

Gerenciamento e planejamento de projetos de infraestrutura rodoviária em BIM com o foco na gestão de produção e integração de ativos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.45>

**José Vinícius Silva Martins¹,
Paulo Santos², Matheus Barros³**

¹ *Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanha, ID ORCID 0000-0002-4158-2639*

² *Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, ID ORCID 0000-0002-9801-1423*

³ *Universidade de Brasília, Brasília, Brasil ID ORCID 0000-0001-7422-8575*

Resumo

O setor de infraestrutura de transportes no Brasil desempenha um papel de suma importância para o desenvolvimento socio-econômico. O país possui uma ampla rede de rodovias, que permitem a integração nacional. A interoperabilidade entre softwares de infraestrutura com a adoção do *Building Information Modeling* (BIM), ferramentas de planejamento e orçamentação, e *Geographic Information Systems* (GIS) é fundamental para alcançar uma abordagem holística e eficiente na gestão de projetos rodoviários. Assim, este trabalho aborda o gerenciamento e planejamento de projetos de infraestrutura rodoviária utilizando o BIM em conjunto com softwares de gestão de produção, embasados na premissa de que a compatibilização e integração de ativos, em um só ambiente, ou modelo, permite a mitigação de riscos e a redução de custos. Dessa forma, objetiva-se analisar os requisitos de ativos (IAM) e examinar o nível atual de maturidade dos softwares Autodesk Navisworks, Trimble Tilo, Trimble Vico Office e AltoQI Visus, nas dimensões de tempo e custo, além de destacar obstáculos e mitigar riscos de perda de informações. Um estudo de caso de um viaduto e seus acessos é apresentado como aplicação prática, demonstrando uma integração bem-sucedida de softwares BIM e de gestão de produção, resultando em economia de tempo e recursos.

1. Introdução

A infraestrutura de transportes no Brasil se configura como elemento primordial para o fomento do desenvolvimento socio-econômico, caracterizando-se por uma extensa malha rodoviária que propicia a integração nacional. Em face deste cenário estratégico, a aplicação de tecnologias avançadas na gestão de ativos é um agente propulsor para a maior eficácia no planejamento, otimização operacional, implementação de manutenção preventiva e facilitação do processo decisório [1]–[4]. No epicentro destes avanços, o *Building Information Modeling* (BIM) figura como uma metodologia inovadora, conferindo expressivos avanços à gestão de projetos de infraestrutura [5]. A interoperabilidade entre softwares especializados em infraestrutura com uso do BIM, ferramentas de planejamento de produção e *Geographic Information Systems* (GIS) se revela fundamental para alcançar uma abordagem integrada e eficiente na condução de projetos dessa magnitude [6], [8].

O presente trabalho propõe uma análise aprofundada no âmbito do gerenciamento e planejamento de projetos rodoviários, destacando a sinergia entre o BIM e os softwares de gestão de produção. A premissa essencial repousa na compatibilização e integração de ativos em um ambiente único, ou modelo, visando a mitigação de riscos e a redução de custos associados ao ciclo de vida [9], [10].

A análise apresentada concentra-se na avaliação dos requisitos de ativos ou *Infrastructure Asset Management* (IAM), contemplando uma análise do nível de maturidade de softwares do mercado, tais como Autodesk Navisworks, Trimble Tilos, Trimble Vico Office e AltoQI Visus, nas dimensões de tempo e custo. Adicionalmente, o artigo identifica potenciais obstáculos e propõe estratégias para a mitigação de riscos associados à perda de informações ao longo do processo. A fim de ilustrar a aplicação prática da abordagem proposta, apresenta-se um estudo de caso referente a um viaduto e seus acessos.

2. O contexto do BIM na gestão de projetos rodoviários

2.1. BIM: otimização do planejamento e interoperabilidade

A implementação do BIM tem desempenhado um papel crucial na otimização do planejamento de infraestruturas rodoviárias. Estudos indicam que a integração do BIM nesse contexto oferece uma abordagem holística ao ciclo de vida das estradas, permitindo uma gestão mais eficiente e sustentável. De acordo com as pesquisas [11]–[13], a modelagem tridimensional detalhada com adoção do BIM contribui significativamente para a visualização e análise, facilitando a tomada de decisões durante as fases iniciais de planejamento. Além disso, a interoperabilidade aprimorada promove a colaboração entre os diversos interessados, melhorando a coordenação entre disciplinas e resultando em projetos mais integrados [12]. A capacidade de simulação e modelagem paramétrica do BIM também desempenha um papel crucial na identificação precoce de problemas, contribuindo para a redução de custos e a

maximização da durabilidade dos ativos [14], [15], evidenciando a importância positiva do BIM na gestão da infraestrutura rodoviária.

