



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INTEGRAÇÃO ACADÊMICA E TECNOLOGIA - DIATEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCIANO HAMED CHAVES HAIDAR SOUSA

**AVALIAÇÃO DO BIM E DA PROGRAMAÇÃO VISUAL NO CICLO DE VIDA DE
UM PAVIMENTO INTERTRAVADO**

FORTALEZA
2021

LUCIANO HAMED CHAVES HAIDAR SOUSA

AVALIAÇÃO DO BIM E DA PROGRAMAÇÃO VISUAL NO CICLO DE VIDA DE UM
PAVIMENTO INTERTRAVADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Cely Martins Santos de Alencar

FORTALEZA
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S697a Sousa, Luciano Hamed Chaves Haidar.
Avaliação do BIM e da programação visual no ciclo de vida de um pavimento intertravado / Luciano Hamed Chaves Haidar Sousa. – 2021.
75 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar.
1. BIM. 2. Infraestrutura. 3. Programação visual. 4. Dynamo. 5. Ciclo de vida. I. Título.

CDD 620

LUCIANO HAMED CHAVES HAIDAR SOUSA

AVALIAÇÃO DO BIM E DA PROGRAMAÇÃO VISUAL NO CICLO DE VIDA DE UM
PAVIMENTO INTERTRAVADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Cely Martins Santos de Alencar

Aprovada em: 06 / 04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Eng. Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Esp. Valter Monteiro Brito
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

Aos meu pais, Ana e Antônio

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha existência e pela chance de ter chegado até aqui.

Agradeço aos meus pais Ana Lúcia e Antônio Alves, por terem sido o meu alicerce, me incentivado, me estimulado e me mostrado que a vida é cheia de possibilidades e que poderia chegar onde eu quisesse.

Agradeço a minhas irmãs, Andressa, Andreia e Pollyanna, pela paciência e por terem me apoiado durante todo esse tempo.

Ao Professor Antônio Paulo por ter acreditado em mim desde o primeiro ano, e graças a isso foram possíveis tantas realizações durante a minha trajetória no curso.

A professora Cely Martins, que também acreditou em mim desde o início da minha trajetória no curso, por ter aceitado o desafio de me orientar e por toda a atenção e disponibilidade.

A minha parceira Sabrina Rodrigues (Bina), que nos últimos anos se tornou essencial para minha chegada até aqui, me fez encontrar minha melhor versão, inclusive me acompanhando nos estudos, nas pesquisas relacionadas a BIM, na extensão e na vida, deixando tudo bem mais divertido e proveitoso.

Aos meus amigos Camily e Evanilson que tornaram os últimos semestres mais agradáveis e descontraídos.

A professora Verônica que no último ano me acompanhou com paciência e disposição no desenvolvimento dessa pesquisa, me mostrando como conectar os pontos de forma lógica e que é possível ter um aprendizado de forma mais leve.

Aos membros da banca deste trabalho, por terem aceitado o convite e se disponibilizarem para contribuir com o crescimento desta pesquisa.

A todos os profissionais e professores que contribuíram para o meu aprendizado durante esse ciclo, cada um teve um papel muito importante na minha formação.

Ao Departamento de Integração Acadêmica e Tecnológica – DIATEC que desde seu surgimento no Centro de Tecnologia, me deu suporte no desenvolvimento de diversas ações na universidade, ao qual o EPE - Escritório de Projetos Integrados de Engenharia faz parte, do qual me orgulho de ter feito parte da sua criação.

A UFC que me acolheu e me permitiu desenvolver uma série de atividades que tiveram bastante relevância na minha formação pessoal e profissional.

“Uma mente que se abre a uma nova ideia, jamais retorna ao tamanho original.”

Albert Einstein.

RESUMO

No contexto de obras brasileiras de infraestrutura, diversos problemas são enfrentados pela sociedade, pode-se citar como características marcantes desse tipo de obra, execuções demoradas e custos elevados. Uma das formas de otimizar o controle e a previsibilidade das obras de infraestrutura é com a adoção do BIM-Building Information Modelling, uma vez que possui grande potencial de aumento de eficiência nas diversas etapas do ciclo de vida. Aliada ao BIM, é notório como as automações ganham cada vez mais espaço no setor da engenharia, principalmente quando se trata de trabalhos repetitivos. Dessa maneira, este trabalho objetiva avaliar o uso do BIM e da programação visual no ciclo de vida de um pavimento intertravado. Com isso, foi implementado um fluxo de trabalho com o uso de rotinas para auxiliar na automação do processo de projeto, com destaque para o dimensionamento automático de pavimento intertravado. Para validação das rotinas desenvolvidas, foi utilizado o projeto de uma via em pavimento intertravado do complexo funerário de Aquiraz-CE. Além disso, com as informações geradas pelo modelo BIM focado na pavimentação, foram elencados seus usos no decorrer das etapas de projeto, construção e operação do ciclo de vida. Diante do exposto, foi possível avaliar que a pesquisa apresenta viabilidade nas aplicações para a automação de projetos de infraestrutura, com o uso do Autodesk Civil 3D e o Autodesk *Dynamo*, abrindo caminhos para novas possibilidades no para o uso do BIM e programação visual no setor de infraestrutura.

Palavras-chave: Bim, Infraestrutura, Programação Visual, Dynamo, Ciclo de Vida.

ABSTRACT

In the context of Brazilian infrastructure works, several problems are faced by society, may be cited as striking characteristics of this type of constructions, time-consuming executions and high costs. One of the ways to optimize the control and predictability of infrastructure works is the adoption of BIM-Building Information Modelling technology, since it has great potential to increase efficiency in various stages of the life cycle. Coupled with this technology, it is notorious how automation gains more and more space in the engineering sector, especially when it comes to repetitive work. Thus, this work aims to evaluate the use of BIM and visual programming in the life cycle of an interlocked pavement. Thus, a workflow was implemented using routines to assist in the automation of the design process, highlighting the automatic dimensioning of interlocked pavement. To validate the routines developed, the project of an interlocked paved road of the Aquiraz-CE funerary complex was used. In addition, with the information generated by the BIM model focused on paving, its uses were listed during the stages of design, construction and operation of the life cycle. In view of the above, it was possible to evaluate that the research presents feasibility in the applications for the automation of infrastructure projects, with the use of Autodesk Civil 3D and Autodesk Dynamo, opening up new possibilities for the use of BIM and visual programming in the Infrastructure sector.

Keywords: BIM, Infrastructure, Visual Programming, Dynamo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção transversal típica de pavimentação.....	16
Figura 2 - Ciclo de vida de um empreendimento	17
Figura 3: Estrutura do trabalho	20
Figura 4 – Classificação da pesquisa	22
Figura 5 – Localização do objeto de estudo	23
Figura 6 – Demonstração de LOD e <i>softwares</i> adequados em projetos de infraestrutura.....	28
Figura 7 – Usos do BIM	30
Figura 8 - Objetivos primários e secundários do BIM	30
Figura 9 – As dimensões do BIM	34
Figura 10 – Comunicação entre o modelo e várias extensões de arquivos	35
Figura 11 - Valor agregado e custo de mudanças em cada etapa do ciclo de vida	38
Figura 12 - Levantamento de Trecho de Rodovia feita com Drones.....	39
Figura 13 - Levantamento tradicional x levantamento BIM	39
Figura 14 - Levantamento Laser da condição existente da rodovia	40
Figura 15 – Planejamento Estratégia BIM BR.....	41
Figura 16 - Código de programação textual	42
Figura 17 - Código de programação visual	43
Figura 18 - Exemplo de rotina Autodesk <i>Dynamo</i>	43
Figura 19 – Anatomia de um nó	44
Figura 20 – Estado de execução	44
Figura 21 – Mensagem de erro Dynamo	45
Figura 22 - Fluxo de dados Autodesk Dynamo	45
Figura 23 - Interface do Autodesk Civil 3D	47
Figura 24 – Fluxo de trabalho sem automação.....	48
Figura 25 - Montagem selecionada para estudo.	48
Figura 26 - Propriedades da montagem selecionado para estudo.....	49
Figura 27 - Fluxo de trabalho com o uso das rotinas.....	50
Figura 28 - Criação de alinhamento por meio de polilinha:	50
Figura 29 - Criação de vista de perfil	51
Figura 30 - Exportação de quantitativos de pavimento	52
Figura 31 - Trecho da rotina de dimensionamento para preenchimento de parâmetros.....	52
Figura 32 -Visão geral da rotina de dimensionamento de pavimento	53

Figura 33 - Implantação de complexo funerário	54
Figura 34 - Implantação de complexo funerário	55
Figura 35 - Perfil longitudinal da via estudada.....	56
Figura 36 - Seção tipo da via projetada	56
Figura 37 - Propriedades de montagem.....	57
Figura 38 – Resultados do dimensionamento do pavimento.....	58
Figura 39 – Propriedades da montagem dimensionado.....	58
Figura 40 – Modelagem 3D da Rua	59
Figura 41 – Rotina de exportação de quantitativos	60
Figura 42 – Orçamento gerado por meio de planilha eletrônica	61
Figura 43 – Interface Dynamo Player	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características uso do BIM.....	31
Tabela 2 - Comparativo de tempo de execução com automação e sem automação	64
Tabela 3 – Interface dimensões do BIM e Ciclo de vida do empreendimento	65
Tabela 4 - Aplicações para as informações geradas pelo modelo BIM.....	66

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AIA	American Institute of Architects (Instituto Americano de Arquitetos)
BCF	BIM Collaboration Format (Formato de Colaboração BIM)
BDS	Building Description System (Sistema de Descrição da Construção)
BIM	Building Information Modeling (Modelagem da Informação e da Construção)
CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IFC	Industry Foundation Classes
ISC	Índice de Suporte California
LOD	Level of Developed (Nível de desenvolvimento)
PIB	Produto Interno Bruto
PMI	Project Management Institute (Instituto de Gerenciamento de Projetos)
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Problema da Pesquisa	17
1.2.	Justificativa	18
1.3.	Objetivos	19
1.3.1.	<i>Objetivo geral</i>	19
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	19
1.4.	Organização do trabalho	20
2	METODOLOGIA	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1.	BIM na infraestrutura	25
3.1.1.	<i>Nível de maturidade de informação</i>	26
3.1.2.	<i>Nível de desenvolvimento (LOD)</i>	27
3.1.3.	<i>O uso do BIM</i>	28
3.1.4.	<i>As dimensões do BIM</i>	31
3.1.5.	<i>Colaboração</i>	34
3.1.6.	<i>Interoperabilidade</i>	34
3.1.7.	<i>Benefícios do BIM no ciclo de vida de empreendimento</i>	36
3.1.8.	<i>Aplicações BIM para a infraestrutura</i>	38
3.1.9.	<i>A estratégia BIM BR</i>	40
3.2.	Programação Visual	42
4	IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS E VALIDAÇÃO	48
4.1.	Preparação do modelo	48
4.2.	Desenvolvimento de rotinas	50
4.3.	Validação do método	54

5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69
	ANEXO A – NÚMERO N CARACTERÍSTICO COM TIPO DE TRÁFEGO	72
	ANEXO B – ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DE SUB BASE	73
	ANEXO C – TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE BASE	74
	ANEXO D – TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE REVESTIMENTO	75

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos a evolução da tecnologia ocorreu de forma cada vez mais ágil, e no setor da engenharia civil não é diferente. Há cinco décadas atrás, os projetos de engenharia eram desenvolvidos simplesmente com canetas e papel; apenas em 1981 as ferramentas de CAD *Computer Aided Design*, ou ainda, traduzido em Desenho Assistido por Computador, alcançaram as massas (BELLUOMINI, 2017). A transição do projeto em papel para o projeto em CAD, gerou diversos ganhos em relação a tempo de execução e possibilidade de ajustes de projetos gastando menos recursos humanos, praticamente uma digitalização do projeto em papel. Desde o início do período que os desenhistas, projetistas e engenheiros passaram a substituir pranchetas por computadores com CAD, é nítida a necessidade dos sistemas evoluírem rapidamente para suprir as expectativas dos usuários.

Neste contexto, dentre os diversos ganhos da inovação, eram possíveis, desde o início, com o uso de *lisps*, que são rotinas criadas em linguagem de programação textual que executa comandos customizados que não estavam contidos na ferramenta em seu formato padrão. Isso possibilitou os primeiros traços de automação de processos repetitivos. Tangente a isso, em 1974, Charles Eastman desenvolveu o conceito de *BDS (Building Description System – Sistema de Descrição da Construção)*. O sistema BDS foi iniciado para mostrar que descrever um edifício computacionalmente poderia otimizar os pontos fortes de representação gráfica para as etapas de projeto, construção e operação, bem como eliminar diversos pontos fracos (EASTMAN, 1974). O BDS foi o embrião para o que posteriormente foi chamado de BIM *Building Information Modelling*, com sua primeira aplicação computacional devido aos avanços tecnológicos em 1987, com o conceito de Edifício Virtual do ARCHICAD da empresa *Graphisoft*, em sua estreia (ALVES, et al., 2012).

Modelagem da Informação e da Construção, mais conhecida como BIM *Building Information Modelling*, pode ser definida como a construção de um modelo digital munidas de informações relevantes relacionadas ao ciclo de vida do empreendimento, seja uma edificação, seja um elemento de infraestrutura. O BIM é definido por Kymmell (2008), como projeto e processo de simulação, que consiste em modelos tridimensionais, nos quais os componentes da construção trazem *links* para todas as informações necessárias nos projetos de planejamento, de construção ou de exploração e até de demolição.

Quando se trata de automação no campo do desenvolvimento, coordenação e análise de projetos tem-se a programação visual como ferramenta para a otimização de

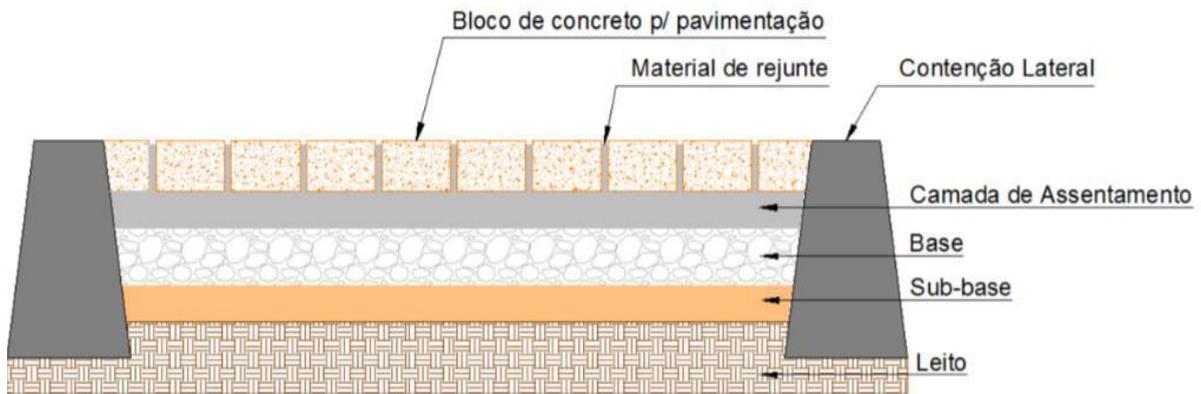
atividades repetitivas no fluxo do processo. Uma linguagem de programação visual permite que os usuários codifiquem e manipulem regras usando uma série de elementos gráficos representando entidades e suas relações. Essas regras, ao serem processadas em aplicações semelhantes a *Dynamo*® e *Grasshopper*® por exemplo, geram ou modificam um modelo generativo, um modelo paramétrico ou um componente do modelo BIM. (BIM EXCELLENCE, 2019). Essa tipologia de linguagem, possui vastas aplicações, e ainda se encontra em estágio inicial no setor de projetos de infraestrutura.

O termo infraestrutura abrange uma ampla gama de obras civis, porém, quando utilizado no contexto do BIM, geralmente exclui edificações. Pode-se subdividir o setor em: infraestrutura de transportes (rodovias, pontes, túneis, aeroportos, portos, etc.), infraestrutura de energia (plantas de geração hidrelétrica, nuclear, eólica, térmica, solar, etc.), infraestrutura de utilidades (redes de água, gás, esgoto, drenagem, comunicação, etc.) e infraestrutura ambiental (represas, diques, açudes, etc.) (SANTOS, et al., 2019). No contexto de projetos de rodovias, tem-se o pavimento intertravado de concreto, que chegou ao Brasil na década de 70, tornou-se uma opção adequada de pavimento, composto por peças de concreto, assentadas sobre uma camada de areia e travadas entre si por contenção lateral (MAPA DA OBRA, 2017).

O pavimento intertravado é um pavimento flexível constituído por uma camada de base (ou base e sub base), seguido pela camada de revestimento constituída de peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento, e nas juntas entre as peças são preenchidas pelo material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é garantido pela contenção. Além da camada de revestimento, o pavimento é composto por camadas de base, sub base que ficam acima do leito onde as camadas são construídas. (ABNT, 2011).

No âmbito do projeto de pavimentação, é essencial mostrar uma seção típica de pavimentação intertravada em blocos de concreto conforme mostra a Figura 1. Existem várias aplicações para esse tipo de pavimento, desde passagem de pedestres, vias para veículos, pátios, estacionamentos dentre outros. Estão entre suas vantagens, a alta durabilidade e o baixo custo de manutenção, conforto térmico, economia de iluminação, possibilidade de reuso e ainda, com processo de execução mais simplificado.

Figura 1 - Seção transversal típica de pavimentação



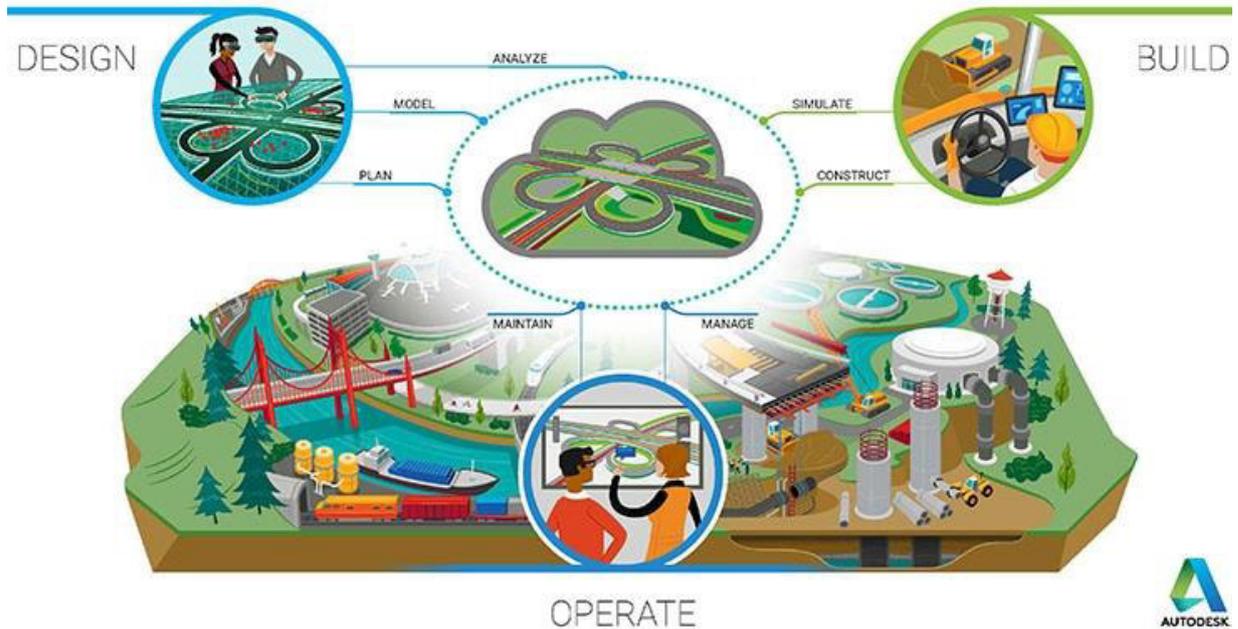
Fonte: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/>

O estudo em questão será restrito ao uso de projeto de pavimento de peça pré-moldada de concreto, conhecido como pavimento intertravado. A escolha do pavimento para o empreendimento utilizado no estudo de caso, ocorreu de forma estratégica, pois internamente será instalada uma fábrica de concreto pré-moldado onde serão produzidos os blocos a serem utilizados no ciclo de vida de todo o empreendimento, desde sua fase inicial, até a construção de expansões futuras.

Para esta pesquisa o ciclo de vida foi classificado nas etapas de Projeto, Construção e Operação. Dessa forma, no campo da infraestrutura, apesar da pesquisa ser restrita ao pavimento intertravado de concreto, poderá ser aplicado a outros tipos de pavimento ou ainda, a outros componentes relacionados ao setor de infraestrutura.

