

INTEGRAÇÃO BIM-GIS: POTENCIAL DE SINERGIA DIGITAL PARA A SUSTENTABILIDADE NAS INFRAESTRUTURAS FERROVIÁRIAS

Emilio Alberto Camino

Associação Centro de Competências Ferroviário, Matosinhos, Portugal, emilio.camino@ccferroviario.pt

Andreia Santos

Associação Centro de Competências Ferroviário, Matosinhos, Portugal, andrea.santos@ccferroviario.pt

Dora Alves

Associação Centro de Competências Ferroviário, Matosinhos, Portugal, dora.alves@ccferroviario.pt

Bruno Oliveira

Associação Centro de Competências Ferroviário, Matosinhos, Portugal, bruno.oliveira@ccferroviario.pt

Luís Andrade Ferreira

Associação Centro de Competências Ferroviário, Matosinhos, Portugal, luis.ferreira@ccferroviario.pt

RESUMO A integração entre BIM (*Building Information Modeling*) e GIS (*Geographic Information Systems*) apresenta um potencial significativo para melhorar a conceção, gestão e exploração das infraestruturas ferroviárias. Este estudo teórico explora os pontos de convergência e desafios técnicos entre ambas as tecnologias, destacando as suas contribuições complementares: BIM para as etapas de projeto e construção dos ativos, e GIS para as etapas de planeamento a nível territorial e exploração e manutenção desses ativos. Com base numa revisão crítica da literatura, são propostas diretrizes para a interligação de dados em projetos ferroviários, permitindo maior interoperabilidade e eficiência na gestão de informação. Este trabalho enfatiza aplicações práticas, como monitorização ambiental, análise de impacto e planeamento multimodal. Adicionalmente, são analisadas as barreiras existentes, incluindo a ausência de normalização e a complexidade da troca de informação nestas tecnologias. A proposta final define um modelo teórico para integrar BIM e GIS, promovendo a sustentabilidade e a eficiência no setor ferroviário. Esta abordagem integrada possibilita uma gestão mais eficaz dos ativos ferroviários, otimizando recursos e melhorando a tomada de decisão ao longo do ciclo de vida das infraestruturas.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, GIS, Infraestruturas Ferroviárias, Sustentabilidade, Interoperabilidade, Planeamento Multimodal.

1. Introdução

Os projetos ferroviários são fundamentais para o desenvolvimento socioeconómico e ambiental, melhorando a conectividade, reduzindo custos logísticos e aumentando a competitividade dos setores produtivos. Além disso, constituem uma alternativa sustentável ao transporte rodoviário e aéreo, com menores emissões de CO₂ por passageiro ou tonelada transportada, promovendo uma mobilidade mais eficiente e um uso racional do espaço urbano (European Environment Agency, 2022).

Por estas razões, os investimentos em infraestruturas ferroviárias são considerados estratégicos, não apenas para modernizar o sistema de transporte, mas também para cumprir objetivos globais como a descarbonização e a transição energética.

Nesta necessidade de construção e modernização das infraestruturas ferroviárias, a digitalização emerge como um pilar essencial para enfrentar os desafios crescentes relacionados à eficiência, sustentabilidade e gestão de recursos escassos.

As complexidades intrínsecas aos projetos ferroviários, como a interação de múltiplas especialidades, a necessidade de coordenação precisa e o impacto ambiental que estas obras podem ter, requerem abordagens inovadoras que possam otimizar os processos de conceção, construção e manutenção (Bensalah et al., 2018). Neste cenário, a integração de tecnologias avançadas, como o BIM (*Building Information Modelling*) e o GIS (*Geographic Information System*), tem demonstrado ser uma estratégia transformadora (Pedó et al., 2023).

Estas tecnologias, inicialmente concebidas para resolver problemas específicos em domínios distintos, evoluíram significativamente e começaram a convergir para oferecer soluções mais abrangentes. No contexto da engenharia e gestão de infraestruturas, esta convergência destaca-se na interseção entre o BIM e o GIS, cuja integração tem o potencial de transformar o ciclo de vida dos ativos construídos.

O BIM pode ser definido como um conjunto de metodologias, tecnologias e normas que permitem planear, projetar, construir e operar uma edificação ou infraestrutura de forma colaborativa num espaço virtual (Sun et al., 2019). Esta metodologia permite a criação e gestão de modelos digitais que não apenas representam a geometria das infraestruturas, mas também integram dados técnicos sobre materiais, especificações construtivas, estimativas de custos e cronogramas (Bravo García et al., 2016). Desta forma, o BIM melhora a coordenação entre as partes envolvidas nos projetos, reduzindo inconsistências e promovendo uma comunicação mais eficiente.

Por outro lado, os GIS são ferramentas especializadas na captura, armazenamento, análise e visualização de dados geoespaciais. Eles permitem compreender e interpretar as relações entre elementos físicos e ambientais, proporcionando uma visão abrangente do território e facilitando a tomada de decisões em diferentes escalas, desde projetos urbanos locais até redes de transporte nacionais (Longley et al., 1999). No setor ferroviário, os GIS são amplamente utilizados para planeamento de traçados, avaliação de impactos ambientais, gestão de corredores de infraestrutura e monitorização de ativos ao longo do tempo.