No contexto da interoperabilidade, a aplicação de padrões abertos como o *Industry Foundation Classes* (IFC) é crucial para facilitar a troca de informações entre diferentes softwares de modelagem, otimizando a integração eficiente de dados e processos em projetos complexos de infraestrutura. Neste contexto, [16], [17] destacam a importância de protocolos de comunicação eficazes e da harmonização de ontologias para garantir a consistência semântica na integração de dados provenientes de sistemas BIM, planejamento e GIS. Esse aprimoramento na interoperabilidade, especialmente no planejamento de transporte, permite a modelagem precisa e análise em contexto das infraestruturas, enriquecendo a compreensão espacial, a análise de impacto e a tomada de decisões baseada em informações precisas e atualizadas em projetos complexos de infraestrutura [12].

2.2. Projetos rodoviários e base de custos

Segundo o Guia de Análise de Projetos Rodoviários do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no Brasil [18], as disciplinas que envolvem um projeto rodoviário seguem uma sequência lógica. Na fase inicial de estudos, são realizadas investigações geológico-geotécnicas, levantamentos topográficos e hidrológicos. Estes dados subsidiam a modelagem preliminar de projetos, permitindo a criação de cenários que embasam o desenvolvimento do projeto funcional do empreendimento.

O DNIT mantém a base do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), disponibilizando um catálogo de composições específico para a execução de obras de infraestrutura. As composições SICRO apresentam índices de produtividade de mão de obra, que impactam diretamente o planejamento de implantações e intervenções. As dimensões de tempo e custo relacionam-se entre si, portanto, onde a análise crítica e integrada é útil para mitigação de riscos.

2.3. Desafios e estratégias na integração de ativos: mitigação de riscos

A integração de ativos em ambientes BIM representa uma abordagem inovadora na gestão de projetos de infraestrutura, proporcionando uma visão integrada e colaborativa do ciclo de vida do empreendimento. Contudo, esse processo não está isento de desafios, sendo crucial identificar obstáculos potenciais para efetiva mitigação de riscos. Dentre os desafios mais pertinentes, destaca-se a heterogeneidade de formatos e padrões de dados, bem como a falta de interoperabilidade entre os softwares BIM disponíveis no mercado [5], [19], [20].

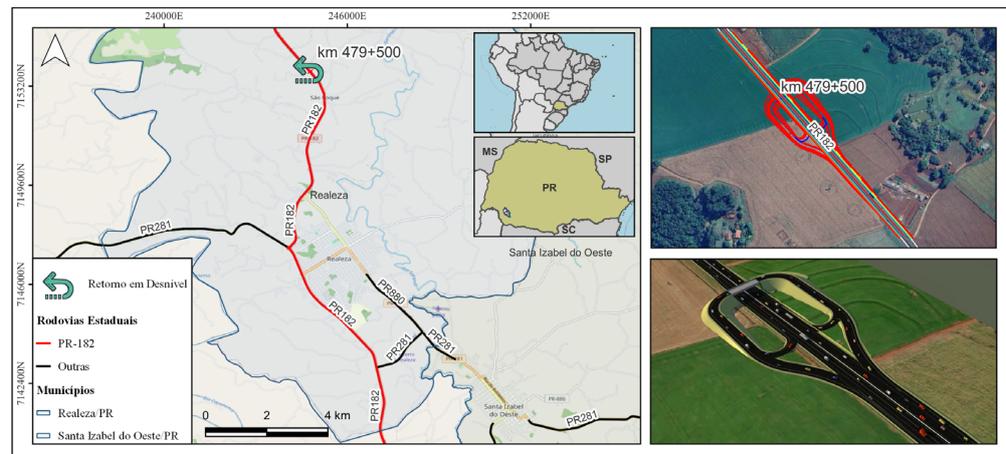
Para superar tais desafios, estratégias devem ser adotadas. A padronização de protocolos e formatos de dados é fundamental, possibilitando uma integração mais fluída entre diferentes ferramentas BIM [5], [21]. Além disso, a implementação de processos

de verificação e validação contínuos durante a integração de ativos pode prevenir a perda de informações críticas, garantindo a confiabilidade dos dados ao longo do ciclo de vida do projeto.

3. Metodologia e estudo de caso

Esta pesquisa tem como estudo de caso a implantação hipotética de um retorno em desnível no km 479+500 da rodovia estadual PR-182, próximo ao município de Realeza, Paraná, Brasil. A Figura 1 apresenta o mapa de situação do projeto.