Na Figura 2, é possível perceber o ciclo de vida de um empreendimento, no qual em cada uma das etapas tem-se focos diferentes do uso do BIM. Mas, o modelo com informações que é criado no início do ciclo de vida, deve ser útil para quem irá utilizá-lo no final, evitando-se retrabalhos durante o processo de desenvolvimento do modelo BIM. É válido ressaltar que não se sugere no início do processo um modelo com todas as informações do ciclo de vida. Porém, um modelo que seja consistente e adaptável ao recebimento de informações e interoperável, seja por *softwares* autorais ou de coordenação. Assim, o BIM serve como meio, para antecipar as inconsistências que outrora havia no ciclo de vida do empreendimento, e permite que a tomada de decisão seja realizada em uma fase onde o custo da mudança seja menos representativo em relação ao todo.

Figura 2 - Ciclo de vida de um empreendimento



Fonte: <https://www.autodesk.com/solutions/bim/civil-engineering>

No campo da construção/engenharia/infraestrutura, o uso crescente do BIM em ferramentas de *software* tem resultado em economia significativa de tempo e dinheiro nos projetos. (PMI, Project Management Institute, 2017).

1.1. Problema da Pesquisa

Custos elevados e execuções demoradas são as características mais conhecidas quando se fala em obras de infraestrutura. Dentre os motivos de falhas em obras, temos a falta de compatibilização adequada entre os projetos, erros não previstos anteriormente. Ademais, causa transtornos a esfera social que depende do funcionamento das obras supracitadas para que consigam desenvolver suas atividades diárias. A cada intervenção de infraestrutura que ocorre nas cidades, temos impacto gerado na população local, que muitas vezes, pode não ser positivo inicialmente.

A tomada de decisão dos gestores e profissionais envolvidos nas intervenções realizadas são baseadas nas informações disponíveis. Se essas informações são inconsistentes ou insuficientes para a tomada de decisão, então o gestor, muitas vezes, toma decisões menos eficientes a longo prazo.

Outro fator relevante é sobre a necessidade da indústria da construção adotar o processo de fabricação e automação em todo o ciclo de vida do empreendimento, devido à

diminuição da população em idade ativa, redução da jornada legal de trabalho e aumento do custo de mão de obra. (YONSEI UNIVERSITY ET AL, 2018). Nessa perspectiva tem-se o seguinte problema em questão: como otimizar os processos nas etapas do ciclo de vida minimizando os custos e inserindo informações confiáveis ao processo sem aumentar o tempo de resolução?

1.2. Justificativa

As obras de engenharia são bastante complexas e onerosas. No tocante ao ciclo de vida de empreendimentos, a etapa de projeto é, muitas vezes, a de maior influência no capital a ser investido no empreendimento em sua totalidade, e na qualidade de operação. Nesse sentido, é a etapa chave para a definição de diversas diretrizes e premissas que irão impactar diretamente em todas as etapas subsequentes do ciclo de vida do empreendimento (MEDEIROS, 2017).

No contexto do projeto de pavimentação, onde se perde muito tempo em diversas etapas com atividades que não geram valor, como por exemplo, desenho de linhas, ajustes de pranchas. Nesse sentido são atividades necessárias para o resultado final, mas para sua execução não exige tomada de decisão técnica do profissional, o que é um desperdício de tempo e de recursos direcionar as horas técnicas de profissionais de engenharia a essas atividades manuais.

Ademais, o risco de erro humano em sua execução por serem repetitivas e demoradas é notório, o que contribui para o comprometimento da qualidade dos projetos de engenharia ou ainda, gera um custo muito maior e desnecessário se realizado por profissionais de maior nível de formação técnica. Dessa forma, se faz necessário identificar atividades repetitivas no processo de desenvolvimento do projeto e automatizar etapas de forma a diminuir o tempo utilizado pelo profissional para realizar atividades que não existem tomada de decisão técnica. Isso resultaria em diminuição de tempo e custo.

Além disso, as plataformas BIM estão focadas prioritariamente na modelagem 3D de estradas e o setor de infraestrutura de rodoviárias não tem assimilado devidamente o pleno uso do BIM no tempo correto as plataformas em suas obras e projetos, em relação ao setor de construção civil. (SANTOS, et al., 2019). Nessa perspectiva, é importante o desenvolvimento de mecanismos que auxiliem no melhor aproveitamento dos projetos desenvolvidos em BIM durante todo o ciclo de vida do empreendimento. Tornando possível o uso das informações iniciais da etapa de projeto, para previsões futuras do ciclo de vida do empreendimento de forma mais assertiva e confiável.

No contexto nacional nos próximos anos haverá o surgimento de altas demandas no setor de infraestrutura devido a iniciativas federais, como a estratégia BIM BR. Outra iniciativa que trará altas demandas é o marco legal do saneamento, que estabelece que será garantido o acesso à água potável a 99% da população brasileira e 90% de acesso ao saneamento básico até 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020). Diante disso, na iminência do aumento de demanda no desenvolvimento de projetos em BIM, no cenário brasileiro BIM ainda não é totalmente utilizada pelas empresas do setor de infraestrutura. Nesse contexto, é relevante que os projetos a serem desenvolvidos sejam realizados com celeridade e confiabilidade e isso é possível com o uso de programação visual associada as ferramentas BIM, alinhado a estratégia BIM BR que vigorou a partir de janeiro de 2021 obrigando o uso do BIM em obras públicas federais.

Para Brandão (2014), a adoção do BIM no setor de infraestrutura se encontra bem mais tímida que no setor de edificações verticais. Percebe-se até no tocante ao desenvolvimento de trabalhos acadêmicos publicados e bibliografia, uma maior predominância em aplicação com foco em construções verticais.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Avaliar o uso do BIM e Programação visual nas etapas do ciclo de vida de projeto, construção e operação de uma via de pavimento intertravado de concreto.

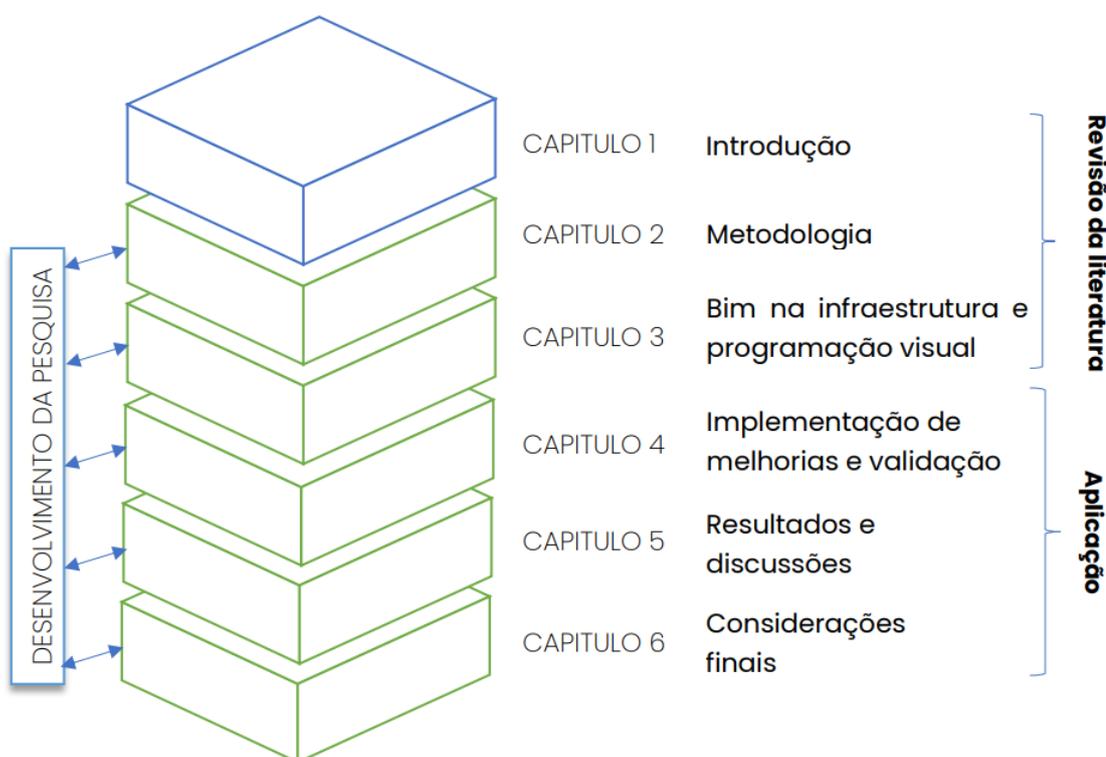
1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar rotinas de programação visual que auxiliem na diminuição do tempo de execução do processo de projeto de pavimentação;
- Validar as rotinas por meio de um projeto de pavimentação de uma via;
- Avaliar a utilidade das informações geradas no modelo BIM na etapa de projeto para as outras etapas do ciclo de vida do projeto.

1.4. Organização do trabalho

O trabalho está organizado em seis capítulos conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3: Estrutura do trabalho



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Capítulo 1: Trata-se da contextualização abordando dois assuntos principais: BIM na infraestrutura e programação visual. Além disso, trata sobre o problema de pesquisa, justificativa e objetivos do trabalho.

Capítulo 2: Apresenta as abordagens metodológicas da pesquisa e, bem como as ferramentas utilizadas e a caracterização do objeto de estudo.

Capítulo 3: Trazendo dois assuntos principais, a revisão bibliográfica, inicialmente conceitua BIM e elementos relacionados, importantes para o esclarecimento da abordagem do

estudo, bem como mostrando contrapontos existentes na literatura. Em seguida, aborda sobre os conceitos de programação visual, seu funcionamento e aplicações desenvolvidas para o embasamento das etapas posteriores.

Capítulo 4: Expõe o mapeamento do processo de projeto de pavimentação intertravada, propõe melhorias no processo por meio do desenvolvimento de rotinas de programação visual. Em seguida, mostra a validação da implementação das melhorias propostas em um projeto real.

Capítulo 5: Mostra os resultados obtidos no decorrer da pesquisa, com suas respectivas análises sobre o que foi gerado.

Capítulo 6: Trata das considerações finais, demonstrando os objetivos que foram atingidos, comentários e sugestões para pesquisas futuras.

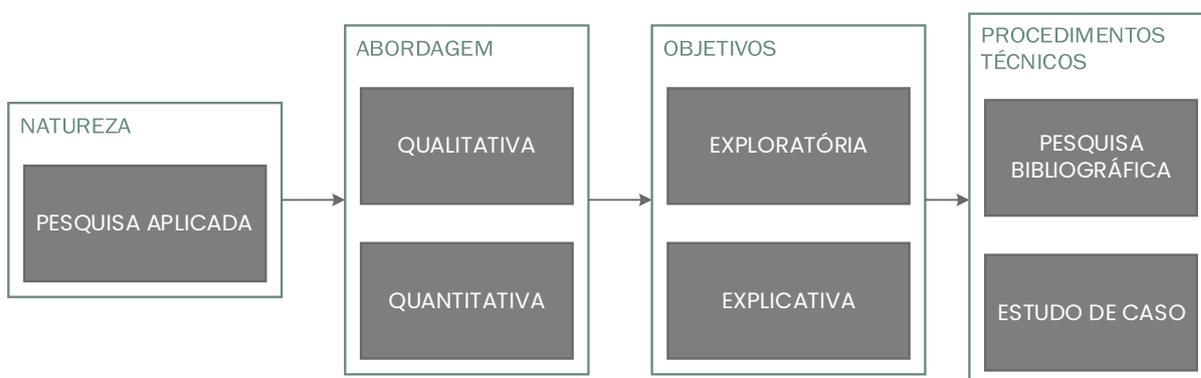
2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa, optou-se pela abordagem qualitativa e quantitativa, se concentra no estudo de caso que se considera representativo ao que se propõe, de forma a ser apto para fundamentar uma generalização para situações análogas, permitindo inferências. (SEVERINO, 2013).

No tocante às fontes utilizadas, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores. Utilizou-se de informações já trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrados. (SEVERINO, 2013). Determinou-se o estado da arte, no qual mostra-se o que se sabe sobre o tema e as lacunas existentes. Do ponto de vista da sua natureza, é uma pesquisa aplicada que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. (SILVA, 2001)

Quanto aos objetivos, buscou-se levantar informações sobre um determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando suas condições, caracterizando-se como exploratória. Além disso, é explicativa, que além de registrar e analisar os fenômenos estudados, busca identificar suas causas, seja por meio da aplicação do método experimental, seja por meio da interpretação possibilitada pelos métodos qualitativos. (SEVERINO, 2013). Pode-se ver na Figura 4 a classificação da pesquisa de forma resumida.

Figura 4 – Classificação da pesquisa



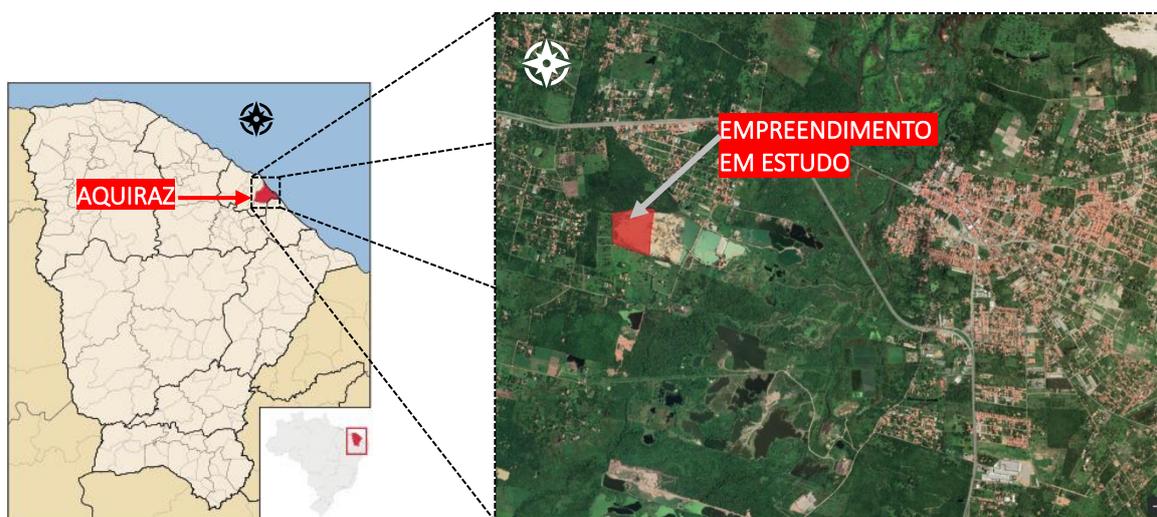
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após levantamento bibliográfico (artigos, monografias, dissertações e sites) e delimitação do estudo, percebeu-se por meio de pesquisas nacionais e internacionais a

utilização do BIM e da programação visual em empreendimentos, bem como o estado da arte no Brasil e as perspectivas para os próximos anos.

Diante do exposto, objetiva-se uma avaliação do uso do BIM e da programação visual no projeto de pavimento intertravado. Para o estudo em questão foi escolhido o desenvolvimento do projeto de pavimentação em intertravado de um complexo funerário no município de Aquiraz-CE. Na Figura 5 pode-se ver a localização do objeto em estudo.

Figura 5 – Localização do objeto de estudo



Fonte: Google Earth adaptado pelo autor (2021)

Dentre as ferramentas utilizadas no processo, pode-se citar os *softwares* Autodesk Civil 3D, Autodesk *Dynamo* e Microsoft Excel. Dentre os diversos métodos existentes, nesta pesquisa optou-se por utilizar o PMSP (2004), que trata sobre dimensionamento de bloco de concreto intertravado. Para o desenvolvimento do estudo de caso, foram coletadas com o projetista do empreendimento estudado as premissas projetuais, além das informações relacionadas ao Índice de Suporte California de projeto, projeto geométrico horizontal e vertical, estudos topográficos e Número “N” característico a ser utilizado no dimensionamento.

De posse das informações, foi iniciado o embasamento teórico, que consistiu no estudo sobre pavimento intertravado e programação visual e Autodesk Civil 3D. Dessa forma, foram avaliadas as etapas de execução de um projeto e, então, foram listadas algumas das possíveis melhorias de processo para diminuição de tempo de elaboração do projeto encontrando resultados iguais aos encontrados no processo manual.

Para o desenvolvimento do fluxo com o uso de BIM e programação visual foi desenvolvido um capítulo de implementação de melhorias. Dentre as etapas escolhidas para

serem automatizadas. Para o estudo em questão, foram selecionadas a criação de alinhamento, perfil longitudinal, dimensionamento do pavimento e exportação de quantitativo para geração do orçamento.

Para a validação foi desenvolvido o mesmo projeto com e sem o uso de programação visual associado a uma ferramenta BIM para analisar quantitativamente qual o processo mais rápido. Os tempos de execução foram contabilizados e comparados para verificação do processo mais célere. Ademais, foram abordadas por meio de análise qualitativa a avaliação do uso do BIM e da programação visual no processo de projeto por meio da estratégia dos usos do BIM citado por Kreider e Mssener (2013), no tocante as etapas de projeto, execução e operação do empreendimento, com enfoque na pavimentação em bloco de concreto intertravado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa do trabalho, buscou-se pontuar as principais referências norteadoras do desenvolvimento do trabalho, desde a sua idealização até sua concepção. Assim a revisão foi agrupada em duas partes: um tópico tratando sobre a inserção BIM na infraestrutura e a outra tratando sobre a programação visual.

3.1. BIM na infraestrutura

Nesse sentido, o BIM é um conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem aos múltiplos interessados de um empreendimento projetar colaborativamente, construir e operar uma construção no espaço virtual (BIM EXCELLENCE, 2019).

Para Eastman et al (2014), BIM é uma construção de um modelo virtual construído digitalmente de forma precisa. Assim, quando finalizado o modelo contém a geometria exata e os dados relevantes necessários para dar suporte às etapas da construção fornecendo subsídios para a execução da obra, fabricação e insumos que forem necessários. Além disso, incorpora dados necessários para a modelagem do ciclo de vida de uma edificação, proporcionando a base para a criação e alterações nos recursos humanos envolvidos na evolução do empreendimento. Assim, quando implementado de maneira adequada, o BIM otimiza o processo de projeto e construção de forma integrada, reduzindo custos e prazo de execução, gerando melhor qualidade.

O BIM pode ser tratado em três pilares essenciais: processos, pessoas e tecnologia: processos permite a fluidez e sincronia no tocante ao desenvolvimento das atividades. No tocante a pessoas, é essencial que a equipe esteja alinhada aos objetivos, a cultura organizacional e bem treinadas, para que todos colaborem de forma sinérgica para que as metas sejam atingidas. E finalmente a tecnologia, que permite a aplicação prática do BIM por meio de programas e equipamentos.

O termo BIM está em ascensão no cenário brasileiro, e pela sua complexidade pode causar confusões sobre o que é BIM ou não de fato. Dessa forma, Eastman (2014) traz definições do que não é BIM, nos tópicos a seguir:

- Modelos que contém somente dados 3D, sem atributos de objetos;
- Modelos sem suporte de comportamento;
- Modelos que são compostos de múltiplas referências a arquivos CAD 2D que devem ser combinados para definir a construção.

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

Nessa perspectiva, modelos que são utilizados apenas para visualização e que não possuem inteligência nos seus componentes. Assim, não permitem a parametrização de dimensões e informações de integração de dados e análise de projeto. (EASTMAN, et al., 2014). Diante disso, percebe-se a existência de critérios mínimos do ponto de vista ferramental, para que um *software* seja considerado BIM.

3.1.1. Nível de maturidade de informação

BIM envolve planejamento, execução e gerenciamento de projetos de construção, tomando decisões baseadas em informações de alta qualidade, incluindo informações tridimensionais, para minimizar o risco do negócio. A depender do nível de informação que se pretende chegar com o uso do BIM, pode-se classificar em seis categorias de maturidade, dessa maneira tem-se o BIM 0.0 que é focado na criação de volumetrias, onde o mais importante é a parte visual com o intuito de gerar apresentações, não importando outros tipos de informações. No BIM 1.0 tem-se a transição CAD BIM, onde no processo de migração se utiliza da conversão do 2D para o 3D com o intuito de revisão dos erros de projetos pouco perceptíveis nos projetos bidimensionais. No BIM 2.0, pode-se enxergar como uma combinação entre o modelo 3D e 2D, onde partes do projeto são desenvolvidas em 2D e as partes que são mais difíceis de representar, são desenvolvidas em 3D. O BIM 3.0 trata-se de um modelo integrado e colaborativo, onde todos os participantes do projeto utilizam BIM em todo o projeto. O BIM 4.0 trata-se de projetos de construção, utilizando técnicas de construção enxuta, construção modular e automação da construção. E finalmente, o BIM 5.0, trata-se do BIM Inteligente, onde os projetos são realizados com a tomada de decisão baseada em dados proveniente do uso de inteligência artificial e *Big Data*. (YONSEI UNIVERSITY ET AL, 2018).