A complementaridade entre BIM e GIS torna a sua integração altamente promissora para a modernização do setor ferroviário. O BIM, amplamente adotado para desenvolver o design e a construção de ativos de infraestrutura, e o GIS, essencial para a análise e gestão espacial das fases de planeamento e exploração, oferecem um potencial significativo quando utilizados de forma sinérgica (Kurwi et al., 2021).

Ao permitir uma visão holística das infraestruturas no seu contexto geoespacial, esta sinergia facilita a tomada de decisões baseadas em dados, contribuindo para a minimização do desperdício de materiais, a eficiência energética e a mitigação de impactos ambientais (Flórez Traslaviña, 2022). Além disso, a interoperabilidade entre estas tecnologias possibilita uma manutenção preditiva mais eficiente, reduzindo custos operacionais e prolongando a vida útil dos ativos ferroviários (Garramone et al., 2022).

No entanto, apesar dos benefícios, esta integração ainda enfrenta desafios técnicos e metodológicos, especialmente relacionados à diferença de escalas entre as tecnologias e à incompatibilidade de formatos de dados (Soulé & Bueno, 2021). Portanto, a adoção de *frameworks* abertos e de metodologias que garantam a interoperabilidade é essencial para maximizar os benefícios da digitalização na construção e gestão de infraestruturas.

Este trabalho propõe diretrizes e um modelo teórico para a integração eficaz entre BIM e GIS no setor ferroviário, visando melhorar a interoperabilidade, otimizar a gestão de dados e aprimorar a tomada de decisões ao longo do ciclo de vida dos projetos. A pesquisa identifica desafios técnicos e operacionais dessa integração, analisando soluções baseadas em padrões abertos e metodologias interoperáveis. Com isso, procura-se estabelecer uma base conceitual para o desenvolvimento de ferramentas e processos digitais que aumentem a eficiência, sustentabilidade e inovação, alinhando o setor ferroviário à digitalização e à transição energética.

2. Metodologia

2.1 Abordagem

A investigação fundamenta-se numa revisão sistemática de 20 artigos recolhidos a partir de bases de dados científicas especializadas. Esta abordagem permitiu uma busca abrangente, utilizando palavras-chave específicas como "BIM", "GIS", "interoperabilidade", "transporte ferroviário" e "infraestruturas". Os artigos identificados foram posteriormente filtrados segundo a sua relevância para o tema, de forma a garantir a inclusão apenas de estudos que oferecessem contributos significativos para a integração das tecnologias no setor ferroviário.

2.2 Critérios de Seleção

Foram aplicados dois critérios principais para a seleção dos artigos:

Foco na interoperabilidade BIM-GIS: Apenas foram considerados estudos que explorassem a integração entre BIM e GIS, com especial atenção aos processos de comunicação, à conversão de formatos e aos desafios de escalas entre os modelos detalhados e os dados macro territoriais.

Aplicações práticas em infraestruturas ferroviárias: A revisão privilegiou publicações que apresentassem casos de estudo, implementações práticas ou propostas concretas de aplicação das tecnologias BIM e GIS em infraestruturas, nomeadamente no contexto ferroviário. Este critério assegurou a relevância dos resultados para a melhoria dos processos de planeamento, gestão e manutenção das infraestruturas ferroviárias.

Os artigos selecionados foram os seguintes:

Mangia et al. (2023); Bartonek et al. (2023); Liu et al. (2021); Liu et al. (2023); Lu et al. (2019); Garramone & Scaioni (2023); Jin-Fang Shr & Li-Shih Liu (2016); Garramone et al. (2022); Cao et al. (2023); Floros et al. (2020); Marzouk & Othman (2020); Flórez Traslaviña (2022); Soulé & Bueno (2021); Sun et al. (2019); Zhu et al. (2022); Kurwi et al. (2021); Song et al. (2017); Pedó et al. (2023); Kurwi et al. (2017); Kurwi (2019).

2.3 Análise

Após a seleção dos artigos, procedeu-se à realização de uma síntese qualitativa dos estudos, com o objetivo de identificar diretrizes e barreiras recorrentes na integração entre BIM e GIS. Este processo de análise permitiu extrair recomendações e boas práticas que facilitam a interoperabilidade, nomeadamente através da utilização de ferramentas de conversão de dados e da implementação de esquemas híbridos. Além disso, foram identificados os principais desafios dessa integração, tanto do ponto de vista técnico quanto organizacional. Por fim, foram analisadas diferentes aplicações práticas dessa integração, destacando-se as suas vantagens em contextos reais.