Figura 1
Localização da
implantação do projeto.



A partir da definição do estudo de caso, a pesquisa foi desenvolvida em três principais etapas: 1) Modelagem do empreendimento com apoio de softwares Autodesk: InfraWorks, Revit, Civil 3D e Navisworks; 2) Gestão de produção com os softwares de planejamento Trimble Tilor, Trimble Vico Office e AltoQi Visus; e 3) Análise dos resultados com simulação construtiva no Autodesk Navisworks e gestão do empreendimento no AltoQi Visus. Cabe destacar que para a elaboração dos projetos, foram coletados e utilizados dados GIS provenientes do Visualizador de Dados do DNITGeo (VGeo), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) do Brasil, abrangendo informações geológico-geotécnicas, levantamentos topográficos, dados hidrológicos, volumes de tráfego, áreas de caracterização ambiental, traçados das rodovias estaduais e federais, bem como áreas urbanas e rurais para análise de possíveis desapropriações.

Na Etapa 1 de modelagem, empregou-se o software InfraWorks para criar uma modelagem preliminar dos acessos rodoviários e do viaduto, proporcionando uma visão abrangente do empreendimento. Posteriormente, utilizou-se o Autodesk Revit para o detalhamento dos projetos estruturais, incluindo o viaduto e as contenções, enquanto o Autodesk Civil 3D foi adotado para o detalhamento dos corredores de projeto, abrangendo as disciplinas de geometria viária, terraplenagem, pavimentação, drenagem e sinalização. O Autodesk Navisworks desempenhou um papel crucial na coordenação e compatibilização dos diferentes projetos. A integração desses softwares

possibilitou uma colaboração eficiente para a criação do modelo federado de projeto, assegurando a consistência e precisão dos dados (Figura 2).