Para o uso do BIM alguns pontos são relevantes no decorrer da aplicação no projeto:

1. Objetivos do projeto;
2. Indicadores chave de desempenho;
3. Plano de uso do BIM para cada objetivo;
4. Compartilhamento de metas de indicadores de desempenho;
5. Avaliação do cumprimento dos objetivos;
6. Relato de resultados e lições aprendidas;

Os objetivos específicos devem ser estabelecidos focados na etapa de ataque pretendida, como por exemplo, redução de interferências, diminuição de custos, previsão de interferências na logística de canteiro, dentre outras. Ademais, para cada objetivo específico do projeto, deve ser estabelecido indicadores de desempenho para avaliar se as metas estabelecidas foram alcançadas ao fim do processo, por exemplo, número de interferências resolvidas, percentual de assertividade entre planejado e executado em tempo e custos, dentre outros. O compartilhamento das metas, de forma que fique visível a todos os colaboradores, mecanismo muito utilizado em metodologias ágeis, também chamado de gestão a vista, permite que os objetivos não sejam esquecidos. Após a execução, o projeto deve ser avaliado em relação ao cumprimento dos objetivos, e se todos os quesitos forem atendidos, deve-se registrar os resultados para que sirvam de base para os projetos futuros, e no caso do não atendimento dos requisitos estabelecidos, os processos devem ser revistos e registrados e compartilhados com os colaboradores para servir de experiência para projetos futuros. (YONSEI UNIVERSITY ET AL, 2018)

3.1.2. Nível de desenvolvimento (LOD)

Segundo o manual da CBIC (2016), o LOD – *Level of Developed* pode ser definido como nível de desenvolvimento em que um modelo BIM pode estar, está associado ao nível de representação gráfica do modelo, ou ainda o nível de detalhamento, combinado com o nível de informação.

O LOD serve de referência para que os interessados possam determinar os entregáveis BIM, e o que deve estar em cada um deles. Pode ser visto como um padrão a ser utilizado a nível de contratação e planejamento de trabalhos em BIM, e ainda possibilita que os envolvidos saibam no que podem ou não confiar de informações no decorrer do fluxo de trabalho colaborativo.

Assim, o LOD vem como uma ferramenta de comunicação e colaboração de um modelo BIM, de forma a prevenir usuários diferentes dos autores dos modelos, que informações podem ou não extrair de forma assertiva do mesmo.

No caso de um estudo preliminar, não é necessário informações detalhadas, geralmente são utilizadas apenas volumetrias com pouca precisão de forma a atender aquela etapa específica do ciclo de vida. Para um usuário desavisado, pode acontecer de contar com as informações encontradas no modelo e ocasionar falhas seja de outras disciplinas ou de outras

etapas de projeto.

Com o uso do LOD, isso pode ser definido e restringido que informações podem ou não ser utilizadas e qual seu nível de precisão. Dentre as classificações pesquisadas, pode-se citar a do AIA - *American Institute of Architects* (2008 apud CBIC 2016), onde define o LOD de 100 a 500.

No tocante ao LOD voltado para infraestrutura Figura 6, Cursino (2017) mostra os usos dos LODs associados as etapas do ciclo de vida, bem como o uso das ferramentas de um fabricante mais adequadas a uma ou mais dessas etapas, de acordo com as suas aplicações agrupadas em modelo 3D e documentação. Assim, percebe-se o uso do LOD também no campo da infraestrutura, conforme a classificação supracitada entre 100 e 500.

Figura 6 – Demonstração de LOD e *softwares* adequados em projetos de infraestrutura

LOD	100	200	300	400	500
IPR 726 - Escopo Básico	EB-101 - Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica-Ambiental de Rodovias	EB-102 - Projeto Básico de Engenharia para Construção de Rodovias Rurais	EB-103 - Projeto Executivo de Engenharia para Construção de Rodovias Rurais	EB-103 - Construção e EB-117 - Projeto "As Built"	EB-113 - Programa de Exploração de Rodovia (PER)
IPR 726 - Instrução de Serviço	IS-202, IS-203, IS-204 e IS-207	IS-202, IS-203, IS-204, IS-208, IS-209, IS-210, IS-211, IS-213, IS-214, IS-215, IS-217, IS-218, IS-219, IS-220	IS-205, IS-203, IS-204, IS-208, IS-209, IS-210, IS-211, IS-213, IS-214, IS-215, IS-217, IS-218, IS-219, IS-220	IS-222 (documentação de Plano de Paralisação da Obra), IS-224 (Projeto de Simulação de Rodovias durante a Execução de Obras e Serviços)	IS-221 (Projeto de Operação e Início de Rodovia)
Software Proposto	AUTODESK INFRAWORKS		AUTOCAD CIVIL 3D	AUTODESK VEHICLE TRACKING	AUTODESK INFRAWORKS
				AUTODESK NAVISWORKS	
			AUTODESK REVIT		
				AUTODESK RECAP PRO	
Modelo 3D					
Documentação					

Fonte: <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/desmistificando-o-bim-com-foco-em-infraestrutura/>

3.1.3. O uso do BIM

Segundo Kreider e Messner (2013), o uso do BIM (Figura 7) é uma estratégia de aplicação do BIM durante o ciclo de vida de um empreendimento para atingir um ou mais objetivos específicos, devem ser definidos seus objetivos primários e secundários, bem como as características dos componentes que serão utilizados no processo. A seguir tem-se os objetivos primários:

Gerenciamento: BIM é frequentemente usado para coletar informações sobre um empreendimento em várias fases do ciclo de vida. Quer seja para quantificar um elemento ou determinar o estado atual de um elemento do empreendimento para gerenciar adequadamente esse ativo, o uso do BIM pode ajudar muito neste esforço. Seus objetivos secundários incluem:

Qualificação, Monitoramento, Captura e Quantificação. Na perspectiva deste objetivo primário, o ator está coletando, reunindo e organizando informações sobre o empreendimento.

Análise: Os elementos do empreendimento muitas vezes requerem uma análise mais aprofundada para determinar sua viabilidade para a instalação. Este objetivo inclui aqueles usos em que um exame metódico de que os elementos do empreendimento são necessários. Os usos deste objetivo incluem coordenação, previsão e validação. São nesses usos que os dados são frequentemente retirados do que foi coletado ou gerado e colocado em o formato em que pode ser usado para a tomada de decisões.

Criação: No ciclo de vida de um empreendimento, serão geradas informações de boa parte das disciplinas resultante da interação disciplina-empreendimento. Este objetivo de uso do BIM contém processos relacionados a criação de informações. Inclui as orientações, organização e dimensionamento da instalação elementos para vários níveis de desenvolvimento. Dentro da fase de projeto, a equipe será a criadora primária de informação, enquanto na fase de construção, os subcontratados irão gerar a maioria das informações. Além disso, na fase de operações, essas informações podem ser geradas por aqueles que fazem a manutenção da instalação quando a atualizam ou alteram.

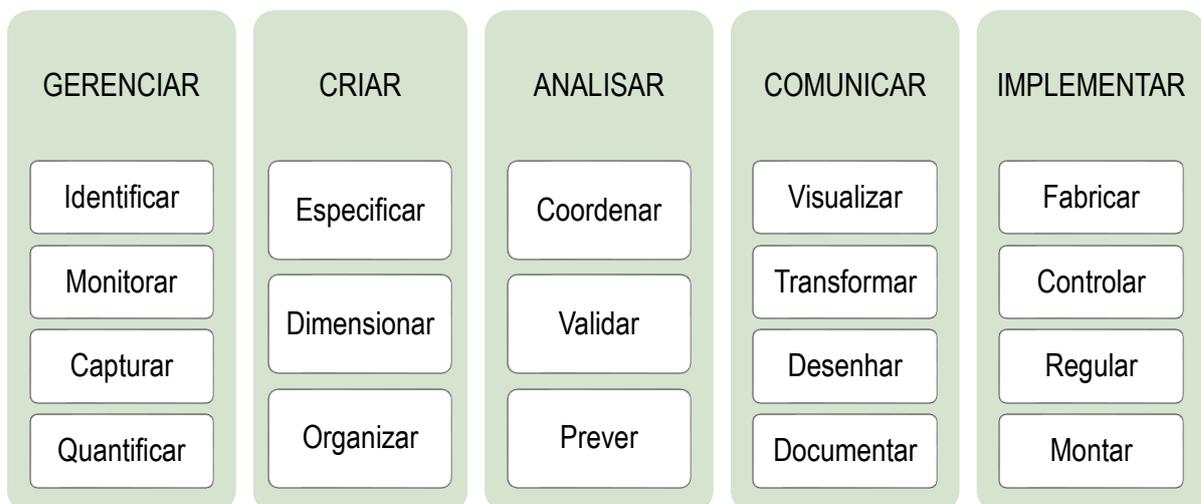
Comunicação: um dos principais usos do BIM é comunicar informações sobre o empreendimento, e isso ocorre por meio do compartilhamento ou troca dessas informações. Muitas vezes, esta é a última etapa de muitos outros processos quando um projeto ou documento é desenvolvido para transmitir informações desse processo para o próximo usuário receptor dessa informação. Como um dos usos mais valiosos do BIM, promover uma melhora da troca de informações, muitas vezes, reduz o tempo que leva para se comunicar. Adicionalmente, a comunicação dos dados é frequentemente um subproduto dos processos para realizar outros usos BIM.

Implementação: BIM está começando a permitir que a indústria remova a entrada direta da interação humana para desenvolver elementos específicos do empreendimento. O objetivo real dos usos do BIM, inclui aqueles em que os dados (BIM) do empreendimento são usados para criar ou controlar um elemento físico do empreendimento. Este uso dá à indústria a capacidade de fabricar, montar, controlar e regular os elementos do empreendimento. É esta habilidade que poderia eventualmente levar à melhoria da produtividade da construção e operações de instalações.

Figura 7 – Usos do BIM

Fonte: KREIDER e MESSNER, 2013, adaptado pelo autor

O uso de BIM em seus objetivos primários se enquadra em cinco categorias principais: gerenciar, criar, analisar, comunicar e implementar. Destas categorias primárias, existem inúmeras subcategorias que especificam ainda mais a finalidade do uso do BIM conforme a Figura 8.

Figura 8 - Objetivos primários e secundários do BIM

Fonte: KREIDER e MESSNER, 2013, adaptado pelo autor

As características de uso do BIM permitem que um usuário defina de forma mais

profunda baseado em informações mais específicas: elemento do empreendimento, fase do empreendimento, disciplina e nível de desenvolvimento. Ao determinar esses fatores, conforme mostrado na Tabela 1, um uso de BIM específico pode então passar para uma abordagem mais focada.

Tabela 1 – Características uso do BIM

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
ELEMENTO DO EMPREENDIMENTO	O SISTEMA DA INSTALAÇÃO EM QUE O USO DO BIM SERÁ IMPLEMENTADO
FASE DO EMPREENDIMENTO	O PONTO DO CICLO DE VIDA DA INSTALAÇÃO EM QUE O USO DO BIM SERÁ IMPLEMENTADO.
DISCIPLINA	A PARTE PELA QUAL O USO DO BIM SERÁ IMPLEMENTADO.
NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO	O GRAU DE INFORMAÇÃO E NÍVEL GEOMÉTRICO AO QUAL O USO DO BIM SERÁ IMPLEMENTADO.

Fonte: KREIDER e MESSNER, 2013, adaptado pelo autor

3.1.4. As dimensões do BIM

A convenção comum que se refere às dimensões geométricas de alguns elementos físicos ou sistema abstrato, onde a dimensão 2D é um plano; A dimensão 3D é um espaço tridimensional, por exemplo, comprimento, largura e altura; A dimensão 4D adiciona o tempo como uma dimensão; A dimensão 5D geralmente se refere ao custo; e nD irá se referir a qualquer outra quantidade ainda indeterminada adicionada à mistura, por exemplo, análise de energia, informações de gerenciamento de instalações dentre outras. (KYMMELL, 2008)

O modelo BIM é uma representação virtual, contendo potencialmente todas as informações necessárias para a construção de um empreendimento, utilizando computadores e *softwares*. Quando o BIM é utilizado em uma frase, a depender do contexto, pode significar construir um modelo de informação, onde pode incluir um ou mais das dimensões 2D, 3D, 4D (elemento de tempo - cronograma), 5D (informações de custo) ou nD (energia, sustentabilidade, gestão de instalações, etc.) na representação de um projeto. (KYMMELL, 2008)

Para Arnal (2018), BIM possui 10 dimensões, a seguir tem-se a descrição de cada

uma:

- 1D é aquela que implica a implantação de Protocolos BIM em um país ou organização;
- 2D baseia-se na introdução de fluxos colaborativos e acarreta as novas formas de contratação e aposta em soluções integradas de gestão;
- 3D trata da modelagem digital e a esta dimensão adiciona-se a identificação de colisão, captura de realidade, produtos BIM, etc;
- 4D é sobre o tempo, planejamento temporal precisamente ligado a cada um dos elementos modelados;
- 5D que trata da economia do projeto ou como cada elemento BIM é sincronizado com seu preço, sua origem, sua instalação, os custos de sua manutenção.
- 6D trata-se da sustentabilidade de nossos projetos e construções com foco em seu vértice ambiental.
- 7D é dedicada à operação e manutenção de instalações construídas e ativos manufaturados:
- 8D é aquela voltada para o conceito de Acidente Zero, portanto, segurança e saúde durante o projeto, trabalho e fase de manutenção.
- 9D é sobre a introdução da Filosofia *Lean Construction* na construção.
- 10D trata da industrialização da construção, transformar o setor da construção em um setor mais produtivo integrando as novas tecnologias por meio de sua digitalização.

Por outro lado, Koutamanis (2020) propõe que uma dimensão nas representações de construção simbólica deve ser uma propriedade primária de um símbolo, não derivada e, além disso, essencial para a identidade do objeto simbolizado, ou seja, não sujeita à abstração. Com base nestes princípios, conclui-se que o BIM só pode ser 4D.

Eastman (2014), não trata diretamente das dimensões do BIM, mas apenas cita a dimensão 3D e 4D, que são as dimensões triviais citadas por Koutamanis (2020).

Ademais, na literatura, associa-se bastante de forma didática, as dimensões de BIM como se estivesse ligada ao nível de maturidade e ainda, a etapa do ciclo de vida, causando confusão no sentido de aplicação prática do conceito que outrora auxiliaria no entendimento melhor do BIM.

As aplicações das dimensões do BIM, vão muito além. Assim, pode-se associar tranquilamente o 3D às etapas do ciclo de vida (Projeto, Construção e Manutenção). Dessa maneira, as dimensões podem ser aplicadas a cada etapa do ciclo de vida a depender de que escala a etapa está sendo analisada, ou ainda, qual etapa é importante para cada ator naquele momento.

No tocante a etapa inicial do ciclo de vida, o modelo 3D pode ser aplicado na criação do modelo virtual, o 4D pode ser aplicado no cronograma (tempo de projeto) em que essa etapa será planejada, o 5D na estimativa de custos, baseada no que será construído e no tempo em que foi programado, e assim sucessivamente aplicado aos outros D's.

Quando se fala de 4D, trata-se de todos os mecanismos relacionados a gestão de tempo, aqui inclui-se metodologias ágeis de gestão, bem como filosofias como o *Lean Construction e Lean Office* por exemplo. Dessa forma, não há sentido em haver a nona dimensão para isto.

Quando se trata da dimensão 7D, o foco se dá para a gestão de facilidades ou de instalações. Onde para Pinheiro (2016)

A gestão de facilidades será entendida neste trabalho como um processo de gerenciamento integrado acerca do ambiente construído, que tem o objetivo de apoiar o desenvolvimento das atividades que ali ocorram, para incorporar efetividade à sua execução e melhorar a produtividade da organização através da satisfação do profissional com um local de trabalho adequado as suas funções e capaz de atender as suas necessidades.

Ora, se na gestão de facilidades há o “*objetivo de melhorar a produtividade da organização através da satisfação profissional com um local de trabalho adequado a suas funções*”, então nessa perspectiva a segurança das pessoas está sendo contemplada por esta dimensionalidade BIM, assim não é necessário que exista a oitava dimensão.

A dimensão 10D trata da industrialização da construção, mas não há necessidade do uso desta dimensão, uma vez que essa industrialização tem a ver escolhas de métodos construtivos bem como com a maturidade do uso da informação no tocante ao BIM, supracitado como BIM 4.0, não havendo relação direta com a dimensionalidade.

Assim, recomenda-se o uso da dimensionalidade do 3D ao 7D (Figura 9), podendo estas, serem aplicadas a cada etapa do ciclo de vida, nesse contexto trata-se de Projeto, Construção e Operação.

Figura 9 – As dimensões do BIM



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.5. Colaboração

Com a chegada do BIM, alguns conceitos essenciais estão cada vez mais relevantes, dentre eles, a colaboração, que significa trabalhar juntos e cooperativamente, como uma equipe. Isso pressupõe que todas as pessoas que colaboram têm os mesmos objetivos em relação ao trabalho que precisa ser executado. A colaboração exige disciplina dos envolvidos de forma que haja uma combinação de esforços e clareza no que será desenvolvido, para que os objetivos sejam alcançados. (KYMMELL, 2008)

Bons exemplos de colaboração bem-sucedida são os esforços de membros de uma equipe esportiva que estão tentando vencer uma competição ou de membros de um conjunto musical que estão se apresentando. Claramente, nesses exemplos, não há muito espaço para qualquer membro do grupo se tornar muito independente, todos os esforços precisam ser precisos, e apoiar as metas de todo o grupo para alcançar o sucesso. Um aspecto importante da colaboração bem-sucedida nesses exemplos é a necessidade de prática, disciplina e planejamento estratégico. (KYMMELL, 2008)

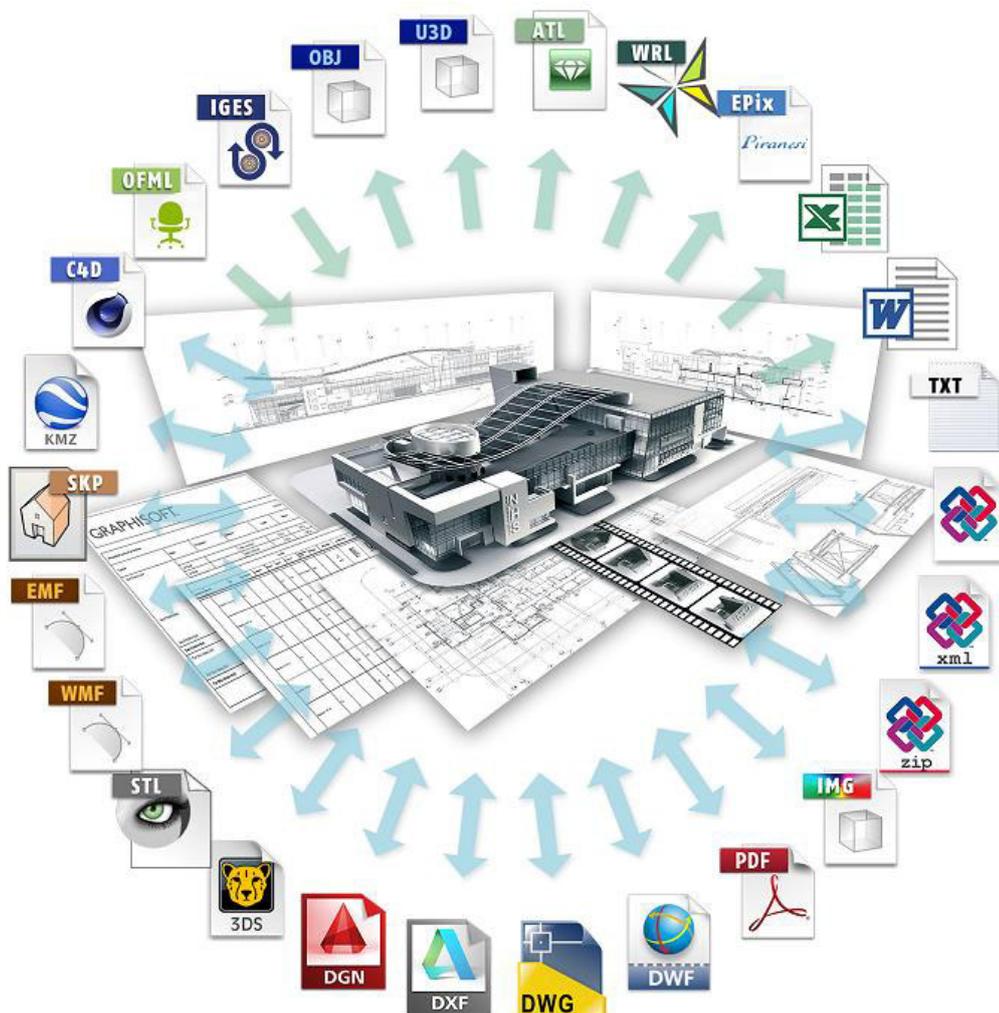
3.1.6. Interoperabilidade

Quando se fala de BIM, uma das suas palavras chaves é interoperabilidade, que para Kymmell (2008), refere-se à capacidade de diferentes formatos de arquivo serem integrados

uns aos outros e transferir informações relevantes entre si. Nessa abordagem, pode-se enxergar a interoperabilidade como uma forma de comunicação entre sistemas.