Em suma, a metodologia aplicada – fundamentada numa revisão sistemática e na análise qualitativa dos estudos selecionados – forneceu uma base sólida para a compreensão dos desafios e avanços na interoperabilidade entre BIM e GIS, bem como para a identificação de práticas que possam ser implementadas para melhorar a gestão e o planeamento das infraestruturas ferroviárias.

3. Resultados

3.1 Interoperabilidade Técnica

A interoperabilidade entre BIM e GIS refere-se à capacidade de trocar e utilizar informações entre essas duas plataformas, apesar das suas diferenças inerentes. Embora ambas forneçam representações digitais do ambiente construído, as suas abordagens e objetivos são distintos (Kurwi et al., 2017).

De uma maneira geral, a interoperabilidade entre BIM e GIS envolve a troca de dados, permitindo a transferência de informações entre modelos BIM, que contêm detalhes sobre edifícios e infraestruturas, e sistemas GIS, que gerem dados geoespaciais do ambiente circundante (Kurwi et al., 2017). Além disso, inclui

a integração de informações, combinando dados de ambos os sistemas para obter uma representação completa e contextualizada de projetos de construção, gestão de ativos e planejamento urbano (Sun et al., 2019).

A partir da bibliografia analisada, foram identificados na Tabela 1 vários formatos abertos para a interoperabilidade entre BIM e GIS, cada um com características específicas.

Tabela 1 - Principais formatos abertos para a interoperabilidade BIM-GIS

IFC (<i>Industry Foundation Classes</i>)	amplamente utilizado no BIM para representar o ambiente construído, mas o GIS tem dificuldades em interpretá-lo.
CityGML	formato baseado em XML que facilita a integração de modelos BIM em ambientes urbanos GIS, sendo ideal para grandes superfícies.
LandXML	desenvolvido pelo OGC (<i>Open Geospatial Consortium</i>) no âmbito da infraestrutura civil é um esquema utilizado para trocar informações no desenvolvimento urbanístico, engenharia civil e topografia.
GML	criado pelo OGC, define padrões abertos para a interoperabilidade GIS.

Adicionalmente, existem outros formatos nativos de diferentes softwares que podem auxiliar nessa integração e são amplamente utilizados. O Shapefile é um formato vetorial popular para armazenar a localização, a forma e os atributos das entidades geográficas. O IMX, desenvolvido pela Autodesk, permite a integração de dados GIS em projetos de infraestrutura linear, utilizando um banco de dados para armazenar objetos e geometrias. Os Middleware e conectores, como o FME (*Feature Manipulation Engine*) e o ArcGIS GeoBIM, atuam como intermediários para transformar e transferir informações entre os dois domínios.

3.2 Integração Semântica:

O mapeamento de elementos e atributos comuns entre BIM e GIS por meio de ontologias desempenha um papel crucial na integração semântica dos dados, permitindo uma compreensão mais profunda e eficiente da informação em ambos os domínios. Ao contrário da simples transferência de dados geométricos, a integração semântica possibilita uma interoperabilidade mais robusta e valiosa, oferecendo contexto e significados para as informações, o que resulta em análises mais sofisticadas e precisas (Zhu et al., 2022).

Esse mapeamento de atributos comuns é um dos maiores desafios da interoperabilidade, e para garantir que as informações dos dois sistemas sejam corretamente interpretadas, é essencial realizar os modelos baseados em ontologias, de acordo com normas internacionais, como a ISO 12006-3. Isso supera a simples conversão geométrica, permitindo que os sistemas entendam as relações e o contexto dos dados, enriquecendo-os e tornando-os mais úteis (Mangia et al., 2023).

A consulta eficiente de informações heterogêneas também é facilitada pelo uso de ontologias, que definem os conceitos e as relações nos dois domínios. As ontologias atuam como um vocabulário comum, promovendo a tradução e o entendimento mútuo entre os sistemas, e minimizando a perda de informações durante o processo de conversão e mapeamento (Zhu et al., 2022).

3.3 Aplicações Práticas

A análise da bibliografia permitiu identificar os principais benefícios da integração entre BIM e GIS, destacando sua aplicabilidade na melhoria da eficiência, da tomada de decisões e da gestão de projetos, especialmente em infraestruturas ferroviárias. Essa combinação de tecnologias possibilita uma abordagem mais eficaz na monitorização ambiental, permitindo a identificação de áreas de risco, como inundações ou deslizamentos de terra, por meio do GIS. Com essas informações, o BIM pode ser utilizado para ajustar o design das infraestruturas, garantindo maior resiliência e adaptação ao meio envolvente, como a implementação de sistemas de drenagem mais eficientes ou a elevação de vias em zonas vulneráveis (Cao et al., 2023).