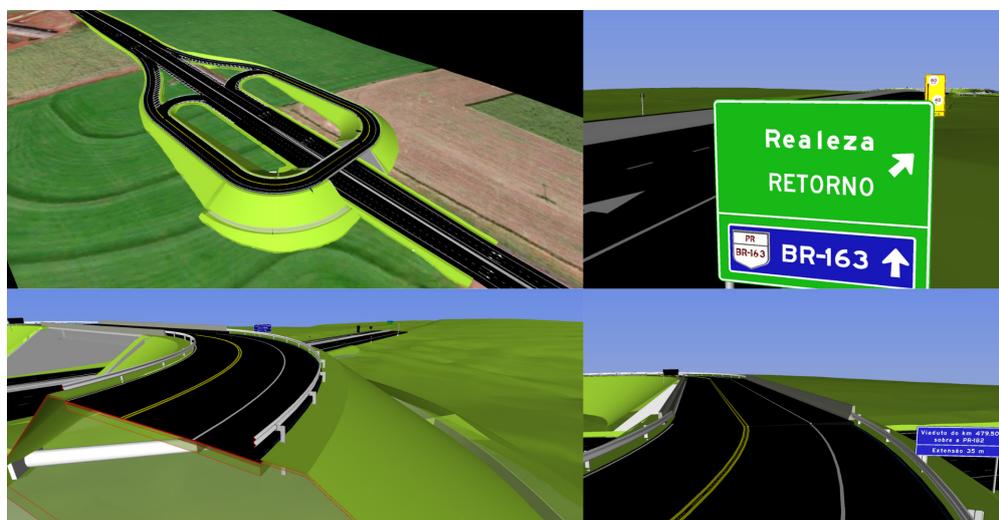


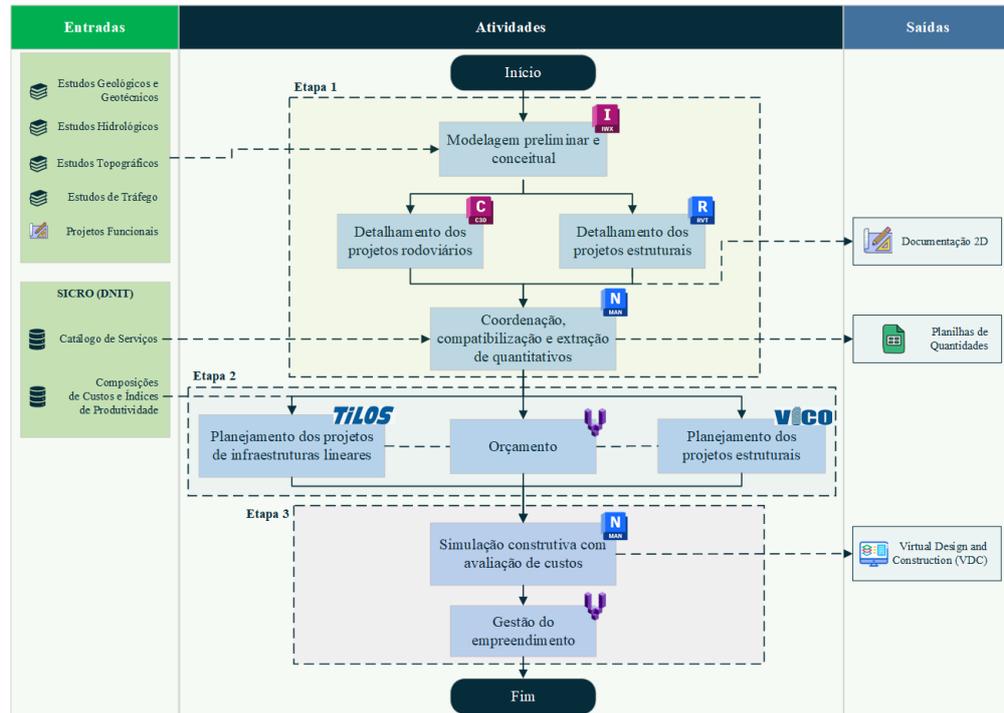
Figura 2
Modelo federado do estudo de caso no Navisworks Manage.

No desenvolvimento da Etapa 2, para gestão de produção, foram adotados softwares especializados para aprimorar o planejamento e a execução das obras. O Trimble Tilo possui um papel fundamental no planejamento das infraestruturas lineares, proporcionando uma visão temporal clara e auxiliando na programação das atividades ao longo do projeto. Para o viaduto e contenções, o Trimble Vico Office foi empregado no planejamento detalhado, sincronizando as informações do modelo BIM com as etapas de construção. De forma complementar a esse processo, o software AltoQi Visus foi utilizado para a elaboração do orçamento vinculado ao modelo federado de modo a obter, além dos custos, os índices de produtividade para alimentar os softwares de planejamento utilizados, consolidando a eficácia da integração entre tecnologias inovadoras para a gestão do projeto do retorno em desnível.

Por fim, com os resultados obtidos das etapas anteriores, na Etapa 3 foram realizadas análises a partir do fluxo de trabalho proposto, incluindo simulação construtiva com avaliação de custos no Autodesk Navisworks e gestão do empreendimento no AltoQi Visus. A Figura 3 ilustra a metodologia adotada neste estudo, destacando as etapas sequenciais que envolvem a integração dos softwares nas Etapas 1 e 2, com os dados de entrada e de saída. Essa abordagem estratégica permitiu uma modelagem preliminar, detalhamento e coordenação eficiente dos projetos, facilitando uma simulação construtiva abrangente e análise de custos, resultando em um *Virtual Design and Construction* (VDC).

Figura 3

Fluxo adotado para o gerenciamento do projeto.



4. Resultados do gerenciamento do projeto

Após a fase de modelagem preliminar, detalhamento dos projetos e coordenação, assim como a compatibilização e extração de quantitativos, os softwares Trimble Tilos e Vico Office foram adotados para o planejamento integrado. Essas plataformas não apenas possibilitaram a visualização harmonizada das atividades, mas também ofereceram a possibilidade de verificar interferências entre elas. Além disso, ao empregar métodos de linhas de balanço em diagramas espaço-tempo e integrar-se de maneira eficiente com orçamento associado às atividades de obra e projetos (Figura 4), esses softwares garantiram uma abordagem holística ao planejamento. Com uma integração eficiente ao orçamento vinculado às atividades de obras e projetos, elaborado em cooperação com o AltoQi Visus, os softwares permitiram a análise estratégica de cenários para o remanejamento de recursos, incluindo mão de obra e equipamentos. Essa capacidade refinada possibilitou otimizar a produtividade das equipes de trabalho, oferecendo uma abordagem dinâmica e adaptável para as demandas do projeto, o que resultou em um cenário ideal com redução de, aproximadamente, 17,24% do prazo de execução inicial planejado e acréscimo de apenas 5,15% no orçamento final.