Na perspectiva de Eastman et al (2014), a interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho. Nessa visão, tem-se como a necessidade para que seja possível o usufruto do trabalho colaborativo, assim, identifica a necessidade de passar dados entre aplicações, e para múltiplas aplicações contribuírem em conjunto com o trabalho a fazer. Na Figura 10, percebe-se a variedade de tipos diferentes de extensões que uma ferramenta de modelagem BIM pode exportar seus dados, de forma a facilitar a comunicação com outros *softwares*, a depender das aplicações desejadas. Pode-se ver o benefício de se eliminar a necessidade de replicar a entrada de dados que já foram gerados e assim, facilitar fluxos de trabalho e de automação.

Figura 10 – Comunicação entre o modelo e várias extensões de arquivos



A interoperabilidade pode ser resumida como comunicação entre sistemas diferentes. Para que isso fosse possível no meio da complexidade do BIM, foram criados três formatos abertos focados na comunicação BIM, cada um para aplicações diferentes, o IFC, o BCF e o COBIE.

O formato IFC (Industry Foundation Classes) é uma extensão é um formato aberto que permite a troca de informações associadas a um modelo 3D em *softwares* BIM. Esse formato é considerado um modelo não autoral, pois é focado na leitura de parâmetros, e não na manipulação dos mesmos. De acordo com a CBIC (2016)

O formato Industry Foundation Classes – IFC é um modelo de dados que abrange o projeto com todas as demais etapas do ciclo de vida de edificações. Ele foi desenvolvido e é mantido pela Building Smart, uma organização Americana sem fins lucrativos, que criou seu esquema de dados para definir um conjunto extensível de representações de informações de construções, e viabilizar a troca consistente de dados entre diferentes aplicações de softwares específicos utilizados pela indústria da construção civil.

Segundo DNIT (2021), o Formato de Colaboração BIM – BCF, é um formato de colaboração utilizado para otimizar a comunicação no processo BIM, em especial entre o Modelador BIM e o Coordenador BIM, trata-se de uma extensão de arquivo aberta onde as coordenadas e as observações do modelo são salvas e transitam no fluxo modelador coordenador.

Segundo Pinheiro (2016), o COBie é um padrão internacional que organiza as informações de forma a serem lidas nas diversas etapas do ciclo de vida de um empreendimento. Assim, facilitando a gestão dos dados pelo gerente de facilidades na etapa de operação. Por se tratar de uma padronização, COBie pode ser utilizado em diversos *softwares*, desde a modelagem até os de gerenciamento de facilidades, bem como em simples planilhas eletrônicas. Assim, é possível utilizá-lo independentemente do quão sofisticada é a tecnologia disponível.

3.1.7. Benefícios do BIM no ciclo de vida de empreendimento

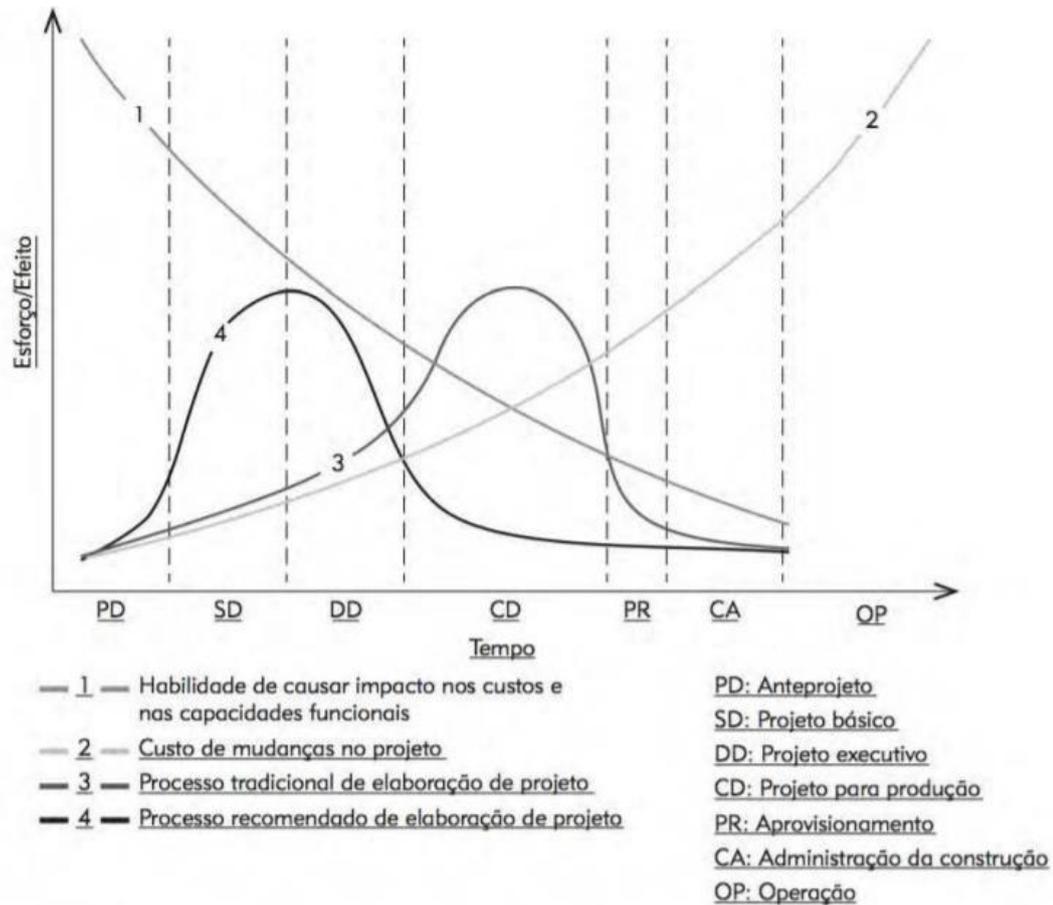
Brandão (2014), identificou os principais benefícios que o uso da metodologia BIM traz no setor de projeto de infraestrutura viária e ainda, avaliou o seu uso para a otimização de processos por meio de um estudo de caso. Observou ganho de produtividade, ganho de visualização de modelos 3D, bem como informações relacionadas e quantidade de materiais mais precisas. Com efeito, salienta a importância de mostrar que BIM não possui uma fórmula mágica, mas propõe uma integração entre as disciplinas em todo seu ciclo de vida. Diante disso, é possível reduzir erros e prever possíveis inconsistências envolvidas no projeto.

Para Cursino (2018), o BIM para projetos de infraestrutura de transportes traz vários benefícios reais, assim, nas aplicações e vantagens do BIM, pode-se destacar:

- Melhor qualidade do projeto com mais aderência as normas.
- Melhor acurácia e assertividade nos quantitativos e orçamento.
- Tempo de aprovação e análise dos projetos é mais rápida.
- Construção mais assertiva nas suas características técnicas, orçamentária e de prazo.
- Manutenção a partir do ativo virtual e real, possibilitando a ampliação e a manutenção preventiva a partir do modelo.

Entre as diversas vantagens do BIM, em uma pesquisa realizada pela *Dodge Data & Analytics SmartMarket* (2017), explora o uso do BIM e o nível de implementação no setor de infraestrutura de transportes nos Estados Unidos, França, Alemanha e Reino Unido, nos quais 87% dos usuários de BIM relatam positivamente seu uso e pontuam vantagens em diminuição de erros na obra, previsibilidade de custos, melhor detalhamento e compreensão de projetos, melhores planejamentos de obra. Além disso, o retorno sobre o investimento nos países pesquisados foi em média 65%. (Dodge Data & Analytics, 2017). Nesse sentido, é possível perceber o uso do BIM para minimização de riscos nos empreendimentos, e então associar a conceitos da engenharia de custos como retorno sobre o investimento e estudo de valor agregado. Segundo o PMI (2017), o ciclo de vida do projeto é a série de fases pelas quais um projeto passa, do início à conclusão. Nesse contexto, baseado na Figura 11 é perceptível o impacto de custos gerado entre cada fase do ciclo de vida do projeto em que a decisão é tomada.

Figura 11 - Valor agregado e custo de mudanças em cada etapa do ciclo de vida



Fonte: Manual de BIM (Eastman et al,2014)

3.1.8. Aplicações BIM para a infraestrutura

Para BRANDÃO (2014), uma das principais preocupações da engenharia é a de se poder fazer mais produtos usando menos insumos. Nessa perspectiva, busca-se continuamente meios de gestão capazes de auxiliar na otimização de processos que culminem em menor custo, menor impacto e mais eficiência. Nesse sentido, a tecnologia da informação auxilia na melhoria da engenharia procurando utilizar tecnologia para a redução de tarefas repetitivas. O BIM pode ser aplicado de diversas maneiras em obras de infraestrutura dentre as quais, se destacam a sua aplicação para o projeto de estradas, ao projeto de terraplenagem, e ao cálculo de volume de material, para sistemas de drenagem urbana e sua aplicação para a fase de estudos preliminares e de concepção da obra.

Para CURSINO (2018), no tocante a infraestrutura BIM pode ser utilizada em estudos preliminares, fornecendo informações para auxiliar se o empreendimento é ou não viável no que tange a estimativa de custos. Para levantamentos topográficos, com o auxílio de tecnologias

como drones e escaneamento a laser, possibilitando a captura de realidade gerada por nuvem de pontos conforme ilustrado na Figura 12.

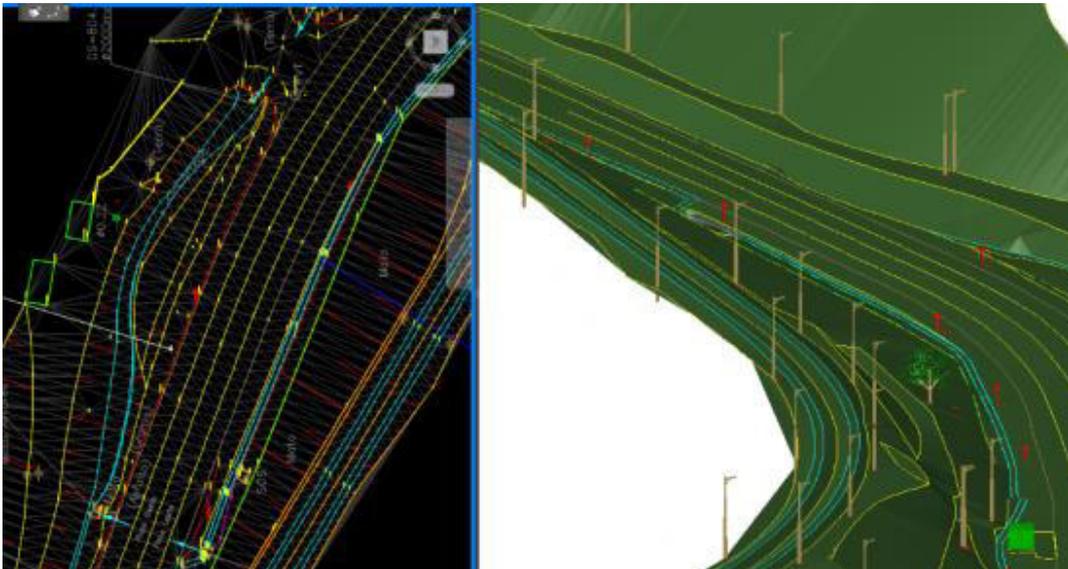
Figura 12 - Levantamento de Trecho de Rodovia feita com Drones



Fonte: <https://blogs.autodesk.com/mundoaacc/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviaros/>

Cusino (2018), destaca ainda, as diferenças do levantamento topográfico 2D e 3D, que para a maior parte das disciplinas de infraestrutura é a base de tudo, e no caso do BIM deve ser tratada de forma diferente representando os elementos de forma tridimensional, conforme a Figura 13.

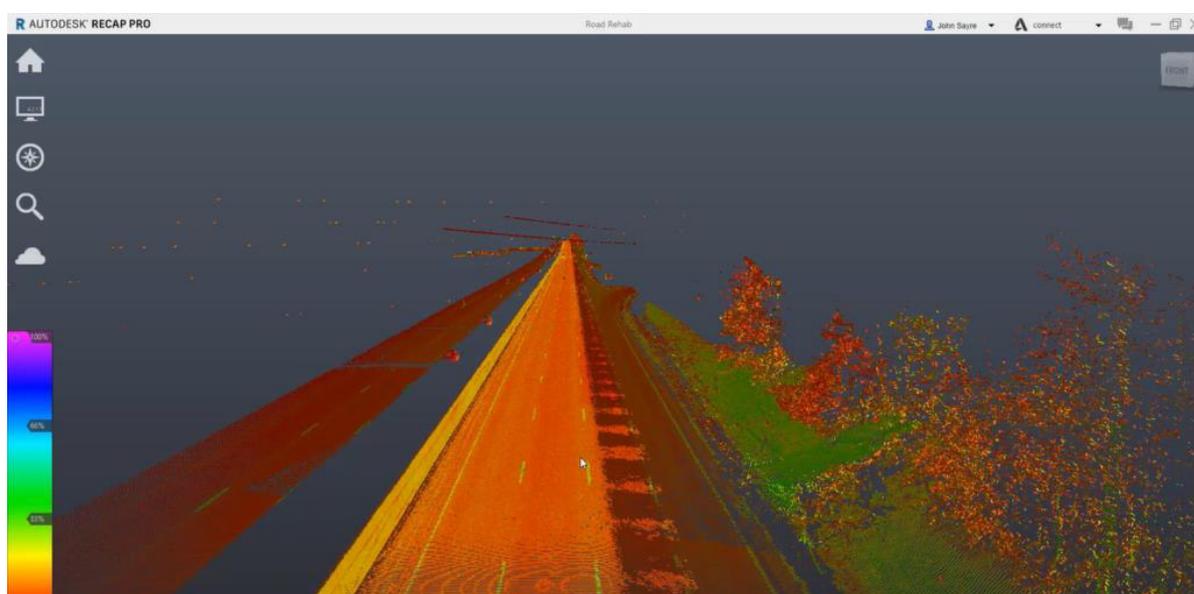
Figura 13 - Levantamento tradicional x levantamento BIM



Fonte: <https://blogs.autodesk.com/mundoaacc/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviaros/>

Outras aplicações possíveis, são no uso de levantamentos geotécnicos de forma a alimentar o modelo tridimensional de forma a alterar automaticamente informações como inclinações de taludes por exemplo. Projetos executivos de rodovias, túneis, drenagem e obras de arte especiais. Além da terraplenagem, supracitada, é possível desenvolver projeto de pavimentação e além disso é possível desenvolver projetos de recapeamento e fresagem, unindo o levantamento da situação atual (Figura 14) e comparar com o projetado. É possível realizar outros tipos de análises como verificação de interferências, bem como simulações de curvas, dentre diversas outras aplicações. (CURSINO, 2018)

Figura 14 - Levantamento Laser da condição existente da rodovia



Fonte: <https://blogs.autodesk.com/mundoaacc/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviarios/>

3.1.9. A estratégia BIM BR

Devido à grande relevância da metodologia no tocante a sua eficiência, o governo federal criou uma estratégia nacional para estimular o uso da metodologia BIM, chamada BIM BR, que surgiu em 2018 por meio de um decreto presidencial, e em 2019 foi atualizado sob o Nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, que tem como finalidade promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e sua difusão no país. Dentre os objetivos da estratégia, pode-se resumir em disseminar o uso do BIM, criar normas e padrões, capacitar os recursos humanos para que estejam aptos a migrar para o novo processo e incentivar o uso de padrões neutros de interoperabilidade. (BRASIL, 2020)

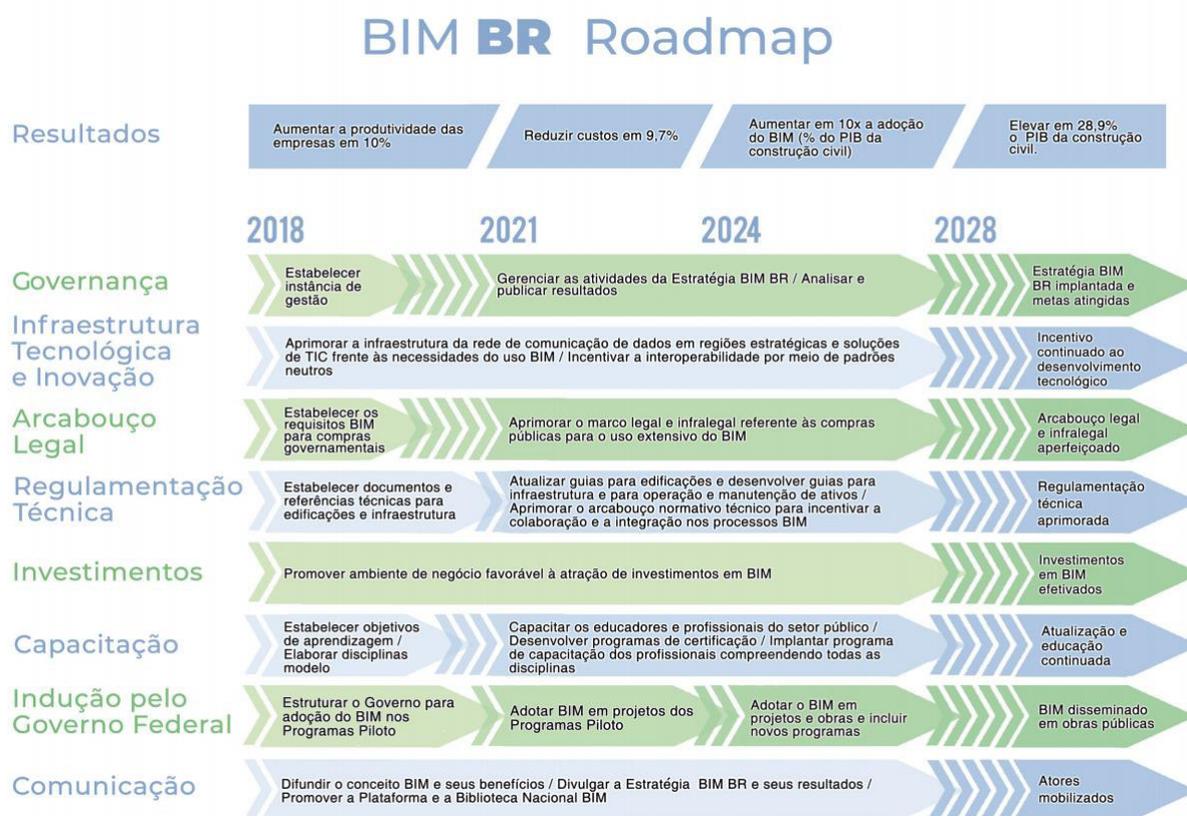
De acordo com as informações apontadas pelo DNIT (2020), a estratégia BIM BR

tem como resultados esperados:

- Aumentar a produtividade das empresas em 10% (produção por trabalhador das empresas que adotarem o BIM);
- Reduzir custos em 9,7% (custos de produção das empresas que adotarem o BIM);
- Aumentar em 10 vezes a adoção do BIM (hoje 5% do PIB da Construção Civil adota o BIM, a meta é que 50% do PIB da Construção Civil adote o BIM);
- Elevar em 28,9% o PIB da Construção Civil (com a adoção do BIM, o PIB do setor, ao invés de 2,0% ao ano, espera-se que cresça 2,6% entre 2018 e 2028, ou seja, terá aumentado 28,9% no período, atingindo um patamar de produção inédito).