Na manutenção preditiva, a incorporação de sensores IoT (*Internet of things*) nos ativos modelados em BIM possibilita a monitorização em tempo real de variáveis como vibração, temperatura e humidade. Estes dados são integrados ao GIS, permitindo uma visualização geoespacial detalhada que auxilia na priorização das intervenções de manutenção e na otimização da gestão dos ativos (Cao et al., 2023). De forma semelhante, a

gestão de ativos torna-se mais eficiente ao longo de todo o seu ciclo de vida, pois a interoperabilidade entre diferentes fontes de dados – como modelos BIM, sistemas GIS, sensores e bases de manutenção – facilita o acesso à informação e melhora a tomada de decisões estratégicas. A análise espacial viabilizada pelo GIS permite ainda otimizar a localização de novos ativos, identificar padrões de falhas e aprimorar o planejamento da manutenção preventiva e corretiva, reduzindo custos operacionais e aumentando a segurança das infraestruturas (Bartonek et al., 2023).

No âmbito do planejamento territorial, esta integração contribui para uma escolha mais criteriosa dos locais para novos projetos de construção, considerando fatores como acessibilidade, proximidade a serviços essenciais e impacto ambiental (Song et al., 2017). O GIS permite uma análise espacial detalhada dessas variáveis, enquanto o BIM possibilita simular os efeitos das novas infraestruturas no ambiente urbano, antecipando impactos no tráfego, nos níveis de ruído e nas condições de iluminação, o que favorece um desenvolvimento urbano mais equilibrado e sustentável (Flórez Traslaviña, 2022).

Além disso, a gestão de emergências beneficia significativamente da integração entre BIM e GIS, sendo um recurso essencial na resposta a desastres naturais (Song et al., 2017). No caso de incêndios, o GIS é utilizado para identificar rotas de acesso rápidas para as equipas de emergência e localizar bocas de incêndio e outros recursos estratégicos, otimizando a eficiência da resposta. Na avaliação de danos causados por inundações, a combinação de dados de ambas tecnologias possibilita uma análise detalhada do impacto sobre edifícios e infraestruturas, facilitando a gestão da resposta e a definição de estratégias para a recuperação (Kurwi, 2019).

Em síntese, a integração entre BIM e GIS melhora significativamente a eficiência, a gestão e a tomada de decisões em projetos de infraestrutura ferroviária. Ao combinar a riqueza de detalhes do BIM com a ampla contextualização espacial do GIS, obtêm-se resultados mais precisos, maior sustentabilidade e um suporte mais robusto para a conceção, manutenção e gestão de infraestruturas ao longo do seu ciclo de vida.

3.4 Barreiras Principais

Com base na literatura consultada, foram identificadas diversas barreiras à integração entre BIM e GIS que decorrem de fatores técnicos, organizacionais e culturais que comprometem a interoperabilidade e a colaboração entre ambas as plataformas.

Uma das principais dificuldades reside na incompatibilidade de formatos de ficheiro, uma vez que os entregáveis BIM são predominantemente exigidos com o formato IFC, enquanto os sistemas GIS não o interpretam de forma nativa (Garramone & Scaioni, 2022). Esta limitação exige conversões e adaptações complexas, resultando num maior custo e tempo de implementação. Além disso, as discrepâncias nas estruturas de dados, sistemas de coordenadas e metodologias de trabalho dificultam a interoperabilidade, comprometendo a coerência e a usabilidade dos dados (Pedó et al., 2023).

Sem padrões consolidados para formatos de dados, processos de trabalho e protocolos de comunicação, a integração carece de consistência, dificultando a partilha eficaz de informações entre as plataformas. A complexidade inerente à criação de aplicações capazes de operar simultaneamente em ambos os ambientes reforça a necessidade de desenvolver soluções personalizadas e fluxos de trabalho otimizados (Pedó et al., 2023).

A colaboração entre equipas de BIM e GIS é igualmente desafiada pela ausência de processos claramente definidos para a partilha de informação, identificação de dados necessários e sincronização temporal da troca de informações. A falta de protocolos e normas estabelecidos para a colaboração pode gerar inconsistências na comunicação e dificultar a integração eficiente das plataformas (Kurwi, 2019).

No âmbito organizacional, a resistência à mudança representa um entrave significativo. Muitas organizações encaram a manutenção dos ativos construídos como um custo, em vez de um investimento estratégico, o que desmotiva a adoção de tecnologias como BIM e GIS (Soulé & Bueno, 2021). Além disso, a relutância dos profissionais em modificar práticas estabelecidas e enfrentar curvas de aprendizagem elevadas contribui para a lenta implementação dessas soluções. A falta de confiança na precisão dos dados e na eficácia da integração entre os sistemas agrava ainda mais este cenário, frequentemente alimentada por experiências prévias de falhas na interoperabilidade (Flórez Traslaviña, 2022).

Perante estas barreiras, a superação dos desafios da integração BIM-GIS exige uma abordagem multidisciplinar que contemple não apenas a harmonização técnica entre os sistemas, mas também estratégias eficazes de gestão da mudança, definição de normas padronizadas e otimização dos processos de trabalho.

3.5 Modelo Teórico Proposto

A partir da análise de toda a bibliografia estudada, foi possível desenvolver uma proposta de modelo teórico para a integração BIM-GIS aplicada a infraestruturas ferroviárias para todo o ciclo de vida do ativo. O objetivo é superar as barreiras técnicas e semânticas existentes entre os dois sistemas, combinando a precisão e o detalhe informacional do BIM com a capacidade de contextualização espacial e análise em larga escala do GIS.