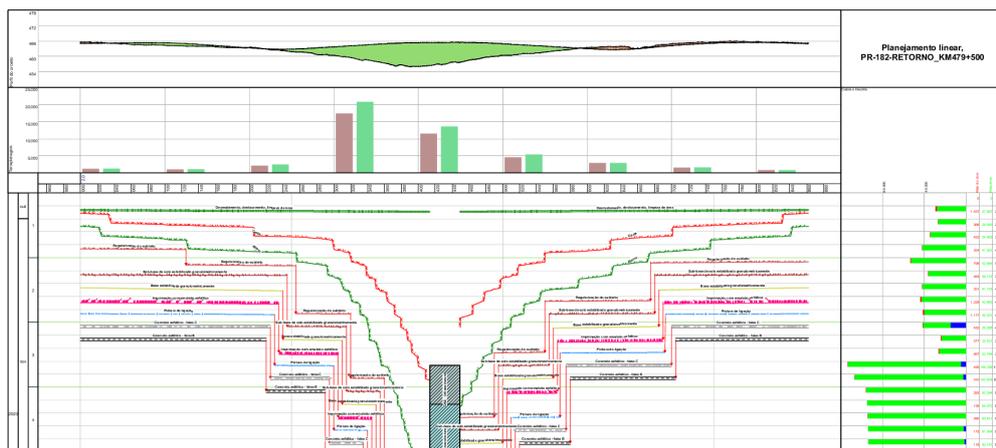


Figura 4
Linhas de balanço em diagrama espaço-tempo e histograma de orçamento associado às atividades à direita no software Trimble Tilos.

Após a definição do cenário ideal para a execução do projeto, foi empreendida uma simulação construtiva abrangente, incorporando a avaliação de custos e a integração de ativos por meio do Navisworks (Figura 5). Esta abordagem estratégica revelou-se crucial para o sucesso do empreendimento, proporcionando uma visualização precisa e detalhada de cada fase construtiva. Os principais benefícios dessa simulação foram a identificação proativa de potenciais desafios, a otimização dos recursos financeiros mediante a avaliação dos custos envolvidos e a garantia de uma integração de ativos, resultando em maior eficiência operacional e na redução de possíveis retrabalhos.



Figura 5
Simulação construtiva incorporando a avaliação de custos e a integração de ativos no Navisworks Manage.

Durante o processo de simulação construtiva, foram examinados diferentes cenários alternativos, considerando variações em termos de custos, prazos e recursos, utilizando as funcionalidades dos softwares Vico Office e Tilos da Trimble. Durante o processo de desenvolvimento, ambos permitiram o planejamento realizando associações de tarefas, quantitativos e índices de produtividade, resultando em prazos bem definidos para cada atividade.

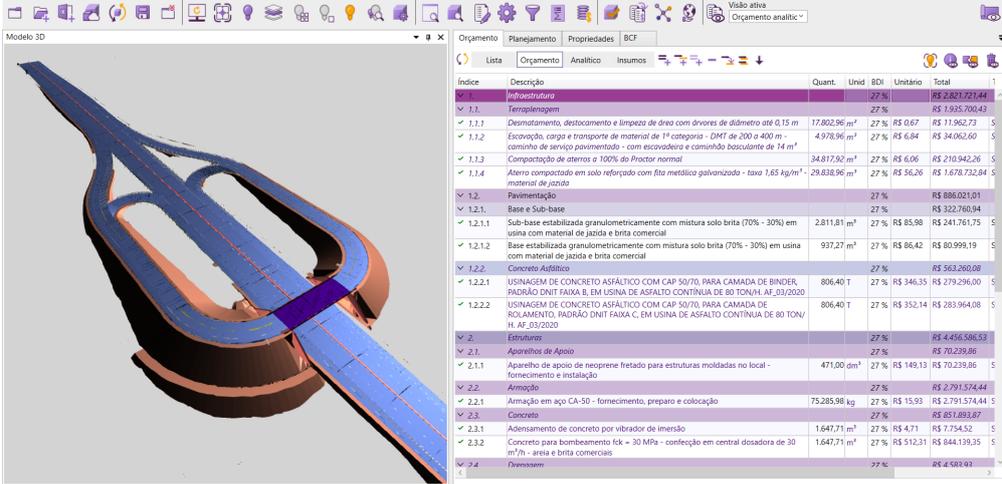
Tratando-se das diferenças entre os softwares da Trimble, o Vico Office permitiu trabalhar com modelo IFC, o que não foi possível no Tilos. Outra questão identificada foi a compatibilidade de diagramas unifilares com a localização dos elementos da

obra de forma visual na interface do Tilos. O Tilos possibilitou o controle de volumes de terraplenagem a partir de um diagrama de Bruckner, visto que ele é desenvolvido especificamente para obras lineares, o que não é possível no Vico Office, uma vez que este é destinado para obras pontuais.