Na Figura 15 pode-se ver os próximos passos na esfera pública federal brasileira, onde espera-se grandes ganhos financeiros no setor de construção civil. E ainda, ilustra sobre as estratégias que serão adotadas para o atingimento das metas. Por meio de decreto federal nº 10.306, foram confirmadas as datas para a obrigatoriedade do uso do BIM em projeto, construção e pós-construção. (BRASIL, 2020)

Figura 15 – Planejamento Estratégia BIM BR



Na perspectiva de promover um ambiente de investimento adequado ao BIM, o DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, instaurou um Núcleo BIM com o fito da implantação do BIM no órgão. Além disso, membros do núcleo, participam de discussões estratégicas no âmbito nacional em conjunto com demais entidades públicas e privadas. Assim, como projeto piloto, o DNIT desenvolve o PROARTE, trata-se de um projeto focado na realização de obras de manutenção e recuperação de obras de arte especiais, como pontes, tuneis, dentre outras. (DNIT, 2021)

3.2. Programação Visual

Dentre as diversas formas e classificações sobre as linguagens de programação, para o presente trabalho serão classificadas em dois tipos: a programação textual e a visual. A programação textual, como pode-se ver na Figura 16, é aquela em que o código está explícito ao usuário em forma de texto. Dentre as principais pode-se citar a programação estruturada e a orientada ao objeto.

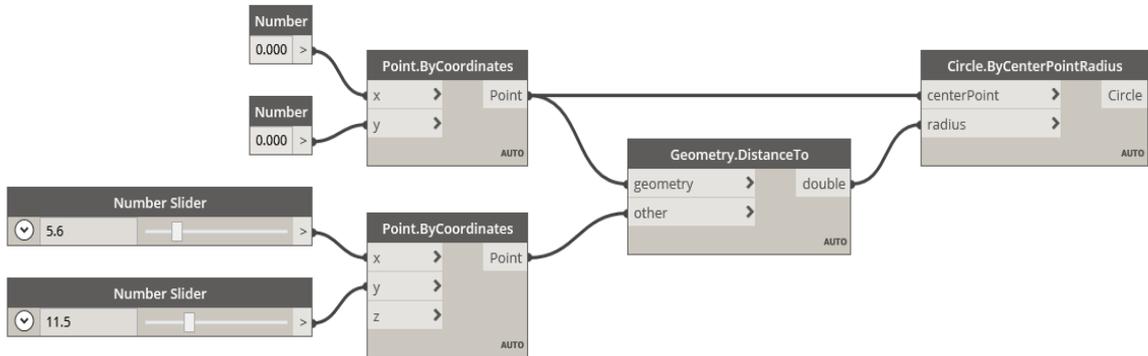
Figura 16 - Código de programação textual

```
myPoint = Point.ByCoordinates(0.0,0.0,0.0);  
x = 5.6;  
y = 11.5;  
attractorPoint = Point.ByCoordinates(x,y,0.0);  
dist = myPoint.DistanceTo(attractorPoint);  
myCircle = Circle.ByCenterPointRadius(myPoint,dist);
```

Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html

A programação visual tem uma versão baseada no texto, como uma espécie de atalhos pictóricos, onde o programador não tem acesso direto ao código textual. Segundo o Autodesk (2019), tanto a programação textual como a visual utilizam a mesma estrutura de formalização, no entanto, são definidas as instruções e as relações do programa por meio de uma interface gráfica do usuário. Em vez de digitar texto vinculado pela sintaxe, conecta-se os nós pré-empacotados conforme a Figura 17.

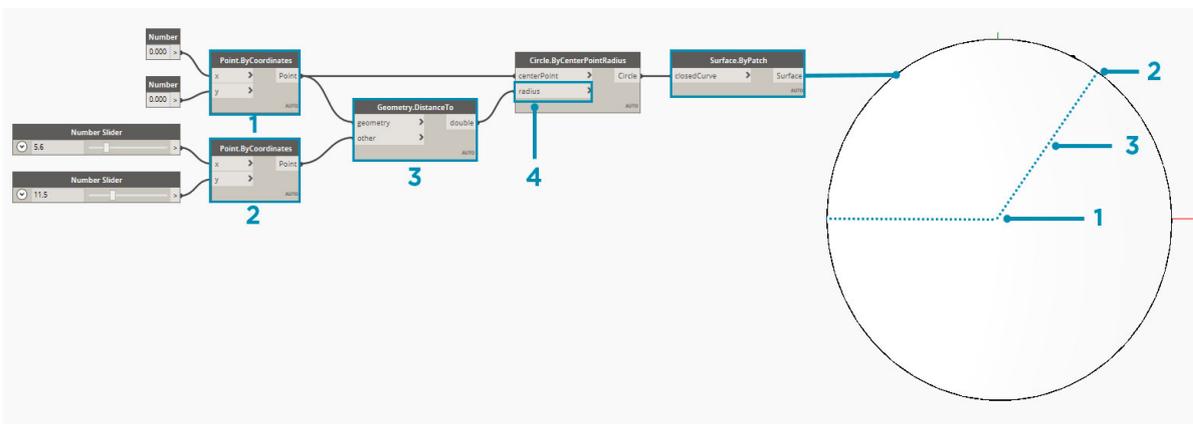
Figura 17 - Código de programação visual



Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html

Dessa maneira, o resultado é gerado conforme mostra a Figura 18, tanto com o código textual como o código visual são possíveis obter o mesmo resultado.

Figura 18 - Exemplo de rotina Autodesk *Dynamo*



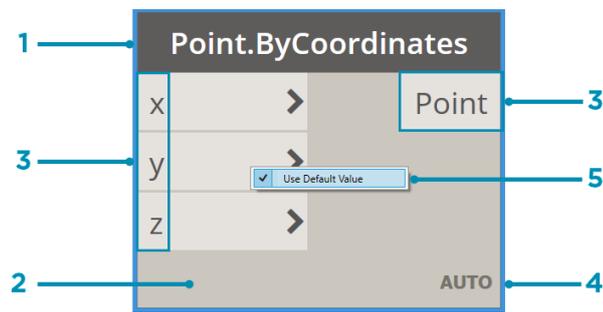
Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html

O Autodesk Dynamo permite a criação de rotinas por meio de programas visuais em um espaço de trabalho conectando com fios e nós para especificar o fluxo lógico do programa visual resultante. Segundo o site desenvolvedor Autodesk (2019):

Dynamo é uma plataforma de *software* de código aberto para design computacional e modelagem de informações de construção (BIM). Por meio de uma interface visual amigável, construa rotinas lógicas para suavizar e automatizar fluxos de trabalho, encontrar soluções ideais e filtrar as opções de design.

Segundo a AUTODESK (2019), a maioria dos nós no Autodesk Dynamo são compostos de cinco partes conforme a Figura 19. Embora existam exceções, como os nós Input, a anatomia de cada nó pode ser descrita da seguinte maneira:

Figura 19 – Anatomia de um nó

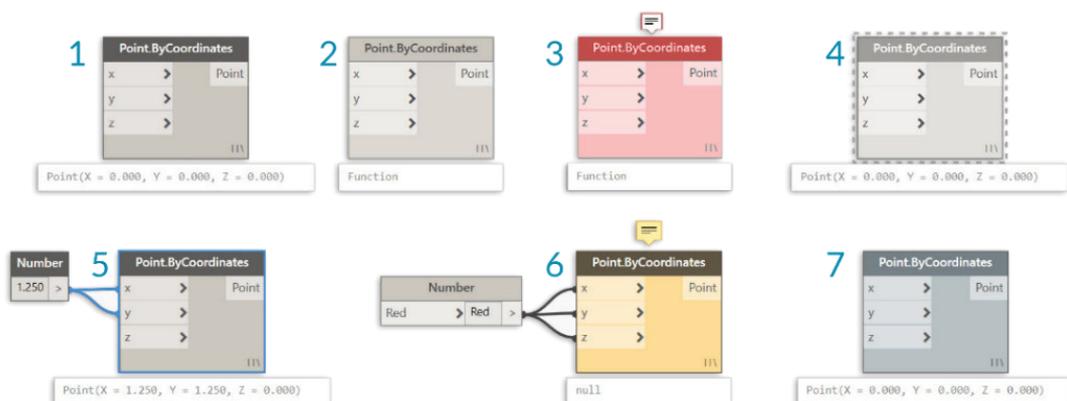


Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html

1. Nome – O nome do nó com uma convenção de nomenclatura *Category.Name*
2. Principal – O corpo principal do nó: clicar com o botão direito do mouse aqui apresenta opções no nível de todo o nó
3. Portas (entrada e saída) – Os destinatários dos fios que fornecem os dados de entrada para o nó, assim como os resultados da ação do nó
4. Ícone de amarra – Indica a opção de amarra especificada para as entradas de lista coincidentes (mais informações adiante)
5. Valor padrão – Clique com o botão direito do mouse em uma porta de entrada: alguns nós têm valores padrão que podem ser usados ou não.

O Autodesk Dynamo fornece uma indicação do estado da execução do programa visual ao renderizar os nós com diferentes esquemas de cores com base no status de cada nó conforme a Figura 20. Além disso, passar o mouse ou clicar com o botão direito do mouse sobre o nome ou as portas apresenta informações e opções adicionais.

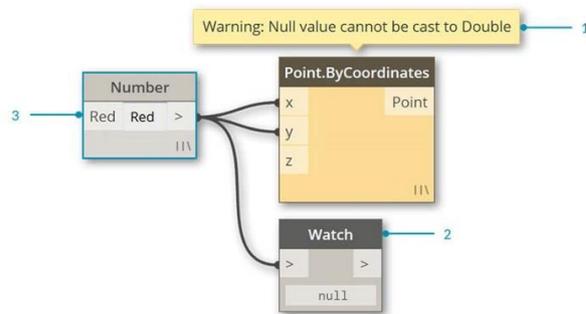
Figura 20 – Estado de execução



Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html

Se o programa visual tiver avisos ou erros, o Autodesk Dynamo fornecerá informações adicionais sobre o problema conforme a figura 21.

Figura 21 – Mensagem de erro Dynamo

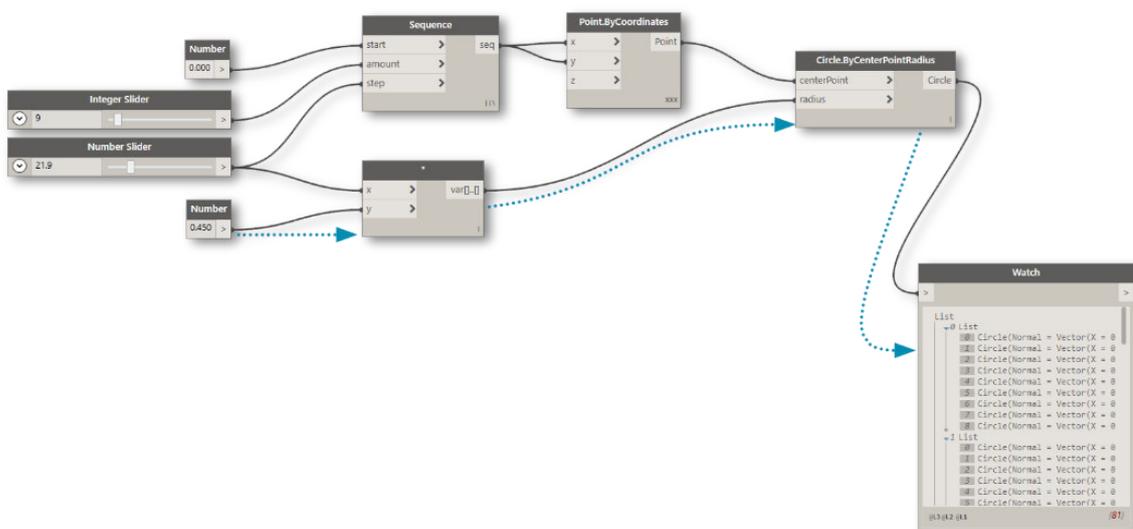


Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html

Os fios se conectam entre os nós para criar relações e estabelecer o fluxo do nosso programa visual. Pode-se pensar neles literalmente como fios elétricos que carregam impulsos de dados de um objeto para o seguinte. (AUTODESK 2019)

Os fios conectam a porta de saída de um nó à porta de entrada de outro nó. Essa direcionalidade estabelece o Fluxo de dados no programa visual (Figura 22). Embora seja possível organizar nossos nós da maneira que se queira na área de trabalho, uma vez que as portas de saída estão localizadas no lado direito dos nós e as portas de entrada estão no lado esquerdo, geralmente pode-se dizer que o fluxo do programa se move da esquerda para a direita. (AUTODESK 2019)

Figura 22 - Fluxo de dados Autodesk Dynamo



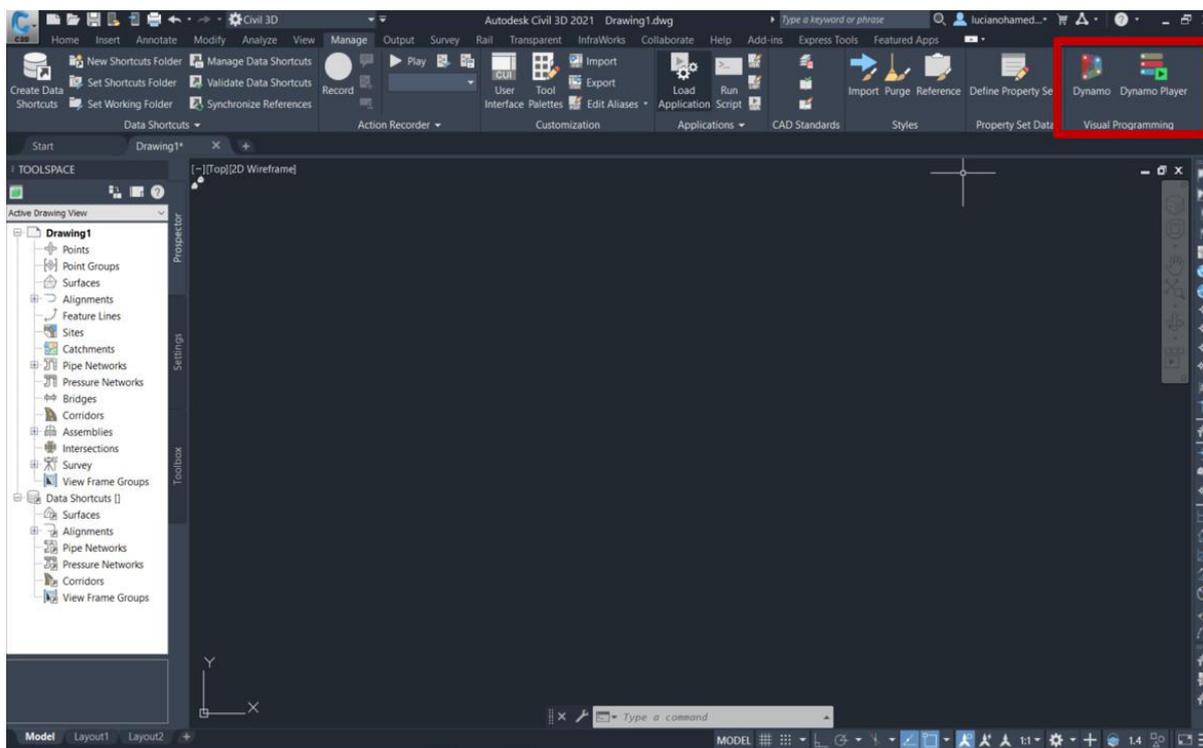
Fonte: https://primer.dynamobim.org/pt-br/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html

Medeiros (2017), trouxe novas possibilidades para o dimensionamento de projetos de engenharia por meio da plataforma BIM auxiliado pelo Autodesk *Dynamo* como alternativa. Com o processo automatizado, foi citado como grande ganho a admissão fácil de alterações e recálculo dos resultados. Nesse contexto, foram utilizadas as ferramentas Autodesk *Dynamo* e Autodesk Revit para o dimensionamento de instalações hidráulicas prediais conforme a NBR 5626, abrindo diversas possibilidades para o estudo de automações com programação visual no cenário brasileiro.

Sena (2019), fez comparativos entre vários tipos de automações aplicadas a projetos, onde abordou várias linguagens de programação relevantes no tocante ao setor de Arquitetura e Construção. Dentre os ganhos citados os principais são, otimização de arranjos, obtenção de formas complexas e a redução de trabalhos repetitivos. Mostra ainda, por qual linguagem de programação iniciar a depender do objetivo final. Sugere que seja iniciado com programação visual por ser mais fácil ao usuário e em seguida o uso de nós customizados de python no Autodesk *Dynamo*.

Para Medeiros (2017), comparando os dois tipos de programação, a visual e a textual, curva de aprendizagem para um novo usuário de programação visual é mais curta, alcançando em pouco tempo resultados interessantes e motivadores. Assim, acredita-se que para o profissional de engenharia, o uso da programação visual nas atividades consideradas repetitivas, pode ser promissora.

Recentemente a ferramenta Autodesk Civil 3D, nas suas versões 2020 e 2021 (Figura 23) incorporou a programação visual em sua interface com o auxílio da ferramenta Autodesk *Dynamo*, o que possibilita de forma mais intuitiva a automação de projetos no âmbito de projetos de infraestrutura.

Figura 23 - Interface do Autodesk Civil 3D

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma das grandes vantagens de uma linguagem de programação visual como o Autodesk Dynamo é a possibilidade de compartilhamento de rotinas com outros usuários que não são programadores textuais. Outros usuários podem interpretar e modificar a rotina para atender às suas necessidades particulares, sem se preocupar com as centenas de linhas de código. O controle da automação e da eficiência da tarefa não precisa ser limitado aos programadores, são ferramentas que podem ser utilizadas por todos. (MORYKIN, et al., 2019)

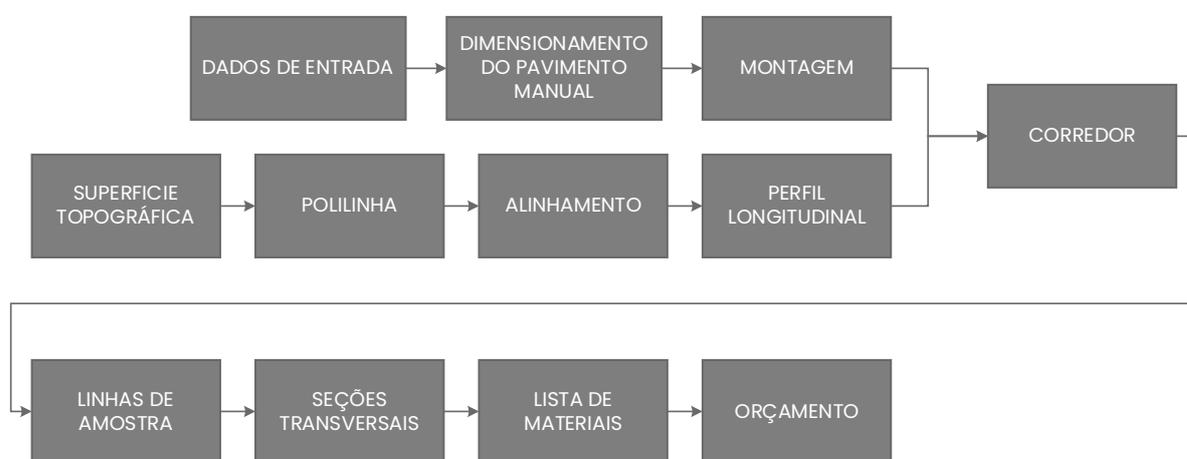
Ao integrar os conceitos de fluxo de trabalho do Autodesk Dynamo para o Autodesk Civil 3D na execução de um projeto, a entrada de dados e o trabalho repetitivo pode ser simplificado para melhorar a eficiência e a produtividade por meio de várias fases do projeto. A geração adequada de gráficos, automação e gerenciamento de dados permitirão equipes de projeto para isolar tarefas, facilitar a colaboração e melhorar a comunicação para otimizar entrega de projeto. Assim, o Autodesk Dynamo fornece aos usuários a capacidade de extensão do BIM empregando dados e lógica por meio de um editor de algoritmo visual. (MORYKIN, et al., 2019)

4 IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS E VALIDAÇÃO

4.1. Preparação do modelo

Inicialmente, deve-se configurar o arquivo do modelo com os estilos e padrões que serão mostrados na representação gráfica do projeto. Na Figura 24, pode-se ver o fluxo de trabalho com o uso do Autodesk Civil 3D sem a automação, que será utilizado para a comparação com o fluxo com o uso das rotinas.