É importante definir que, para o desenvolvimento do mesmo, foram utilizados principalmente formatos abertos que eliminam as barreiras entre os diferentes softwares e garantem a maior interoperabilidade possível. Além disso, a título de exemplo, são indicadas algumas das marcas mais utilizadas no mercado, permitindo uma melhor compreensão do modelo e do seu processamento.

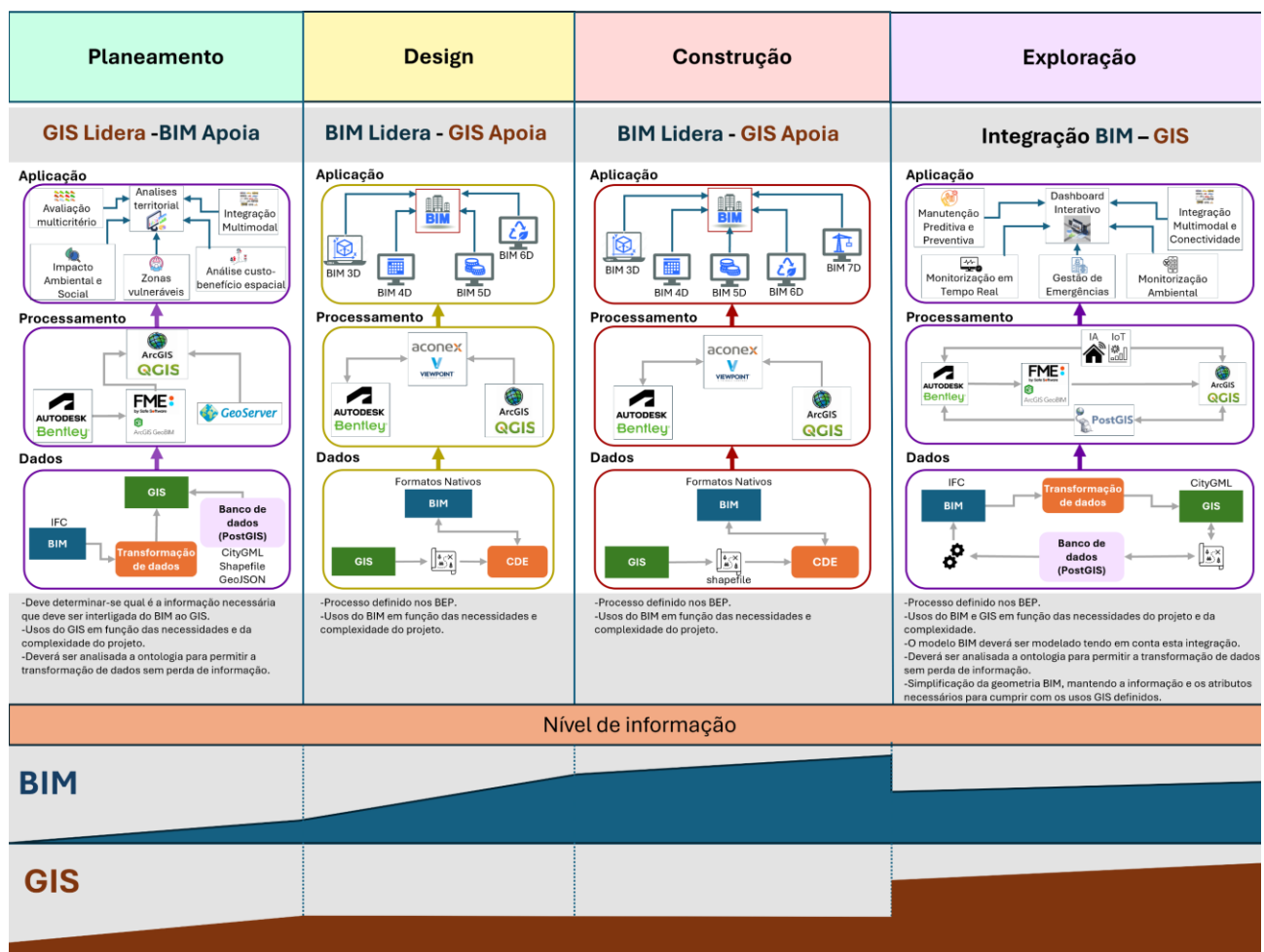


Figura 1 - Proposta de integração BIM-GIS

Na Figura 1 em análise, apresenta-se uma metodologia que abrange as fases de Planeamento, Design, Construção e Exploração, evidenciando, em cada etapa, o papel dominante de uma das disciplinas e a forma como a outra disciplina presta apoio.

Para assegurar clareza conceptual, o diagrama estrutura cada fase em três secções: Aplicação, Processamento e Dados. Adicionalmente, na parte inferior, apresenta-se um gráfico que ilustra a evolução do nível de informação de BIM e de GIS, à medida que o projeto progride das fases iniciais para as fases finais.