Além disso, cabe destacar uma limitação do Tilos e do Vico Office que é a falta de conexão direta com bancos de dados online. Neste caso, o AltoQi Visus foi utilizado como alternativa para o orçamento e gestão do empreendimento (Figura 6), possibilitando a conexão online dos bancos de dados do SICRO, permitindo atualização mensal do banco de dados de composição de custos de serviços, insumos e equipamentos, referenciando a economia brasileira. Ademais, o AltoQi Visus também viabiliza a visualização do IFC 4, propiciando a realização de análises mais precisas do projeto.

Figura 6

Elaboração do orçamento vinculado ao modelo federado, exportado em IFC 4, no AltoQi Visus.



Índice	Descrição	Quant.	Unid.	BDI	Unitário	Total
1	Infraestrutura			27%		R\$ 2.831.727,44
1.1	Terras e drenagem			27%		R\$ 1.925.760,43
1.1.1	Desmontamento, destocamento e limpeza de área com diâmetro até 0,15 m	17.802,96	m ²	27%	R\$ 0,67	R\$ 11.962,73
1.1.2	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço pavimentado - com escavadeira e caminhão basculante de 14 m ³	4.978,96	m ³	27%	R\$ 6,84	R\$ 34.062,60
1.1.3	Compactação de areias ≥ 100% do Proctor normal	34.817,90	m ²	27%	R\$ 6,06	R\$ 210.942,36
1.1.4	Ateno compactada em solo reforçado com fita metálica galvanizada - taxa 1,65 kg/m ² material de jazida	29.838,96	m ²	27%	R\$ 56,26	R\$ 1.678.732,84
1.2	Pavimentação			27%		R\$ 886.021,01
1.2.1	Base e Sub-base			27%		R\$ 322.760,94
1.2.1.1	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial	2.811,81	m ³	27%	R\$ 85,98	R\$ 241.761,75
1.2.1.2	Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial	937,27	m ³	27%	R\$ 86,42	R\$ 80.999,19
1.2.2	Concreto de bitúmen			27%		R\$ 563.260,08
1.2.2.1	USINAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO COM CAP 50/70, PARA CAMADA DE BINDER, PADRÃO DINT FAIXA B, EM USINA DE ASFALTO CONTÍNUA DE 80 TON/H, AF_03/2020	806,40	T	27%	R\$ 346,35	R\$ 279.296,00
1.2.2.2	USINAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO COM CAP 50/70, PARA CAMADA DE REFORÇAMENTO, PADRÃO DINT FAIXA C, EM USINA DE ASFALTO CONTÍNUA DE 80 TON/H, AF_03/2020	806,40	T	27%	R\$ 352,14	R\$ 283.964,08
2	Estruturas			27%		R\$ 4.456.586,53
2.1	Aparelhos de Apoio			27%		R\$ 70.239,86
2.1.1	Aparelho de apoio de neoprene tratado para estruturas moldadas no local - fornecimento e instalação	471,00	dm ³	27%	R\$ 149,13	R\$ 70.239,86
2.2	Armação			27%		R\$ 2.791.574,44
2.2.1	Armação em aço CA-50 - fornecimento, preparo e colocação	75.285,98	kg	27%	R\$ 15,93	R\$ 2.791.574,44
2.3	Concreto			27%		R\$ 851.892,87
2.3.1	Adensamento de concreto por vibrador de imersão	1.647,71	m ³	27%	R\$ 4,71	R\$ 7.754,52
2.3.2	Concreto para bombeamento fck = 30 MPa - confecção em central dosadora de 30 m ³ /h - areia e brita comerciais	1.647,71	m ³	27%	R\$ 512,31	R\$ 844.139,35
2.4	Formas			27%		R\$ 4.588,83

As análises realizadas nos softwares proporcionaram uma visão abrangente dos cenários críticos que poderiam impactar o desenvolvimento do projeto. Como resultado, foi possível identificar as melhores estratégias, priorizar ações e tomar decisões embasadas para mitigar riscos e alcançar os objetivos estabelecidos.

Ao analisar a dimensão do tempo, os softwares Autodesk Navisworks e AltoQi Visus mostraram-se cruciais para examinar os cronogramas das atividades, desenvolvidos no Trimble Tilos e Vico Office. A identificação de possíveis atrasos ou adiantamentos foi melhor apresentada, destacando-se a conexão com o banco de dados do SICRO realizada pelo AltoQi Visus de forma online.