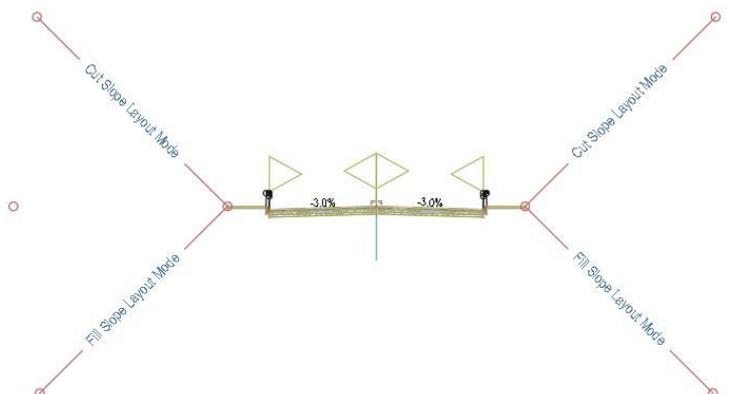
Figura 24 – Fluxo de trabalho sem automação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do levantamento topográfico fornecido, foi gerada a superfície do terreno na ferramenta Autodesk Civil 3D. Em seguida, foi selecionado o modelo de montagem que correspondesse melhor com a necessidade do tipo de pavimento, conforme a Figura 25 com possibilidade de edição de camada de base, sub-base, assentamento e revestimento.

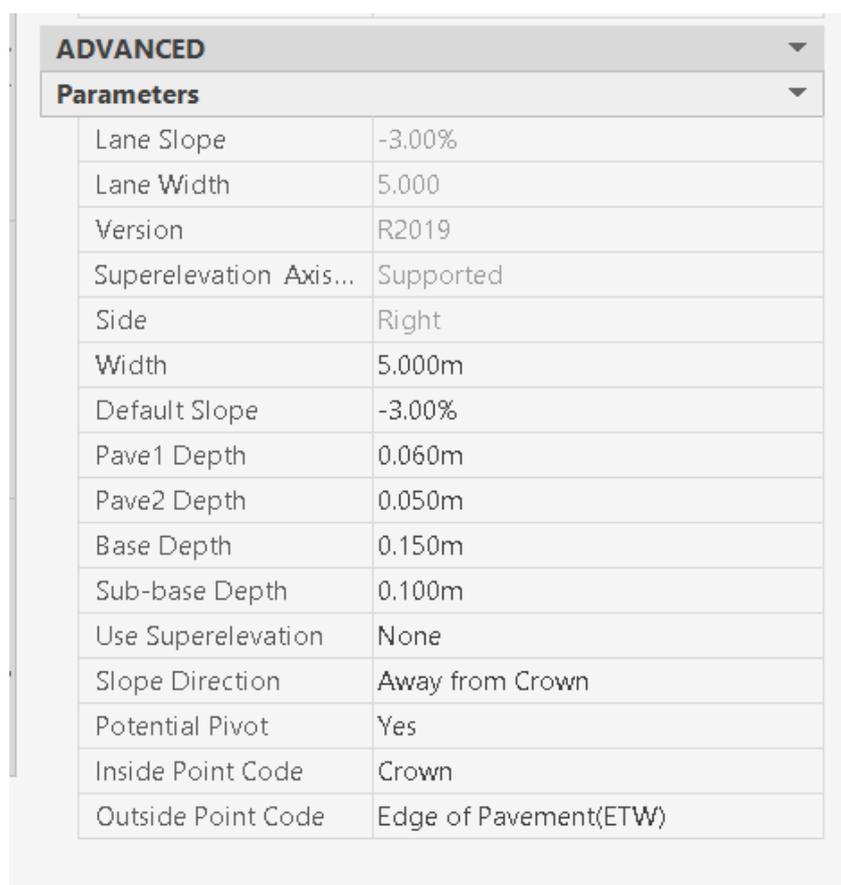
Figura 25 - Montagem selecionada para estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 26, verifica-se os campos de parâmetros padrões que são possíveis de serem editados inicialmente pelo Autodesk Civil 3D. Todavia, é válido ressaltar que existe a possibilidade de criação de novos parâmetros customizados, gerando diversas possibilidades de uso que podem ser relacionados as etapas do ciclo de vida do objeto em questão. Para o estudo, foram criados parâmetros relacionados a possibilidade de quantificação de materiais para posterior orçamento do pavimento.

Figura 26 - Propriedades da montagem selecionado para estudo.



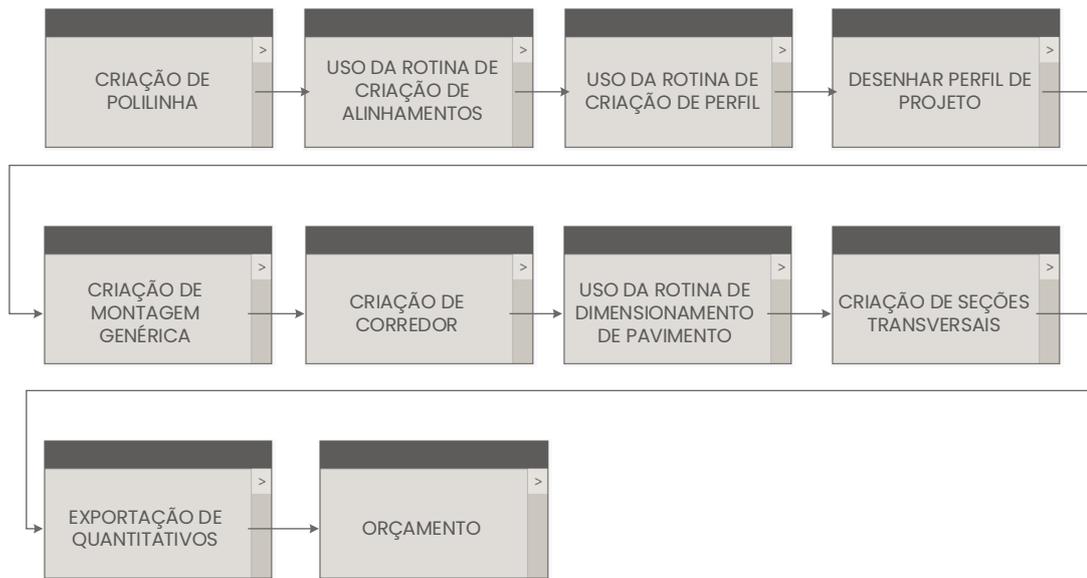
ADVANCED	
Parameters	
Lane Slope	-3.00%
Lane Width	5.000
Version	R2019
Superelevation Axis...	Supported
Side	Right
Width	5.000m
Default Slope	-3.00%
Pave1 Depth	0.060m
Pave2 Depth	0.050m
Base Depth	0.150m
Sub-base Depth	0.100m
Use Superelevation	None
Slope Direction	Away from Crown
Potential Pivot	Yes
Inside Point Code	Crown
Outside Point Code	Edge of Pavement(ETW)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi criada uma polilinha para o teste das rotinas de geração de alinhamento e perfil. Foram criados alinhamentos e perfis longitudinais, bem como, definiram-se as seções transversais, contemplando a espessura encontrada no dimensionamento do pavimento.

Na Figura 27, foi desenvolvido um fluxograma demonstrando a sequência de etapas a serem seguidas com o uso das rotinas que serão mostradas no tópico seguinte. Para o uso deste fluxo é necessário que, inicialmente, se tenham as premissas projetuais para que a escolha dos elementos utilizados na modelagem seja adequada em relação à parametrização necessária para a geração das informações ao final do processo.

Figura 27 - Fluxo de trabalho com o uso das rotinas

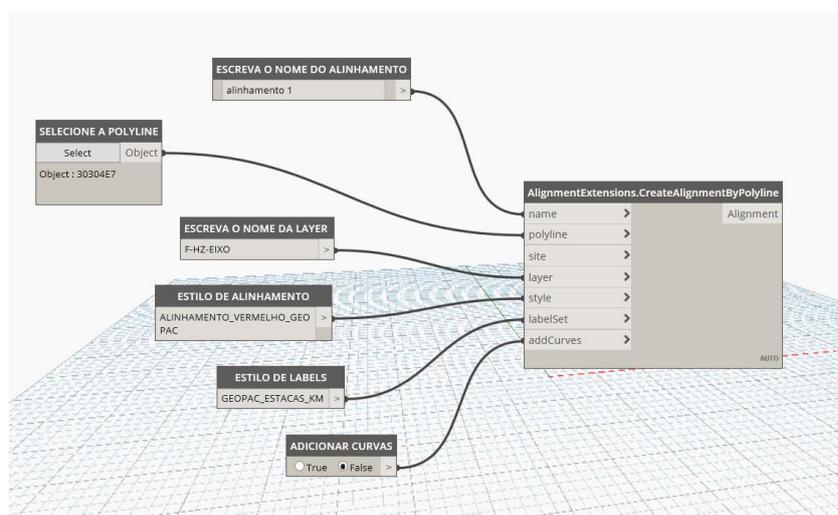


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Desenvolvimento de rotinas

Dentre as propostas de automação tem-se a primeira rotina desenvolvida na Figura 28, que converte polilinhas em alinhamentos. Dentre os seus dados de entrada, tem-se o nome do alinhamento a seleção da polilinha, os estilos e a adição ou não de curvas automáticas. Como alguns dos dados de entrada não precisam ser alterados de um projeto para outro, como os estilos e camadas. No uso da rotina, pode-se em alterar apenas o nome do alinhamento e a seleção da polilinha.

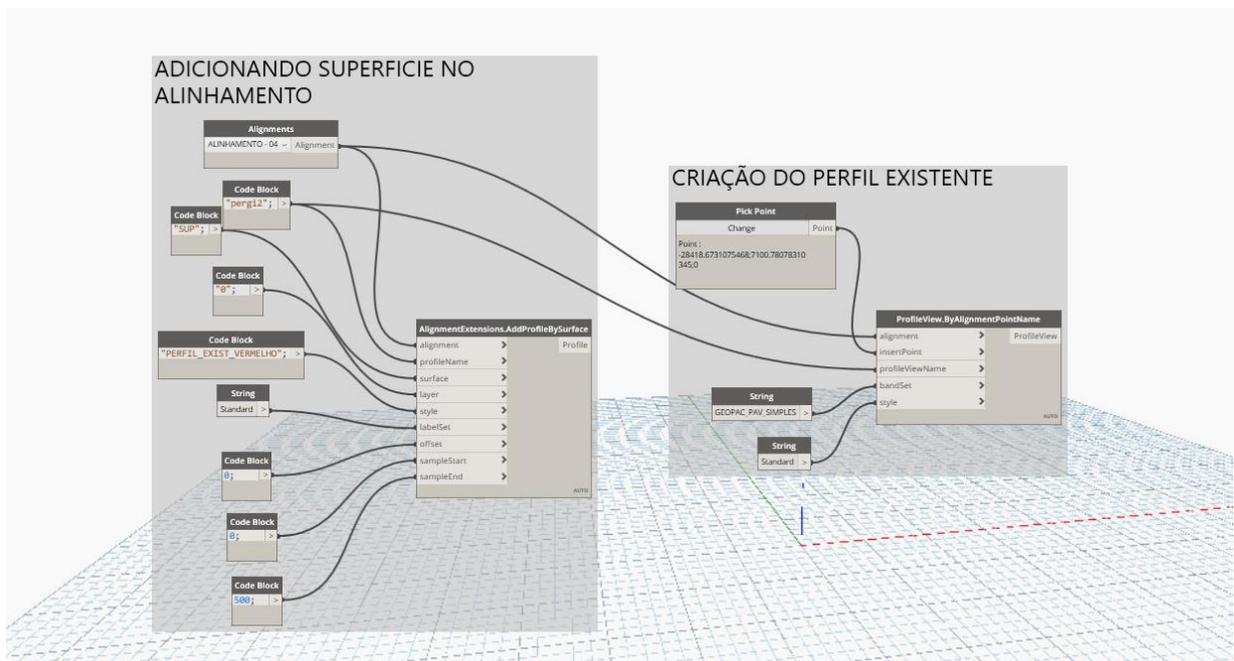
Figura 28 - Criação de alinhamento por meio de polilinha:



Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda rotina desenvolvida mostrada na Figura 29, possui a função de inserir uma superfície no alinhamento selecionado, possibilitando que o conjunto de nós seguintes gere uma vista de perfil com superfície adicionada anteriormente com estilos pré-definidos. Dentre os importantes dados de entradas, tem-se a seleção do ponto ao qual deseja-se inserir a vista de perfil, seleção do alinhamento em caixa suspensa, dentre as configurações de estilos que a depender do tipo de projeto não precisam ser alteradas.

Figura 29 - Criação de vista de perfil



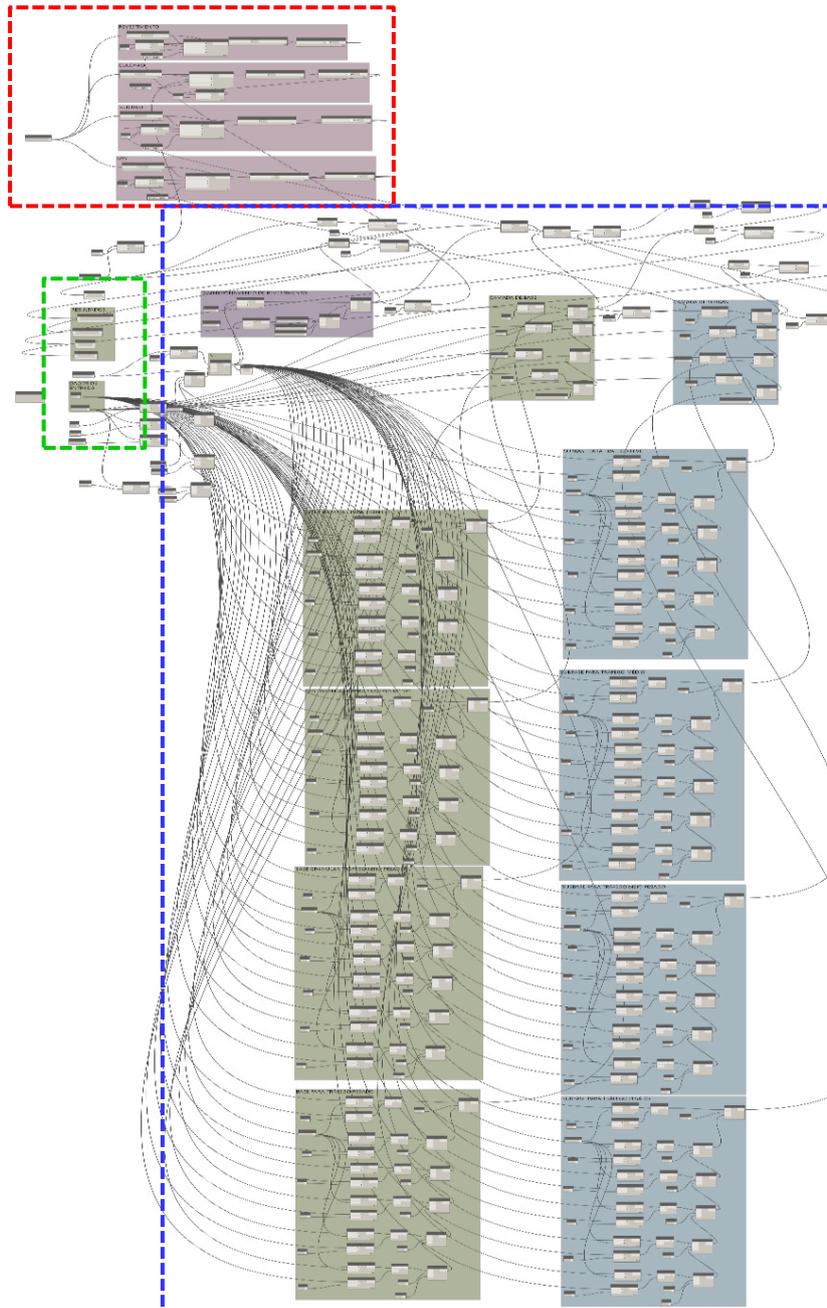
Fonte: Elaborado pelo autor.

A rotina desenvolvida para a exportação de quantitativos, mostrada na Figura 30, tem a função de exportar as informações parametrizadas para uma planilha eletrônica, na qual os dados poderão ser tratados em uma planilha pré-configurada e assim, facilmente um orçamento pode ser gerado. Na ferramenta Autodesk Civil 3D, existe nativamente implementada uma função de levantamento de materiais, mas por este método foi identificada uma dificuldade em relação a manipulação e exportação das informações de forma interoperável.

Nesse sentido, o uso da rotina visa facilitar a manipulação de informações, bem como servir de base para outras abordagens posteriores. Para a execução da rotina, basta selecionar um arquivo de planilha eletrônica do computador e a seleção dos elementos 3D que terão seus parâmetros exportados, como saída a rotina abre a planilha e insere as informações no arquivo.

Na Figura 32, pode-se observar no contorno azul o trecho da rotina que efetua o dimensionamento das camadas do pavimento, a sequência de grupos de retângulos verdes efetua o dimensionamento da sub-base, a sequência de grupos de retângulos azuis efetua o dimensionamento da camada de base e em lilás o dimensionamento da camada de revestimento do pavimento, bem como sua camada de assentamento. No contorno verde, tem-se os dados de entrada e os resultados do dimensionamento para visualização e conferência com os valores de cada camada separada e a espessura total do conjunto de camadas.

Figura 32 -Visão geral da rotina de dimensionamento de pavimento

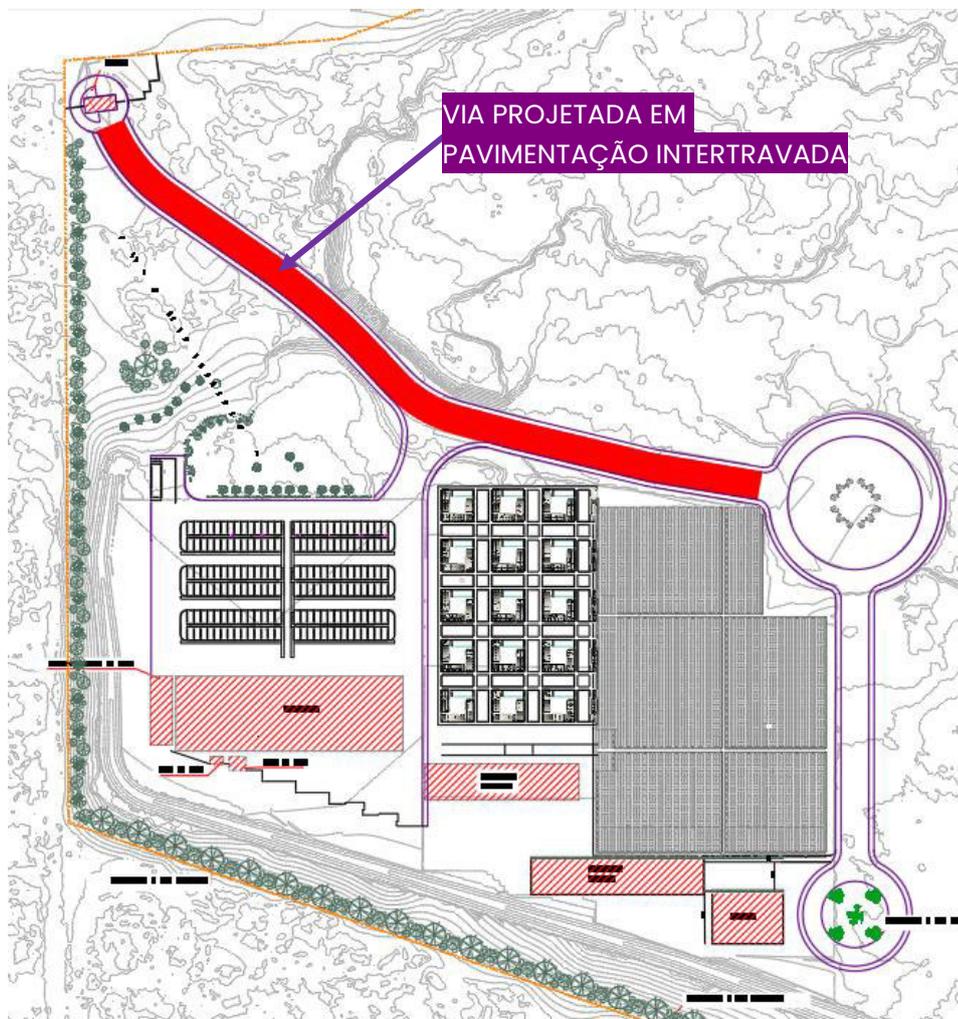


4.3. Validação do método

Para a validação do fluxo e das rotinas, foi desenvolvido um projeto de pavimentação em piso intertravado de uma via de um complexo funerário situado no município de Aquiraz-CE. Na Figura 33, está destacada em vermelho a via para o estudo em questão.