Na fase de Planeamento, o GIS desempenha o papel principal, enquanto o BIM surge como suporte complementar. Nesta etapa, as equipas de projeto recorrem maioritariamente a dados geoespaciais para

compreender a envolvente do terreno, as condicionantes ambientais, as redes de infraestruturas existentes e outras variáveis de âmbito territorial.

Desta forma, toda a informação proveniente dos diferentes modelos BIM deve ser transformada para GIS para permitir as diversas aplicações definidas. Para realizar essa conversão, tanto gráfica como não gráfica, são utilizados diferentes softwares, como FME ou GeoBIM, que possibilitam o desenvolvimento destes processos.

À medida que o projeto evolui para a fase de Design, o BIM passa a liderar o processo, enquanto o GIS mantém um papel de suporte, particularmente em aspetos relacionados com a localização, a envolvente e a contextualização do projeto.

Diferentemente da fase anterior, nesta etapa o projeto será desenvolvido segundo a metodologia BIM. Consoante as necessidades das diferentes especialidades, a informação GIS será transmitida a partir de shapefiles, que podem ser integrados nos softwares BIM para desenvolver o projeto de acordo com os usos definidos nos BEP (Plano de execução BIM). Neste caso, a interligação pode ser direta e simples, com informação inserida no CDE (Centro comum de dados).

Na fase de Construção, a liderança do BIM mantém-se, pois é neste momento que o modelo serve de base para a execução das obras, a coordenação logística e o controlo de custos e prazos. O GIS continua a apoiar na análise de acessos, na logística do estaleiro e na integração com as infraestruturas adjacentes. Aqui, mantém-se o processo definido para a fase anterior, onde a utilização da informação do GIS será pontual, dependendo dos requisitos estabelecidos nos BEPs.

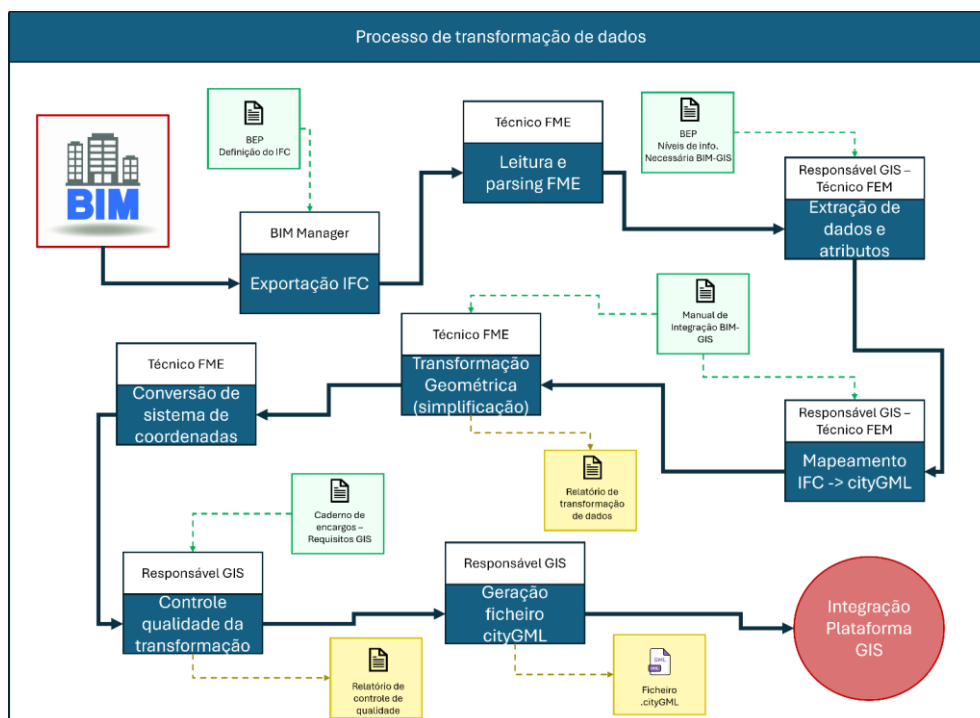


Figura 2 - Processo de transformação de dados

Finalmente, na fase de Exploração, o diagrama demonstra a convergência de BIM e GIS, sublinhando a importância de uma base de dados integrada para a operação e manutenção de edifícios e infraestruturas. Esta integração é essencial para manutenção preventiva e preditiva, monitorização em tempo real, gestão de emergências, e integração multimodal e conectividade assim como outras aplicações de gestão de ativos.

Nesta fase, considera-se fundamental esta integração para tirar partido das vantagens de cada tecnologia, particularmente do BIM para a gestão de ativos pontuais (como estações) e do GIS para a exploração de ativos lineares, que requerem uma análise a nível territorial e a sua interligação com o meio urbano.

Esta interligação de informação é realizada através de um processo de transformação de dados que, tal como na fase de planeamento, consiste numa simplificação gráfica e não gráfica do modelo em formato IFC para CityGML, permitindo a sua interligação com o GIS.