No que diz respeito à dimensão de custos, a avaliação dos gastos associados a cada fase do projeto foi possível no Tilos e no Vico Office. Isso incluiu não apenas os custos diretos, mas também os custos indiretos e imprevistos. A comparação entre os softwares forneceu *insights* valiosos sobre a eficiência na gestão financeira do projeto, possibilitando a identificação de áreas que demandam maior controle ou otimização de recursos. No contexto de linhas de balanço com verificação de custos,

o Tilos demonstrou ser o melhor software para acompanhar o andamento do projeto, sendo o único a possibilitar o controle de volumes de terraplenagem a partir de um diagrama de Bruckner.

4.1. Estratégias para mitigação de riscos na integração de ativos

Para mitigar os riscos na integração de ativos em ambientes BIM, durante a elaboração do projeto, foram desenvolvidas compatibilizações de formatos de dados para integrar os softwares de modelagem com os de planejamento e orçamento. No caso dos softwares da Autodesk com o Tilos, os dados e quantitativos foram exportados automaticamente em formatos de planilha Excel *.XLS e arquivos de texto *.TXT, aceitáveis pelo software da Trimble. Em relação ao Vico Office e ao AltoQi Visus, o formato IFC possibilitou a interoperabilidade. Entre os softwares da Autodesk, trabalhou-se com os formatos nativos.

Além das compatibilizações de formatos de dados, estabeleceu-se um fluxo de trabalho bem definido para a produção, verificação e validação de informações geométricas e não geométricas, visando ainda a mitigação de riscos. Neste quesito, os softwares Autodesk Navisworks e AltoQi Visus foram cruciais para examinar todas as informações geométricas e não geométricas dos modelos durante a coordenação, compatibilização e simulação construtiva, verificando o planejamento e os custos das atividades planejadas nos softwares Tilos e Vico Office da Trimble.

Portanto, a mitigação de riscos na integração de ativos em ambientes BIM não é apenas uma questão técnica, mas também demanda uma mudança cultural e organizacional para promover a colaboração entre os diversos interessados envolvidos no processo. Essa associação oferece oportunidades significativas, mas sua eficácia está intrinsecamente ligada à identificação e superação de desafios, como estratégias que visam à padronização, validação contínua e transformação cultural.

5. Conclusão

Este artigo visa contribuir para a compreensão e adoção crescente de práticas avançadas de gerenciamento de projetos na infraestrutura rodoviária, convergindo com as tendências presentes na literatura acadêmica especializada no tema e sinalizando pontos de atenção. Para tanto, foi apresentado um fluxo de gestão e planejamento baseado em três etapas: modelagem; gestão da produção; e análise dos cenários. Dessa forma, foi possível realizar a simulação de diferentes cenários, considerando variações em termos de custos, prazos e recursos. Os softwares utilizados para as análises ofereceram uma compreensão ampla das diversas situações que poderiam influenciar o progresso do projeto.

Este trabalho evidencia como a bem-sucedida integração de softwares BIM e de gestão de produção resulta não apenas em economia de tempo, mas também na alocação eficiente de recursos, corroborando com novas possibilidades de fluxos de

planejamento. O estudo apresentou um modelo de gestão e planejamento com ênfase em simulações de tempo e custo, que possibilitou a integração de ativos em ambientes BIM e a mitigação de riscos.

A integração de ativos em BIM oferece oportunidades significativas, contudo, a efetividade desse processo está intimamente vinculada à identificação e superação de obstáculos. Estratégias que visam à padronização e validação da integração de ativos podem ser discutidas em pesquisas futuras com estudos de casos de exemplos práticos. Outra possibilidade de pesquisa seria o aprofundamento em outras alternativas de softwares de planejamento, permitindo a comparação de tecnologias a partir de uma avaliação de impacto do projeto e a economia nas dimensões de tempo e custos