Dentre as premissas projetuais, tem-se que o revestimento do pavimento deverá ser em piso intertravado de concreto. O material de assentamento deverá ser colchão de areia, a caixa de rolamento (espaço reservado para tráfego de veículos com duas faixas de 5 metros) de 10 metros de largura e os passeios de 1,80 metros de largura nas duas laterais. O ISC de subleito fornecido para adoção no projeto foi de 12%.

Figura 33 - Implantação de complexo funerário

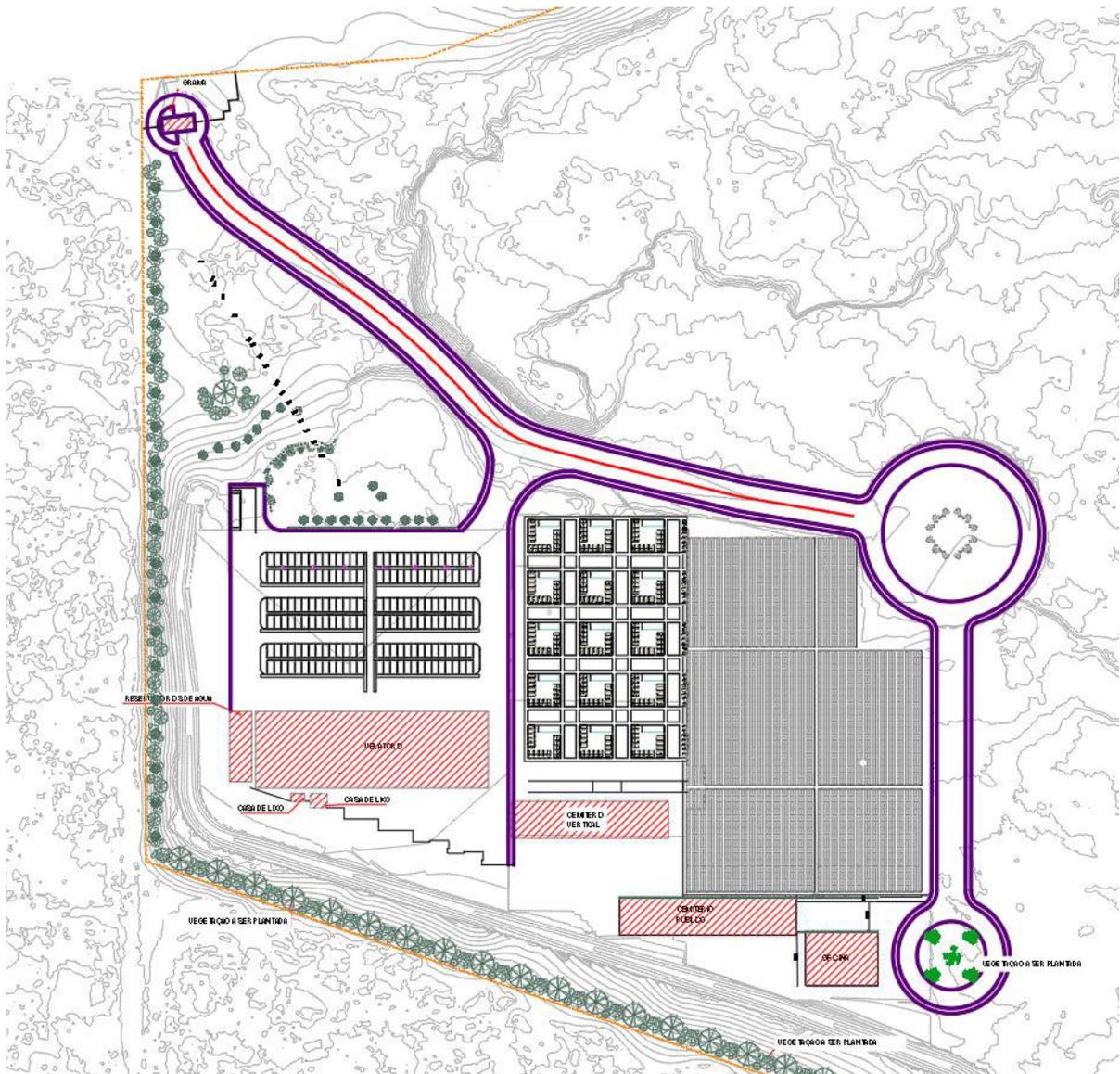


Fonte: Elaborado pelo autor.

Partindo das premissas projetuais, foi criada uma polilinha no eixo da via estudada. E a partir desta, ocorreu o início do uso da rotina de conversão de polilinha em alinhamento, de

acordo com a Figura 34. Em seguida, foi utilizada a rotina de criação de vista de perfil longitudinal. No qual o alinhamento criado foi selecionado para adição da superfície topográfica e, ainda, como outro dado de entrada, um ponto foi selecionado no modelo para definir onde a vista de perfil seria criada.

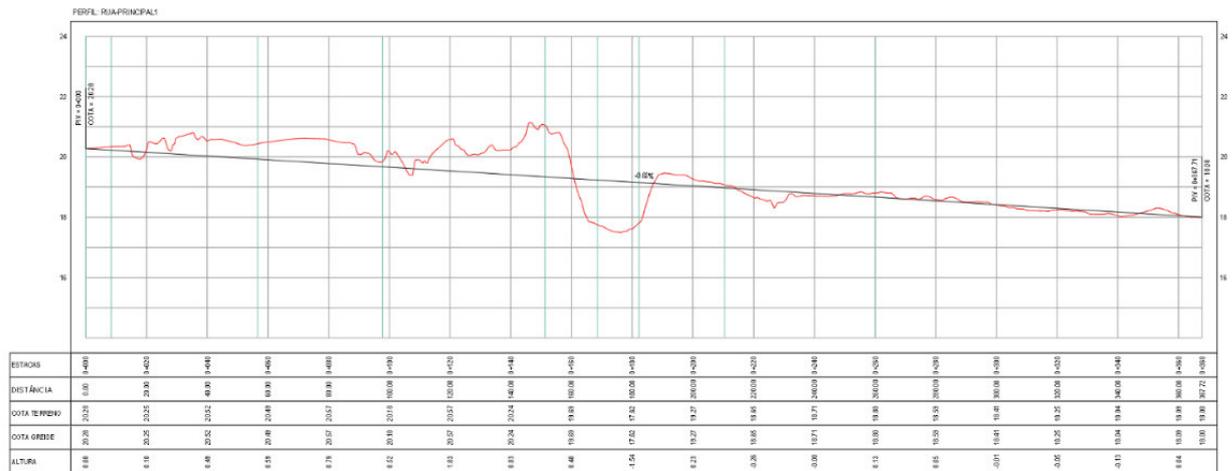
Figura 34 - Implantação de complexo funerário



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a vista de perfil longitudinal criada de acordo com a Figura 35, o perfil representado em vermelho trata-se do terreno natural gerado pelo levantamento topográfico. O perfil em preto, trata-se do greide projetado. Na parte inferior do perfil estão as informações relacionadas ao estaqueamento da via, cota de terreno natural, cota de greide projetado e a diferença entre os dois perfis.

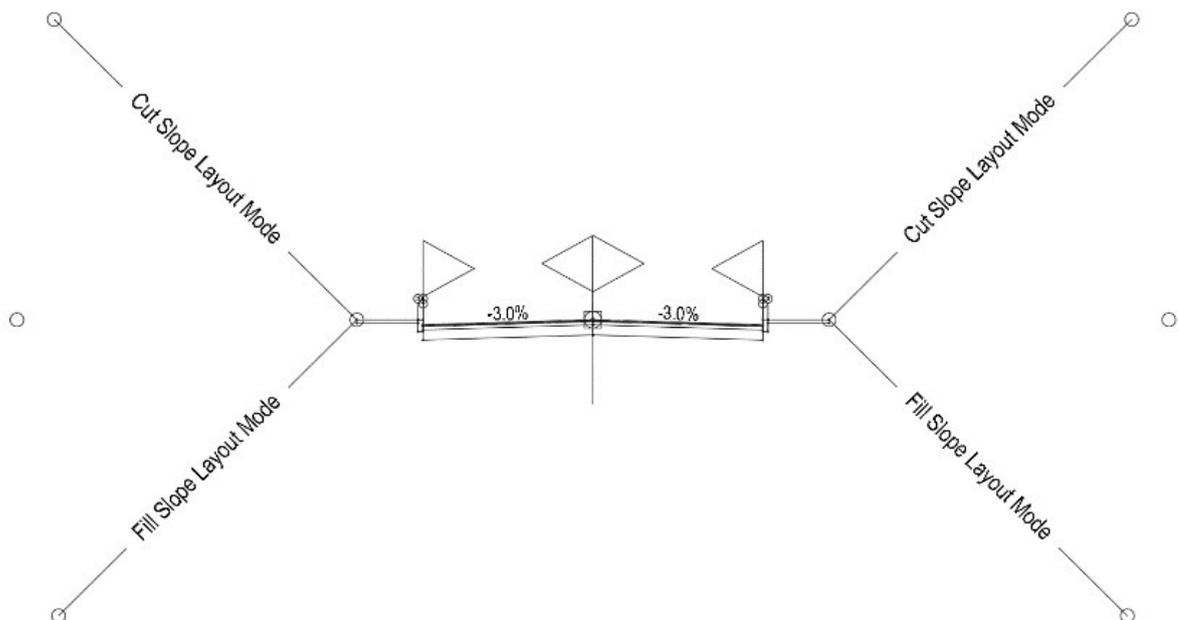
Figura 35 - Perfil longitudinal da via estudada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi criada uma montagem com uma seção tipo genérica, respeitando ao a caixa de rolamento da via de 10 metros, os passeios de 1,80 metros e meio fio de acordo com a Figura 36.

Figura 36 - Seção tipo da via projetada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a Figura 37, pode-se ver os parâmetros na janela de propriedades da montagem, onde as informações relacionadas as camadas do pavimento não foram alteradas nesse momento. O *pave 1 Depth* se trata da camada de revestimento considerada, o *pave 2 Depth*

se trata da camada de assentamento do pavimento. *Base Depth* se trata da camada de base e *sub-base Depth* se trata da camada de sub-base. Esses parâmetros serão alterados conforme será mostrado posteriormente.

Figura 37 - Propriedades de montagem

ADVANCED	
Parameters	
Lane Slope	-3.00%
Lane Width	5.000
Version	R2019
Superelevation Axis of R...	Supported
Side	Right
Width	5.000m
Default Slope	-3.00%
Pave1 Depth	0.025m
Pave2 Depth	0.025m
Base Depth	0.100m
Sub-base Depth	0.300m
Use Superelevation	None
Slope Direction	Away from Crown
Potential Pivot	Yes
Inside Point Code	Crown
Outside Point Code	Edge of Pavement(ETW)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi utilizada a rotina de dimensionamento de pavimento, na qual foram inseridos os parâmetros de entrada informados nas premissas de projeto. E a partir disso, foram gerados os resultados como mostra a Figura 38.

Figura 38 – Resultados do dimensionamento do pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como mostrado anteriormente, a rotina de dimensionamento além de gerar os resultados, também preenche as informações das propriedades da montagem de forma automática demonstrado na Figura 39.

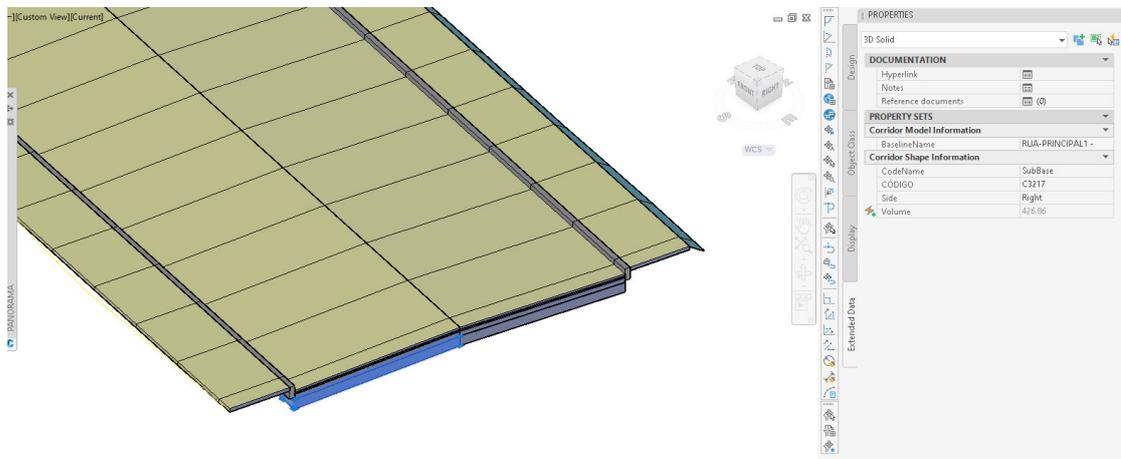
Figura 39 – Propriedades da montagem dimensionado

ADVANCED	
Parameters	
Lane Slope	-3.00%
Lane Width	5.000
Version	R2019
Superelevation Axis of R...	Supported
Side	Right
Width	5.000m
Default Slope	-3.00%
Pave1 Depth	0.080m
Pave2 Depth	0.050m
Base Depth	0.150m
Sub-base Depth	0.150m
Use Superelevation	None
Slope Direction	Away from Crown
Potential Pivot	Yes
Inside Point Code	Crown
Outside Point Code	Edge of Pavement(ETW)

Fonte: Elaborado pelo autor.

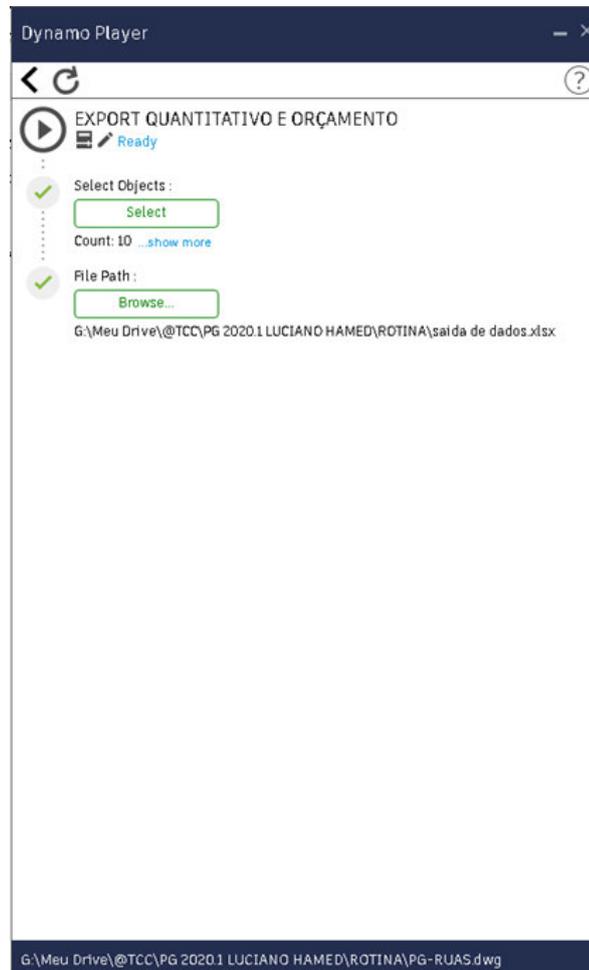
Na Figura 40, tem-se a modelagem 3D, e a janela de propriedades, na qual existem várias informações agrupadas nas abas laterais. Para o estudo a aba que possuem as informações que serão utilizadas, é a “*Extended Data*”, na qual se pode ver informações geométricas, descritivas e código relacionado a tabela de referência de custo. Na janela de propriedades é possível criar vários outros parâmetros, como por exemplo, periodicidade de manutenção, código de aquisição, local para retirada do material, característica, dentre diversas outras que podem ser úteis no decorrer do ciclo de vida.

Figura 40 – Modelagem 3D da Rua



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a exportação dos quantitativos foi utilizada a rotina mostrada na Figura 41, e então os objetos do modelo 3D e o arquivo da planilha foram selecionados.

Figura 41 – Rotina de exportação de quantitativos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, a rotina fez a manipulação no arquivo da planilha permitindo a automatização do orçamento destes itens configurados anteriormente. Após a execução da modelagem, a rotina de dimensionamento insere informações no modelo, então foi possível vincular aos elementos informações relacionadas ao código de serviços de uma base de preços. E a partir disso, foi gerada a lista de quantidades por meio da rotina de exportação de quantitativos, e então foi possível gerar um orçamento integrado por meio de uma planilha eletrônica como mostrado na Figura 42, para este caso a SEINFRA foi a base de preços utilizada.

Figura 42 – Orçamento gerado por meio de planilha eletrônica

01		ORÇAMENTO RUA PRINCIPAL				88,68%	12,00%	27,00%	01/2021	
ITEM	REFERENC	CODIG	DESCRIÇÃO	U	QUANTIDA	PRECO UNIT. (S/ BE)	BDI	PRECO UNIT. (C/ BE)	VALOR	%
1			PAVIMENTAÇÃO						273.572,96	100,00%
1.1			SUBBASE						273.572,96	100,00%
01.01.01	SEINFRA - S	C3217	ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SOLOS S/ MISTURA DE MATERIAIS (S/TRANSP)	M3	846,04	19,39	27,00%	24,63	20.837,99	7,62%
01.01.02	SEINFRA - S	C3132	BASE						57.496,94	21,02%
			BASE DE BRITA GRADUADA (S/TRANSP)	M3	423,02	107,02	27,00%	135,92	57.496,94	21,02%
01.01.03	SEINFRA - S	C4917	REVESTIMENTO						195.238,03	71,37%
			PISO INTERTRAVADO TIPO TIOJUNHO (20X10X8)CM 35MPA, COR CINZA - COMPACTAÇÃO MECANIZADA	M2	2.820,14	54,51	27,00%	69,23	195.238,03	71,37%
VALOR DO ORÇAMENTO:				RESPONSÁVEL:				TOTAL SERVIÇOS	% SERVIÇOS	
DUZENTOS E SETENTA E TRÊS MIL, QUINHENTOS E SETENTA E DOIS REAIS E NOVENTA E SEIS CENTAVOS								273.572,96	100,00%	
								TOTAL MATERIAL	% MATERIAIS	
								0,00	0,00%	
								TOTAL GERAL		
								273.572,96		

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na primeira etapa metodológica, foi possível obter como resultados, em relação a revisão bibliográfica, uma perspectiva generalista sobre o que foi desenvolvido até agora e prospectar projeções futuras no tocante ao BIM e a programação visual. Em seguida, foram desenvolvidas implementações de melhorias com o uso de programação visual associada a uma ferramenta BIM, e na etapa posterior foi possível validar o método e avaliação do uso do BIM e da programação visual no ciclo de vida de um pavimento.

O estudo de caso nesta pesquisa mostrou diversos aspectos relacionados ao uso do BIM e programação visual no desenvolvimento de um projeto de pavimentação do complexo funerário. Dentre os benefícios percebidos, pode-se citar a facilidade de construção virtual paramétrica, na qual as alterações no modelo resultam em alterações nas representações de desenho (perfis, seções e alinhamentos) e quantitativos de forma automática. Ademais, a possibilidade de inserção de informação parametrizada no modelo tem relevância, tanto pelo uso de funções nativas das ferramentas, como com o uso de programação visual.

No tocante ao uso das rotinas, percebeu-se uma otimização na execução de etapas do projeto. Outro ganho percebido foi o uso do Dynamo Player mostrado na Figura 43, que permite uma experiência mais intuitiva ao usuário. E nos casos em que o usuário da rotina, não tenha domínio sobre o código da programação visual, o uso do Dynamo Player reduz a possibilidade de alterações equivocadas do programa no decorrer do processo de execução, como a alteração de algum nó ou linha de código customizada sem a intenção de alterar.

Figura 43 – Interface Dynamo Player

Dynamo Player

< ↻ ?