Este processo de transformação é representado na Figura 2, onde se podem observar os diferentes passos a seguir, os responsáveis por cada uma das etapas, bem como os inputs e os entregáveis de cada um deles. Este fluxo de trabalho é claramente complexo e apresenta grandes desafios, tanto nas fases de transformação da geometria, que podem ser superadas com o auxílio de diferentes softwares, como no mapeamento de IFC para CityGML. Como analisado anteriormente, a diferença de ontologia e de hierarquização entre esses formatos cria alguns problemas.

Na Figura 3 apresenta-se um exemplo de um caso simples que permite compreender o processo a ser seguido para cada um dos elementos a interligar, assim como a informação e os atributos necessários para a sua reconversão.

Exemplo de mapeamento	
Alinhamento	
Descrição	
IFC: O IfcAlignment define o traçado geométrico da via, incluindo as curvas horizontais e verticais, bem como a escala. CityGML: É convertido para transportation:Railway, que serve para definir todos os elementos associados à ferrovia	
IfcAlignment → Transportation:Railway «TopLevelFeatureType»	
Atributos a mapear	
•IfcAlignment	→ RailwayClassValue: IfcAlignment
•IfcAlignment.HorizontalCurves	→ ADEOfRailway: RailwayAlignment.horizontalCurves
•IfcAlignment.VerticalCurves	→ ADEOfRailway: RailwayAlignment.verticalCurves
•IfcAlignment.Gradient	→ ADEOfRailway: RailwayAlignment.gradient
•IfcAlignment.ReferencePoints	→ ADEOfRailway: RailwayAlignment.referencePoints
•IfcAlignment.MaintenanceRecords	→ ADEOfRailway: RailwayAlignment.maintenanceRecords

Figura 3 - Exemplo de mapeamento dum alinhamento

É importante compreender que nem toda a informação de um modelo BIM deve ser transferida para um GIS e vice-versa. Antes de iniciar todo este processo de integração, deve-se analisar quais são os objetivos organizacionais gerais da utilização tanto do BIM como do GIS e, a partir desses objetivos, determinar quais serão os usos específicos de BIM e GIS em cada fase do ciclo de vida do ativo.

Com base nessa definição, torna-se possível começar a estabelecer, com a devida clareza, qual será a informação mínima necessária a ser transmitida. Além disso, desde as fases iniciais, essa informação pode ser preparada de forma adequada, facilitando a integração entre os sistemas.

Em síntese, o modelo teórico de integração BIM-GIS proposto apresenta-se como uma solução modular, escalável e orientada para a interoperabilidade. Através da harmonização de dados, processos e aplicações, este modelo permite a otimização da gestão de infraestruturas ferroviárias, garantindo um suporte eficiente para a tomada de decisão e a manutenção operacional. Além disso, a sua estrutura flexível possibilita a adaptação a desafios futuros, consolidando-se como um referencial estratégico para a implementação de práticas inovadoras no setor ferroviário.

4. Conclusão

A integração BIM-GIS apresenta-se como uma estratégia viável e necessária para modernizar o setor ferroviário, embora a sua implementação exija a superação de desafios técnicos e normativos. O modelo proposto constitui um enquadramento conceptual para o desenvolvimento digital de infraestruturas ferroviárias, integrando escalas macro (GIS) e micro (BIM), com o objetivo central de abordar as barreiras identificadas: incompatibilidade de formatos, divergências escalares e fragmentação organizacional. Contudo, importa salientar que se trata de uma abordagem teórica que carece de validação empírica e calibração com base em resultados práticos. Paralelamente, esta metodologia deve ser complementada com processos de normalização colaborativa entre *stakeholders* para definir fluxos de integração BIM-GIS padronizados.

No contexto português, a análise evidencia um nível de maturidade tecnológica baixo, em que a implementação de metodologias BIM em projetos ferroviários se encontra numa fase incipiente, sendo necessários avanços substanciais na sua adoção. A estas limitações acrescentam-se desafios metodológicos inerentes,

particularmente na evolução de formatos abertos como o IFC para obras lineares, que dificultam a sua integração eficaz com sistemas GIS.

Apesar destes desafios, longe de desincentivar a sua aplicação, os resultados reforçam a necessidade de persistir nesta linha de trabalho. A continuidade de investigações aplicadas e projetos-piloto permitirá:

1. Orientar os esforços setoriais para uma gestão integral de infraestruturas.
2. Otimizar a interoperabilidade entre ferramentas digitais.
3. Gerar soluções ferroviárias com maior qualidade técnica, sustentabilidade ambiental e integração urbana.