Referências

- [1] B. T. Adey, "A road infrastructure asset management process: gains in efficiency and effectiveness", *Infrastructure Asset Management*, vol. 6, n.º 1, pp. 2-14, mar. 2019, doi: 10.1680/jinam.17.00018.
- [2] B. T. Adey, M. Burkhalter, e C. Martani, "Defining road service to facilitate road infrastructure asset management", *Infrastructure Asset Management*, vol. 7, n.º 4, pp. 240-255, dez. 2020, doi: 10.1680/jinam.18.00045.
- [3] K. Priyatiningsih e M. Sutrisno, "Road infrastructure asset management strategy and its impact on the environment", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, n.º 2, p. 022030, abr. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/830/2/022030.
- [4] S. Caldera, S. Mostafa, C. Desha, e S. Mohamed, "Integrating disaster management planning into road infrastructure asset management", *Infrastructure Asset Management*, vol. 8, n.º 4, pp. 219-233, dez. 2021, doi: 10.1680/jinam.21.00012.
- [5] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu, e S. S. Chen, "Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 257-281, out. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.001.
- [6] J. Zhu, X. Wang, P. Wang, Z. Wu, e M. J. Kim, "Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology", *Automation in Construction*, vol. 102, pp. 105-119, jun. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.02.014.
- [7] A. Vilventhan e R. Rajadurai, "4D Bridge Information Modelling for management of bridge projects: a case study from India", *BEPAM*, vol. 10, n.º 3, pp. 423-435, dez. 2019, doi: 10.1108/BEPAM-05-2019-0045.
- [8] G. S. Floros e C. Ellul, "LOSS OF INFORMATION DURING DESIGN & CONSTRUCTION FOR HIGHWAYS ASSET MANAGEMENT: A GEOBIM PERSPECTIVE", *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. VIII-4/W2-2021, pp. 83-90, out. 2021, doi: 10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-83-2021.

- [9] C. Jofré-Briceño, F. Muñoz-La Rivera, E. Atencio, e R. F. Herrera, "Implementation of Facility Management for Port Infrastructure through the Use of UAVs, Photogrammetry and BIM", *Sensors*, vol. 21, n.º 19, p. 6686, out. 2021, doi: 10.3390/s21196686.
- [10] P. Hagedorn *et al.*, "BIM-Enabled Infrastructure Asset Management Using Information Containers and Semantic Web", *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 37, n.º 1, p. 04022041, jan. 2023, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001051.
- [11] S. A. Biancardo, A. Capano, S. G. de Oliveira, e A. Tibaut, "Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design", *Infrastructures*, vol. 5, n.º 4, p. 37, abr. 2020, doi: 10.3390/infrastructures5040037.
- [12] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer, e H. Porras, "BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design", *Automation in Construction*, vol. 131, p. 103911, nov. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103911.
- [13] F. Maltinti, L. Curreli, E. Quaquero, G. Rubiu, e M. Coni, "Applying Building Information Modeling to Road Pavements Management", em *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*, vol. 12958, O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, C. Garau, I. Blečić, D. Taniar, B. O. Apduhan, A. M. A. C. Rocha, E. Tarantino, e C. M. Torre, Orgs., em *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12958., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 145-160. doi: 10.1007/978-3-030-87016-4_11.
- [14] J.-R. Chang e H.-S. Lin, "Underground Pipeline Management Based on Road Information Modeling to Assist in Road Management", *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 30, n.º 1, p. C4014001, fev. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000631.
- [15] F. D'Amico, L. Bianchini Ciampoli, A. Di Benedetto, L. Bertolini, e A. Napolitano, "Integrating Non-Destructive Surveys into a Preliminary BIM-Oriented Digital Model for Possible Future Application in Road Pavements Management", *Infrastructures*, vol. 7, n.º 1, p. 10, jan. 2022, doi: 10.3390/infrastructures7010010.
- [16] F. Delgado, M. M. Martínez-González, e J. Finat, "An evaluation of ontology matching techniques on geospatial ontologies", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, n.º 12, pp. 2279-2301, dez. 2013, doi: 10.1080/13658816.2013.812215.
- [17] P. Pauwels, S. Zhang, e Y.-C. Lee, "Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview", *Automation in Construction*, vol. 73, pp. 145-165, jan. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2016.10.003.
- [18] D. N. de I. de T. DNIT, *Guia de Análise de Projetos Rodoviários*, vol. 3. 2018. [Online]. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/desenvolvimento-e-projetos/1_GuiadeAnalise_Leituradigital_V3_.pdf.

- [19] A.-M. Mahamadu, L. Mahdjoubi, e C. A. Booth, "Challenges to digital collaborative exchange for sustainable project delivery through building information modelling technologies", apresentado em THE SUSTAINABLE CITY 2013, Putrajaya, Malaysia, dez. 2013, pp. 547-557. doi: 10.2495/SC130461.
- [20] R. Kenley, T. Harfield, e A. Behnam, "BIM Interoperability Limitations: Australian and Malaysian Rail Projects", *MATEC Web Conf.*, vol. 66, p. 00102, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20166600102.
- [21] M. Svensson e O. Friberg, "BIM - the Key for Implementation of Geophysics in Infrastructure Planning", em *1st Conference on Geophysics for Infrastructure Planning Monitoring and BIM*, The Hague, Netherlands, : European Association of Geoscientists & Engineers, 2019, pp. 1-5. doi: 10.3997/2214-4609.201902542.