▶ Dimensionamento de Pavimento intertravado
 📄 ✎ Ready

✓ TIPO DE TRÁFEGO :

✓ CBR :

✓ CATEGORIAS DE NÚMERO N :

✓ DIGITE O NÚMERO N :

✓ NOME DO SUBASSEMBLY :

🚩 CAMADA DE REVESTIMENTO :

🚩 ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO :

🚩 CAMADA DE BASE :

🚩 CAMADA DE SUBBASE :

🚩 COLCHÃO DE AREIA :

G:\Meu Drive\@TCC\PG 2020.1 LUCIANO HAMED\ROTINA\teste-rotinas.dwg

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ademais, com as rotinas prontas, o processo de projeto se torna mais rápido, com resultados iguais aos manuais e menos suscetíveis a erros, quando comparados com tradicional, em razão das ações manuais dependentes do usuário foram reduzidas consideravelmente e passaram a ser alimentadas diretamente pela rotina já validada anteriormente.

As rotinas implementadas resultaram em ganho de 53% do tempo conforme mostrado no comparativo da Tabela 2. Para o comparativo, foram criados dois arquivos idênticos do projeto, desenvolvidos pelo mesmo usuário, um com o uso do processo convencional, consultando as tabelas e preenchendo os valores manualmente, e o outro desenvolvido com o auxílio das rotinas implementadas.

Tabela 2 - Comparativo de tempo de execução com automação e sem automação

	SEM O USO DE ROTINAS	COM O USO DE ROTINAS
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	CRIAÇÃO DE POLILINHA, CRIAÇÃO DE ALINHAMENTO, CRIAÇÃO DE PERFIL, CRIAÇÃO DA MONTAGEM, CRIAÇÃO DE CORREDOR, DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO, CRIAÇÃO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS, CRIAÇÃO DE QUADRO DE QUANTIDADES.	CRIAÇÃO DE POLILINHA, CRIAÇÃO DE ALINHAMENTO, CRIAÇÃO DE PERFIL, CRIAÇÃO DA MONTAGEM, CRIAÇÃO DE CORREDOR, DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO, CRIAÇÃO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS, CRIAÇÃO DE QUADRO DE QUANTIDADES.
DIMENSIONAMENTO	VERIFICAÇÃO DE INFORMAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO NAS TABELAS	CALCULADO COM ROTINA
PREENCHIMENTO DE PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO	MANUAL	AUTOMÁTICO
DURAÇÃO DO TESTE	10 MINUTOS E 59 SEGUNDOS	05 MINUTOS E 49 SEGUNDOS

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados adquiridos por meio das rotinas desenvolvidas são os mesmos que os resultados gerados manualmente, garantindo confiabilidade no tocante aos valores encontrados no dimensionamento por exemplo, com o ganho na velocidade em que essas informações são adicionadas no modelo e diminuindo a possibilidade de erro humano. Após a realização do teste, foi possível reunir as informações geradas no modelo e classifica-las em cada etapa do ciclo de vida.

Pelas especificações indicadas por Cursino (2017), o LOD encontrado neste projeto foi o 300, uma vez que já possui informações relacionadas a execução de projeto. Para se chegar ao LOD 400, seria necessário a obra estar construída e o projeto estar adequado conforme a construção. E para atingir o LOD 500, seria necessário o nível de informação com elementos de operação e gestão da rodovia, conforme a Figura 6.

Na **Tabela 3**, pode se ver uma interface de combinação entre as etapas do ciclo de vida e as dimensões do BIM. Essas informações que permeiam o ciclo de vida, são inseridas gradativamente no “modelo BIM”, que para este caso pode ser considerado como o conjunto de modelos geométricos, informações e documentos que compõem a construção virtual do empreendimento.

Tabela 3 – Interface dimensões do BIM e Ciclo de vida do empreendimento

DIMENSÕES BIM	CICLO DE VIDA DO EMPREENDIMENTO		
	PROJETO	CONSTRUÇÃO	OPERAÇÃO
3D	MODELAGEM AUTORAL, ANIMAÇÕES, ESTUDOS DE VIABILIDADE, ESTUDOS PRELIMINARES, DETECÇÃO DE CONFLITOS. CAPTURA REALIDADE PARA LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.	MODELO DE COORDENAÇÃO, DETECÇÃO DE CONFLITOS, CRIAÇÃO DE MODELO “COMO CONSTRUÍDO”, CAPTURA DE REALIDADE PARA FISCALIZAÇÃO E MEDIÇÃO DE OBRAS.	MODELO DE COORDENAÇÃO, CAPTURA DE REALIDADE PARA MONITORAMENTO, ANÁLISE E INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES RELACIONADAS A OPERAÇÃO DO EMPREENDIMENTO, INSERÇÃO DE DADOS COBIE NO MODELO.
4D	SIMULAÇÕES DE FASES DO PROJETO, PLANEJAMENTO FÍSICO DA OBRA, LEAN OFFICE.	PLANEJAMENTO FÍSICO, CONTROLE VISUAL DA OBRA, SIMULAÇÃO DE SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES.	CONTROLE DE OPERAÇÕES, GESTÃO DE ESPAÇOS.
5D	ESTIMATIVA DE CUSTOS, EXTRAÇÃO DE QUANTIDADES, ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA.	FLUXO DE CAIXA, COMPRA INSUMOS E SERVIÇOS, REPLANEJAMENTOS FINANCEIROS, SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FINANCEIROS.	FLUXO DE CAIXA, CUSTOS PERIODICOS, CUSTOS DE MANUNTEÇÕES PREVENTIVAS, PREDITIVAS E CORRETIVAS, CUSTOS INTERVENÇÕES NÃO PROGRAMADAS.
6D	SIMULAÇÕES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, SIMULAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL, SIMULAÇÃO DE ENERGIA INCORPORADA	CONTROLE DE DESPERDICIOS, GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	GESTÃO DE RESÍDUOS, MONITORAMENTO DE SISTEMAS
7D	ANÁLISE DE CICLO DE VIDA, CRIAÇÃO DE MANUAIS DE USO DO EMPREENDIMENTO, GESTÃO DO ESCRITÓRIO E DOS ATORES ENVOLVIDOS	GESTÃO DE CANTEIRO, SEGURANÇA DAS PESSOAS, CONTROLE DE ESTOQUE.	ANÁLISE DE DADOS PARA OTIMIZAR O DESEMPENHO DO EMPREENDIMENTO, INTEGRAÇÃO DE DADOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE GESTÃO DE FACILIDADES

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto importante, é que o ciclo de vida não ocorre de forma linear, assim, na prática o que acontece é que as etapas possuem pontos de interseção. Por exemplo, após o suposto termino da etapa de projeto e início da etapa de construção, podem ocorrer mudanças, seja pelas condições climáticas, alterações de métodos construtivos, dentre outros fatores. Dessa forma, durante a construção, é possível que a etapa de projeto ainda esteja em execução, e o mesmo ocorre entre as etapas de construção e operação, havendo assim, pontos de interseção.

Tabela 4 - Aplicações para as informações geradas pelo modelo BIM

ETAPAS DO CICLO DE VIDA	INFORMAÇÕES	APLICAÇÕES
PROJETO	MODELO 3D , COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS, QUANTIDADE, CUSTO.	PARA A FASE DE PROJETO É POSSIVEL REALIZAR SIMULAÇÕES TROCANDO MATERIAIS, FORMATOS GEOMÉTRICOS, OU AINDA VERIFICAR A VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DA EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO.
CONSTRUÇÃO	MODELO 3D , COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS, QUANTIDADE, CUSTO.	NESTA FASE, É POSSIVEL REALIZAR SIMULAÇÕES DE SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES DE EXECUÇÃO. VERIFICAÇÃO DE INCONSISTENCIAS, VERIFICAÇÃO ENTRE O PROJETADO E O CONSTRUIDO PARA FINS DE FISCALIZAÇÃO COM O AUXILIO DE LEVANTAMENTO COM NUVEM DE PONTOS.
OPERAÇÃO	MODELO 3D , COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS, QUANTIDADE, CUSTO.	NA FASE DE OPERAÇÃO ESSAS INFORMAÇÕES AUXILIAM NA MANUTENÇÃO DO EMPREENDIMENTO, VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA COM O AUXILIO DE NUVEM DE PONTOS, COMPARANDO O EXECUTADO INICIALMENTE E O ATUAL. É POSSÍVEL AINDA, REALIZAR ESTIMATIVA DE CUSTOS DE INTERVENÇÕES QUE SE FAÇAM NECESSÁRIAS NESTA ETAPA PÓS OBRA, OU AINDA, A DEMOLIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta perspectiva, são vastas as aplicações do BIM, de forma a atender as três grandes etapas do ciclo de vida supracitado. Para cada aplicação específica, existem ferramentas mais adequadas e que devido a interoperabilidade entre os sistemas, tornam possível a construção de um modelo integrado que absorve as informações relacionadas a cada etapa do ciclo, sendo útil para o acompanhamento e controle da construção real.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro objetivo específico deste trabalho foi: implementar rotinas de programação visual que auxiliem na diminuição do tempo de execução do processo de projeto de pavimentação. Este objetivo foi alcançado, como pode ser vista nas figuras 27, 28, 29, 31 e tabela 2.

O segundo foi: validar as rotinas por meio de um projeto de pavimentação de uma via. Este objetivo foi atingido através da validação do método apresentado no capítulo 5.

O terceiro foi: avaliar a utilidade das informações geradas no modelo BIM na etapa de projeto para as outras etapas do ciclo de vida do projeto. Este objetivo alcançado por meio da integração das informações entre a revisão bibliográfica e o estudo de caso. Assim, as informações pertinentes ao estudo foram elencadas e compiladas, conforme descrito nas tabelas 3 e 4.

Essa pesquisa possibilitou a avaliação do uso do BIM e da programação visual nas etapas de projeto construção e operação de uma via de pavimento intertravado. Esse objetivo foi atingido por meio de um estudo de caso de um projeto de pavimentação de um complexo funerário situado em Aquiraz-CE, onde foram utilizadas uma ferramenta BIM e uma ferramenta de programação visual, aplicando alguns conceitos elencados na revisão bibliográfica.

O uso do BIM aliado a programação visual gera um grande avanço no setor da infraestrutura e dá subsídios para que futuramente seja possível a aplicação dos gêmeos digitais. Assim, a pesquisa buscou contribuir para o uso do BIM e da programação visual no setor de projetos de infraestrutura. Com o uso do modelo BIM é possível aproveitar informações que são geradas na etapa de projeto e explorá-las nas outras etapas do ciclo de vida, seja no acompanhamento e controle de obras ou numa operação futura. Além disso, a programação visual viabiliza no conceito automatizado do BIM, em que permite a diminuição de atividades repetitivas nos processos, não apenas na etapa de projeto.

Sugere-se para trabalhos futuros, o desenvolvimento de rotinas com foco no dimensionamento de outros tipos de pavimento (asfáltico, placas de concreto, dentre outros) bem como a inserção de parâmetros de relacionados a durabilidade e ao comportamento do pavimento ao longo do tempo. Outra pesquisa que pode ser trabalhada é o uso do método Medina de dimensionamento por meio da programação visual integrando os dois sistemas e automatizando o processo de projeto. Pode ser desenvolvido um complemento a este trabalho, de forma a criar automaticamente elementos tridimensionais no projeto de infraestrutura, como

postes, redes elétricas, sinalização, dentre outras disciplinas que compõem o projeto de infraestrutura. Pode ser desenvolvido uma verificação entre o gerenciamento de pavimentos pelos sistemas convencionais e com o auxílio de ferramentas BIM, para a tomada de decisão no tocante a indicadores financeiros para a tomada de decisão. Desenvolvimento de uma solução por meio de programação com multi-cenários para estudo de viabilidade interativa vinculada ao custo, de forma que à medida que o projeto for modelado, seja mostrado o custo associado à sua implantação. Dimensionamento e modelagem automática de redes de abastecimento de água, esgoto e drenagem superficial e profunda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15953 Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução. **Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.**

ALVES, C. M. F. et al. **O que são os BIM?** [S.l.]: [s.n.], 2012. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/bestof/12_13/files/REL_12MC08_03.PDF>.

ARNAL, I. P. Why don't we start at the beginning? The Basics of a Project: Lean Planning and Pre-Construction. **BIM COMMUNITY**, 15 jul. 2018. Disponível em: <<https://www.bimcommunity.com/news/load/490/why-don-t-we-start-at-the-beginning>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

AUTODESK. Dynamo Primer, 2019. Disponível em: <https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html>. Acesso em: 07 Outubro 2020.

BELLUOMINI, N. Por dentro da Autodesk Brasil. **Blog Autodesk**, 02 JANEIRO 2017. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/por-dentro-da-autodesk-brasil/2017/01/02/a-evolucao-do-cad/>>. Acesso em: 07 AGOSTO 2020.

BIM EXCELLENCE. BIM Dictionary. **BIM Dictionary**, 31 Julho 2019. Disponível em: <<https://bimdictionary.com/en/>>. Acesso em: 06 Outubro 2020.

BRANDÃO, R. D. A. AVALIAÇÃO DO USO DO BIM PARA O ESTUDO DE OBRAS. **AVALIAÇÃO DO USO DO BIM PARA O ESTUDO DE OBRAS**, Salvador, - - 2014. Disponível em: <<http://www.gpsustentavel.ufba.br/downloads/BIM%20Infraestrutura.pdf>>. Acesso em: 07 Outubro 2020.

BRASIL. DECRETO Nº 9.983. **Presidência da República**, Brasília, 22 Agosto 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm>. Acesso em: 05 jan. 2021.

BRASIL. DECRETO Nº 10.306, Brasília, 02 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

BRASIL. Lei 14.026/2020. **Presidencia da República**, 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CBIC. **Fundamentos BIM - Parte 1:** Implementação do BIM para Construtoras e

Incorporadoras. Brasília: CBIC, 2016.

CURSINO, P. L. S. Desmistificando o BIM com foco em Infraestrutura., 26 029 2017. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/mundoaec/desmistificando-o-bim-com-foco-em-infraestrutura/>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CURSINO, P. L. S. BIM para Infraestrutura de Transportes Rodoviários, 19 Março 2018. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/mundoaec/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviaros/sportes Rodoviários>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

DNIT. BIM no DNIT, 09 mar. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

DODGE DATA & ANALYTICS. **The Business Value of BIM for Infrastructure 2017**. Hamilton, NJ. 2017.

EASTMAN, C. et al. **MANUAL DE BIM**. PORTO ALEGRE: BOOKMAN, 2014.

EASTMAN, C. M. An Outline of the Building Description System. **Carnegie-Mellon Univ**, p. 23, 1974.

KOUTAMANIS, A. Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? **Automation in Construction**, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314426>>. Acesso em: 27 Março 2021.

KREIDER, R. G.; MESSNER, J.. **THE USES OF BIM: Classifying and Selecting BIM Uses**. University Park: The Pennsylvania State University, 2013.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations**. New York: McGraw-Hill Construction Series, 2008.

MAPA DA OBRA. PISO INTERTRAVADO: SOLUÇÃO SEGURA, ECONÔMICA E DURÁVEL, 13 Março 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/gestao/piso-intertravado-solucao-segura-economica-e-durave/>>. Acesso em: 07 Outubro 2020.

MEDEIROS, G. R. L. Projeto de sistemas prediais hidráulicos em BIM: adequação dos métodos de cálculo às normas brasileiras através da programação visual, Fortaleza, 2017. Acesso em: 12 out. 2020.

MORYKIN, S.; KAHLE,. **Mundane Civil 3D Tasks to Automate with Dynamo for Civil 3D**. Autodesk University. Las Vegas: Autodesk. 2019.

PINHEIRO, I. D. S. **APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM NA GESTÃO DE FACILIDADES**. SALVADOR: Monografia - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2016.

PMI, PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)/Project Management Institute**. Newtown Square: Project Management Institute, 2017.

PMSP. **DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS**. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, v. IP 06, 2004.

SANTOS, E. T. et al. BIM PARA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, 19 Agosto 2019. 1-8. Disponível em: <<https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/180>>. Acesso em: 07 Outubro 2020.

SENA, C. P. D. **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#**. SÃO CARLOS: [s.n.], 2019.

SEVERINO, A. J. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO**. São Paulo: Cortez, 2013.

SILVA, E. L. D. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

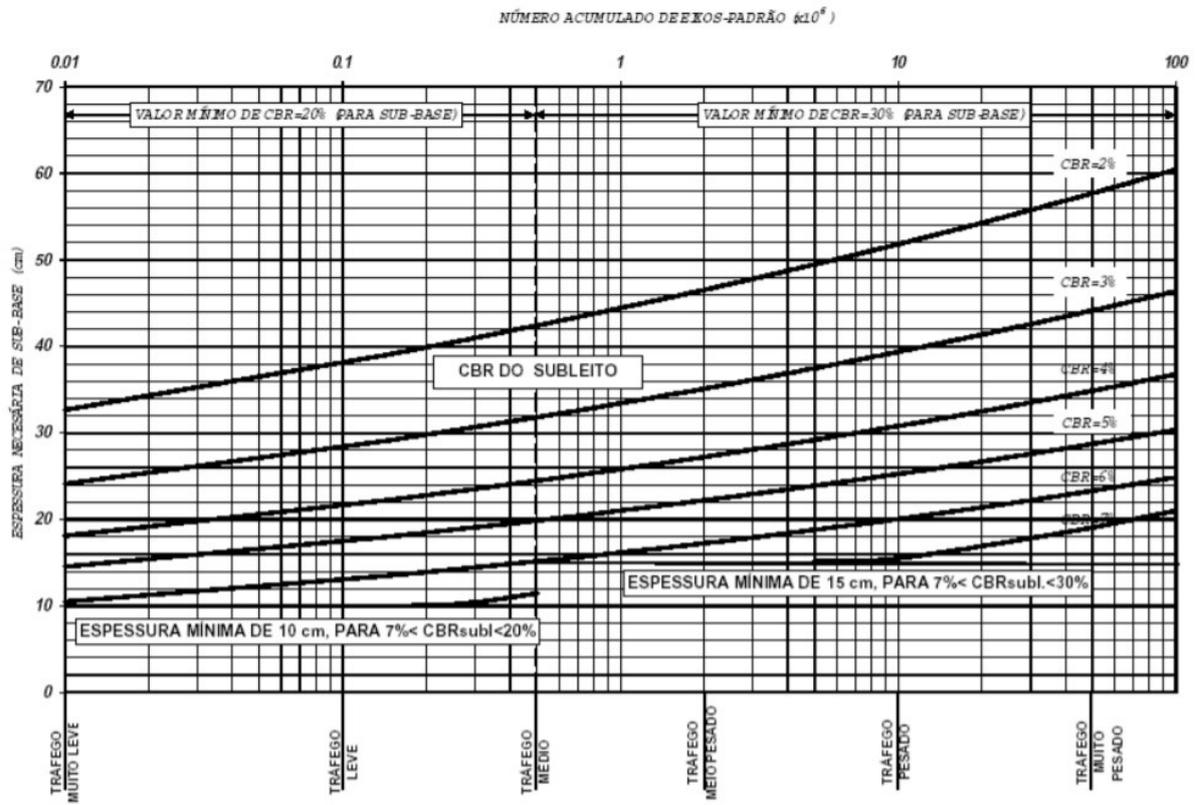
YONSEI UNIVERSITY ET AL. Rail BIM 2030 Roadmap. **YONSEI UNIVERSITY**, Seodaemun-gu, 17 ago. 2018. Disponível em: <<http://big.yonsei.ac.kr/railbim/>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

ANEXO A – NÚMERO N CARACTERÍSTICO COM TIPO DE TRÁFEGO

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3×10^6 ⁽¹⁾	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

Fonte: IP 06 - 2004

ANEXO B – ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DE SUB BASE



Fonte: IP 06 - 2004

ANEXO C – TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE BASE

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H_{BG})											
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito											
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20	
(10 ¹)	27	21	17									
2 x 10 ³	29	24	20	17								
4 x 10 ³	33	27	23	19	17							
8 x 10 ³	36	30	25	22	19							
(10 ⁴)	37	31	26	23	20							
2 x 10 ⁴	41	34	29	25	22	17						
4 x 10 ⁴	44	37	32	28	24	19						
8 x 10 ⁴	48	40	35	30	27	21	17					
(10 ⁵)	49	41	36	31	28	22	18					
2x10 ⁵	52	44	38	34	30	24	19					
4x10 ⁵	56	47	41	36	32	26	21					
8x10 ⁵	59	51	44	39	34	28	23					
(10 ⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16				
2x10 ⁶	64	55	47	42	38	30	25	17				
4x10 ⁶	68	58	50	45	40	33	27	19				
8 x 10 ⁶	71	61	53	47	42	34	29	20				
(10 ⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21				

Mín. 15

Fonte: IP 06 - 2004

ANEXO D – TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE REVESTIMENTO

TRÁFEGO	ESPESSURA REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N \geq 10^7$	10,0 cm	50 MPa

Fonte: IP 06 - 2004