-BIM**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. **Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem**. *Texto Contexto Enfermagem*, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758-764, out./dez. 2008.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS – MDIC. **Estratégia BIM BR**. Brasília: MDIC, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2024.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2004. p. 41-52.

MOREIRA, Marco Antônio Laurelli; FREITAS, Moacir de; TOLOI, Rodrigo Carl. **O transporte rodoviário no Brasil e suas deficiências**. REFAS: Revista FATEC Zona Sul. v. 4, n. 4, 2018.

NAKAMURA, M. M. N.; MUTTI, C. DO N.; REGINATO, V. S. C. **Soluções estruturais antissísmicas: estado da arte de técnicas desenvolvidas internacionalmente**. *Conjecturas*, v. 22, n. 13, p. 702–716, 2022.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA – ONTL. **Painel anuário estatístico de investimentos**. 2024. Disponível em:

<https://ontl.infrasa.gov.br/paineis-analiticos/painel-anuario-estatistico/investimentos/>.

Acesso em: 29 nov. 2024.

OKOLI, Chitu; SCHABRAM, Kira. **A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research**. *SSRN Electronic Journal*, [s. l.], 2010.

Disponível em: <http://www.ssrn.com/abstract=1954824>. Acesso em: 1 ago. 2023.

OLIVEIRA, Rogério Lopes. **Modelos Digitais de Ponte Ferroviárias: Tecnologias de Reality Capture e Modelação BIM**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2022

PARSONS, R. L.; FROST, J. D. **Interactive analysis of spatial subsurface data using GIS-based tool**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 14, p. 215–222, 2000.

PAVARD, A.; DONY, A.; BORDIN, P. **Road Modelling for Infrastructure Management - The Efficient Use of Geographic Information Systems**. *Journal of Information Technology in Construction*, v. 28, p. 438–457, 2023.

PETTI, L.; LUPO, C.; DE GAETANO, C. **A Methodological Framework for Bridge Surveillance**. *Applied Sciences - Basel*, v. 13, n. 8, abr. 2023.

Pina, M. **Potencialidades dos sistemas de informações geográficas na saúde**. In A. L. Najjar & E. C. Marques (Orgs.), *Os sistemas de informações geográficas: conceitos e aplicações* (pp. 125-144), 1998. Editora: Fiocruz.

PINI. **Pesquisa Mostra que Mais de 90% dos Arquitetos e Engenheiros Pretendem Utilizar o BIM em Até Cinco Anos** 2013. Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/carreira-exercicio-profissional-entidades/pesquisa-mostra-que-mais-de-90-dos-arquitetos-e-engenheiros-291885-1.aspx>

ROCHA, César Henrique Barra. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. 3. ed. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2007.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. *Revista do Departamento de Geografia*, Uberlândia - MG, ano 2005, n. 16, p. 81–90, 2 out. 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 16 out. 2021.

RUIZ-PADILLO, Alejandro; WASQUEVITI, Rafael Cezar; DUTRA, Thais Roos; CERVO, Tatiana Cureau. **Projeto geométrico de rodovias**. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2023. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/266/2023/10/Livro-completo-PROJETO-GEOMETRICO-DE-RODOVIAS-e-book.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2024.

SHAMRAEVA, V.; SAVINOV, E. **Infra-BIM for Business Processes' Management in Road Construction and Operation**. *Architecture and Engineering*, v. 6, n. 3, p. 19–28, 2021.

SHIM, C. S.; KANG, H. R.; DANG, N. S. **Digital Twin Models for Maintenance of Cable-Supported Bridges**. In: *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC) Driving Data-Informed Decision-Making*. ICE Publishing, 2019. p. 737–742.

SHRESTHA, K.; SHRESTHA, P. **A GIS-Enabled Cost Estimation Tool for Road Upgrade and Maintenance to Assist Road Asset Management Systems**. In: *Proceedings of the ASCE Conference on Construction Research Congress*, Reston, VA, USA, 19–21 maio 2014. p. 1239–1248.

SILVA, Ardemirio de Barros. **Sistemas de Informações GeoReferenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

SOARES, J. **A Metodologia BIM-FM Aplicada a um Caso Prático**. 2013. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013.

SOULE, Pedro Verissimo; BUENO, Cristiane. **Integração de ferramentas BIM e SIG para gestão e manutenção de infraestrutura urbana**. *Engenharia Urbana em Debate*, v. 2, n. 1, p. 24-35, 2021.

STEPIEN, M. et al. **An Approach for Cross-Data Querying and Spatial Reasoning of Tunnel Alignments.** *Advanced Engineering Informatics*, v. 54, p. 101728, 1 out. 2022.

STOLF, G. G. **Mapeamento de Rede de Infraestrutura Urbana: Estudo de Caso - Atualização do Mapeamento da Rede Lógica da Universidade Federal de Santa Catarina.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. 72 p.

TRISYANTI, S.W.; SUWARDHI, D.; MURTIYOSO, A.; GRUSSENMEYER, P. Low-cost web-application for management of 3D digital building and complex based on BIM and GIS. In: INTERNATIONAL WORKSHOP LOWCOST 3D – SENSORS, ALGORITHMS, APPLICATIONS, 6., 2019, Strasbourg. Proceedings [...]. Hannover: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. p. 371-375.

WANG, Hao; PAN, Yisha; LUO, Xiaochun. **Integration of BIM and GIS in Sustainable Built Environment: A Review and Bibliometric Analysis.** *Automation in Construction*, v. 103, p. 41–52, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.005>.

WHITMORE, D. et al. Digital twins in the asset life cycle: are we there yet? **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law**, 30 jul. 2024.

WINFIELD, May. Construction 4.0 and ISO 19650: A panacea for the digital revolution? **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management, Procurement and Law**, v. 173, n. 4, p. 175-181, 2020.

ZHANG, P. et al. **Research on Intelligent Platform Construction and Pavement Management of Expressway Operation and Maintenance Based on BIM+GIS Technology.** *Journal of Cases on Information Technology*, v. 26, n. 1, 2024.

ZHAO, L.; LIU, Z.; MBACHU, J. **Highway Alignment Optimization: An Integrated BIM and GIS Approach.** *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 4, abr. 2019.

ZHAR, S. **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry.** *Leadership and Management in Engineering*, p. 241–252, jul. 2011.

ZHOU, D. et al. **Innovative BIM Technology Application in the Construction Management of Highway.** *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, 3 jul. 2024.

ZNOBISHCHEV, S.; SHAMRAEVA, V. **Practical Use of BIM Modeling for Road Infrastructure Facilities.** *Architecture and Engineering*, v. 4, n. 3, p. 49–54, 2019.