Em última instância, esta transição tecnológica possibilitará não apenas melhorias operacionais, mas também uma maior sinergia entre as redes de transporte, o ambiente urbano e as necessidades dos cidadãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bartonek, D., Bures, J., Vystavel, O., & Havlicek, R. (2023). Case Study of Remodelling the As-Built Documentation of a Railway Construction into the BIM and GIS Environment. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/app13095591>
- Bensalah, M., Elouadi, A., & Mharzi, H. (2018). BIM integration into railway projects - case study. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(44), 2181–2199. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.85217>
- Bravo García, R., Abarca Álvarez, F. J., & Zamorano Salvador, A. B. (2016). El BIM (Building Information Modeling) en el urbanismo y su interacción con el GIS. *Convención de La Edificación*.
- Cao, Y., Lan, H., & Li, L. (2023). Disaster Risk Assessment for Railways: Challenges and a Sustainable Promising Solution Based on BIM+GIS. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 24). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su152416697>
- European Environment Agency. (2022). *Transport and environment report 2021 - Decarbonising road transport: the role of vehicles, fuels and transport demand*. Publications Office of the European Union.
- Flórez Traslaviña, C. A. (2022). *Metodología de integración BIM-GIS para proyectos de infraestructura, caso de estudio "Alternativa de solución vial al sector "Pericongo" corredor vial neiva - Santana - Mocoa*.
- Floros, G. S., Ruff, P., & Ellul, C. (2020). Impact of information management during desing & construction on downstream BIM-GIS interoperability for rail infrastructure. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6(4/W1), 61–68. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-61-2020>
- Garramone, M., & Scaioni, M. (2022). IFCALIGNMENT for raster-to-vector GIS railway centreline: A case study in the south of Italy. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B4-2022), 39–45. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-B4-2022-39-2022>
- Garramone, M., & Scaioni, M. (2023). A BIM/GIS digitalization process to explore the potential of disused railways in Italy. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(5/W2-2023), 37–42. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-W2-2023-37-2023>
- Garramone, M., Tonelli, E., & Scaioni, M. (2022). A multi-scale BIM/GIS framework for railways asset management. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*

Information Sciences - ISPRS Archives, 46(5/W1-2022), 95–102. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-95-2022>

- Jin-Fang Shr, & Li-Shih Liu. (2016). Application of BIM (Building Information Modeling) and GIS (Geographic Information System) to Railway Maintenance Works in Taiwan. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.17265/2328-2142/2016.01.003>
- Kurwi, S. (2019). *Integrating BIM and GIS for design collaboration in railway projects*. <https://doi.org/10.26174/thesis.lboro.11093282.v1>
- Kurwi, S., Demian, P., Blay, K. B., & Hassan, T. M. (2021). Collaboration through Integrated BIM and GIS for the Design Process in Rail Projects: Formalising the Requirements. *Infrastructures*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040052>
- Kurwi, S., Demian, P., & Hassan, T. M. (2017). Integrating BIM AND GIS in railway projects: A critical review. In *Integrating BIM And GIS In Railway Projects: A Critical Review*.
- Liu, Y., Lin, H., Zhao, Z., Bai, W., & Hu, N. (2023). Research on the Visualization of Railway Signal Operation and Maintenance Based on BIM + GIS. *Sensors*, 23(13). <https://doi.org/10.3390/s23135984>
- Liu, Y., Shah, A., Pljonkin, A., Asif Iqbal, M., & Shabaz, M. (2021). *Desing and research on the intelligent system of urban rail transit project based on BIM+GIS*. 22(2), 117–126. <https://doi.org/10.12694:/scpe.v22i2.1875>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (1999). *Geographical Information Systems - Volume 1 - Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Lu, C., Liu, J., Liu, Y., & Liu, Y. (2019). Intelligent construction technology of railway engineering in China. *Frontiers of Engineering Management*, 6(4), 503–516. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0073-9>
- Mangia, M., Di Biccari, C., & Roupé, M. (2023). *Towards a framework for railway network assets managements based on BIM/GIS integration*. https://doi.org/10.36253/fup_referee_list
- Marzouk, M. M., & Othman, A. (2020). Planning Utility Infrastructure Requirements for Smart Cities Using the Integration between BIM and GIS. *Sustainable Cities and Society*.
- Pedó, B., Tezel, A., Goethals, D., Koskela, L., Leaver, M., Victory, A., Vrabie, E., & Bocian, E. (2023). *BIM and GIS integration: Lessons learned from multiple case study*.
- Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J. C. P., & Hampson, K. (2017). Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: A review from a spatio-temporal statistical perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12). <https://doi.org/10.3390/ijgi6120397>
- Soulé, P. V., & Bueno, C. (2021). *Integração de ferramentas BIM e SIG para gestão e manutenção de infraestrutura urbana*.
- Sun, J., Mi, S., Olsson, P., Paulsson, J., & Harrie, L. (2019). Utilizing BIM and GIS for Representation and Visualization of 3D Cadastre. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(11), 503. <https://doi.org/10.3390/ijgi8110503>
- Zhu, J., Chong, H. Y., Zhao, H., Wu, J., Tan, Y., & Xu, H. (2022). The Application of Graph in BIM/GIS Integration. In *Buildings* (Vol. 12, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings12122162>